

La actualidad del modelo cognitivo
de ciencia escolar
Tributo a Mercè Izquierdo-Aymerich

Mario Quintanilla Gatica • Agustín Adúriz-Bravo
Compiladores





MARIO QUINTANILLA-GATICA

Ph.D. de la Universidad Autónoma de Barcelona. Académico e investigador de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Sus líneas de investigación, con enfoque cualitativo, se centran en historia de la ciencia, competencias de pensamiento científico, lenguaje científico y formación del profesorado. Director de diversos proyectos de cooperación internacional con Iberoamérica y Finlandia; entre ellos, los proyectos AKA EDU-03 y AKA EDU-04. Director del Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias, GRECIA - UC.

Presidente de la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de la Ciencia (Bellaterra).



AGUSTÍN ADÚRIZ-BRAVO

Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universitat Autònoma de Barcelona. Docente e investigador en el Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CeFIEC) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Allí dirige el Grupo de Epistemología, Historia y Didáctica de las Ciencias Naturales (GEHyD), dedicado a la enseñanza de la Epistemología dentro de la formación inicial y continuada de profesores de ciencias.

Otras publicaciones

Historia de la Ciencia. Aportes para la formación del profesorado. Volumen 1 (2007).

Historia de la Ciencia. *Propuesta para la divulgación y enseñanza*. Volumen 2 (2007).

Unidades Didácticas en Química. *Su contribución a la promoción de competencias de pensamiento científico*. Volumen 3 (2010).

Unidades Didácticas en Biología y Educación Ambiental. *Su contribución a la promoción de competencias de pensamiento científico*. Volumen 4 (2010).

La Enseñanza de las Ciencias Naturales en las Primeras Edades. *Su Contribución a la Promoción de Competencias de Pensamiento Científico*. Volumen 5 (2011).

Las Competencias del Pensamiento Científico, desde las "voces" del aula. Volumen 1 (2012).

Unidades Didácticas en Ciencias Naturales. *Su contribución al desarrollo de Competencias de Pensamiento Científico en Segundo Ciclo Básico*. Volumen 7 (2013).

Las Competencias de Pensamiento Científico desde las emociones, sonidos y voces del Aula. Volumen 8 (2014).

Historia y Filosofía de las Ciencias. *Aportes para una "nueva aula de ciencia", promotora de ciudadanía y valores* (2014).

La Enseñanza de las Ciencias Naturales Basada en Proyectos (2015).

Historia, Filosofía y Didáctica de las Ciencias. *Aporte para la formación de profesorado de ciencias* (2016).

La historia de la ciencia en la investigación didáctica. *Aporte a la formación y el desarrollo profesional del profesorado de ciencias* (2017).

Multiculturalidad y diversidad en la enseñanza de las ciencias. *Hacia una educación inclusiva y liberadora* (2017).

Enseñanza de las Ciencias e Infancia. *Problemáticas y avances de teoría y campo desde Iberoamérica* (2019).

Mujeres Educación y ciencia en América Latina. *Aportes teóricos y prácticos para el profesorado* (2019).

Todos los volúmenes pueden ser descargados en formato digital desde www.laboratoriogrecial.cl

Dedicamos este libro a Mercè Izquierdo,
mentora, amiga,
que ha inspirado cada una de sus páginas
con su ejemplo de vida altruista
e incesante generosidad académica.

La actualidad del modelo cognitivo de ciencia escolar

Tributo a Mercè Izquierdo-Aymerich

Mario Quintanilla-Gatica • Agustín Adúriz-Bravo
Compiladores

Autores y Autoras

A. Adúriz-Bravo, C. Agudelo, M. Álvarez, T. Amorín,
A. Arias, B. Cantero, A. Cortés, A. Estany, P. Farfán,
L. Galagovsky, A. García, E. García, A. Gómez,
M. Guillaumes, Pere Grapí, C. Hernández, E. Herrera,
A. Marzabal, C. Merino, F. Serrallé,
M. Quintanilla-Gatica, N. Solsona, M. Soto y J. Vallverdú.



LA ACTUALIDAD DEL MODELO CONGNITIVO DE CIENCIA ESCOLAR TRIBUTO A MERCÈ IZQUIERDO-AYMERICH

Director de la obra

Dr. Mario Quintanilla-Gatica.

Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de las Ciencias (Bellaterra).

Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias (GRECIA).

Facultad de Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Compiladores

© Dr. Mario Quintanilla-Gatica – Dr. Agustín Adúriz-Bravo

Autores y autoras

Agustín Adúriz-Bravo, Carlos Agudelo, Mari Álvarez-Lires, Tamara Amorín,

Azucena Arias, Beatriz Cantero, Alba Cortés, Anna Estany, Patricio Farfán,

Lydia Galagovsky, Álvaro García, Edwin García, Alma Gómez,

Marta Guillaumes, Pere Grapí, Carla Hernández, Edith Herrera,

Ainoa Marzabal, Cristián Merino, Mario Quintanilla-Gatica,

Francisco Serrallé, Núria Solsona, Macarena Soto, Jordi Vallverdú.

De esta Edición:

© Bellaterra. Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de las Ciencias.

Toesca 2946, Oficina 309, Santiago de Chile.

Teléfono (56)-(2) 226890028

www.sociedadbellaterra.cl

1ª edición: septiembre 2024.

Inscripción Propiedad Intelectual: 2024-A-8760

ISBN: 978-956-09033-9-6

Editorial Bellaterra Ltda.

Asistente de edición: Rodrigo Sepúlveda G.

Revisión de estilo y corrección literaria: María Eugenia Pino Q.

Diseño gráfico: María Eugenia Pino Q.

Impresión: Andros Impresores Ltda.

Impreso en Santiago de Chile.

Para fines comerciales, quedan rigurosamente prohibidas, bajo sanciones establecidas en las leyes, la reproducción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de ésta, por cualquier medio, tanto si es electrónico como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien fotocopia, sin la autorización escrita de los titulares del copyright. Si necesita fotocopiar o escanear fragmentos de esta obra, dirijase a: www.sociedadbellaterra.cl

Todos los Derechos Reservados.

Índice

Agradecimientos	11
Presentación	13
Prólogo	15
Primera Parte	19
Alcances teóricos del modelo cognitivo de ciencia para la educación científica	
Capítulo 1	21
Elementos teóricos gireanos en la obra de Mercè Izquierdo-Aymerich <i>Agustín Adúriz-Bravo</i>	
Capítulo 2	33
La capacidad epistémica de la colaboración <i>Anna Estany</i>	
Capítulo 3	41
Re-significado de ciencia escolar a partir de una necesaria discusión sobre qué es ciencia <i>Lydia Galagovsky</i>	
Capítulo 4	57
Modelos científicos escolares: el problema de la caracterización de los modelos <i>Ainoa Marzabal, Alba Cortés, Macarena Soto</i>	
Capítulo 5	69
La educación científica ante un contexto de crisis global: algunas reflexiones <i>Mari Álvarez L., Tamara Amorín D., Azucena Arias C., J. Francisco Serrallé M.</i>	

Segunda Parte	79
Contribuciones de la filosofía y la historia de la ciencia al modelo cognitivo de ciencia escolar	
Capítulo 6	81
Una educación científica que imagina el futuro con historia y reflexión sobre el mundo. El aporte de Mercè Izquierdo <i>Mario Quintanilla-Gatica</i>	
Capítulo 7	99
Mercè Izquierdo: género, historia y enseñanza de las ciencias <i>Núria Solsona P.</i>	
Capítulo 8	113
El sistema cognitivo humano y la retórica de los libros de texto universitarios <i>Edwin García A.</i>	
Capítulo 9	125
Desempaquetar los elementos químicos: oportunidades y retos para la ciencia escolar <i>Carlos Agudelo C.</i>	
Capítulo 10	137
Imatges històriques de la química: recursos per fer conèixer la seva història <i>Pere Grapí V.</i>	
Tercera Parte	149
Propuestas y desarrollos didácticos del modelo cognitivo de ciencia escolar a la enseñanza y la formación docente	
Capítulo 11	151
Un recorrido hacia la modelización culturalmente sensible <i>Alma A. Gómez G.</i>	
Capítulo 12	161
El modelo de ciencia escolar en tiempos de emergencia climática: una propuesta para el aula de ciencias <i>Beatriz Cantero R., Marta Guillaumes i P.</i>	

Capítulo 13	169
Modelos pre-instruccionales sobre fuerza y movimiento: un estudio exploratorio en estudiantes chilenos <i>Patricio Farfán, Carla Hernández S.</i>	
Capítulo 14	179
La obra de Mercè Izquierdo Sobre el modelo de cambio químico escolar <i>Cristián Merino R.</i>	
Capítulo 15	191
Investigación y formación docente en la escuela. ¿Cómo aportar al desarrollo profesional docente, desde las primeras prácticas de aula, a partir del diseño de la actividad científica escolar? <i>Álvaro García M.</i>	
Capítulo 16	207
Aprendiendo de las controversias <i>Jordi Vallverdú</i>	
Capítulo 17	215
Narrativas didácticas: nudos críticos al enseñar ITS en ciencias para la ciudadanía <i>Edith Herrera S.</i>	
Cuarta parte	229
Reconocimientos a una vida compartida en la Academia	
Agradecimientos	231
Semblanzas	239

Agradecimientos

Quisiéramos agradecer a todos los investigadores e investigadoras de universidades latinoamericanas y europeas que hicieron posible la edición de este libro ‘tributo’ a Mercé Izquierdo-Aymerich.

Al proyecto FONDECYT 1231325, que inspirado en las orientaciones teóricas de este libro colabora con la formación inicial y continua del profesorado de ciencias naturales de Chile e Iberoamérica y que ha subsidiado todo el proceso de producción de la obra.

A la Vicerrectoría Académica y Vicerrectoría de Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Chile, que contribuyeron con recursos para la implementación del proyecto interdisciplinario *“Identificación y caracterización de competencias argumentativas y explicativas en profesionales en formación de carreras de ciencias experimentales, humanidades y ciencias sociales. Una contribución fundamental a la educación cívica, científica y ciudadana en su desarrollo profesional”* y la presentación del libro en Chile con la participación de investigadores latinoamericanos y la transmisión en directo de la divulgación del libro a España, Portugal, Argentina, Chile, Colombia, Brasil, México, Uruguay y Costa-Rica.

A mis compañeros del Laboratorio de Investigación en Didáctica de las Ciencias (GRECIA-UC) de la Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile, por colaborar en diferentes momentos en la instalación de este proyecto que se hace parte de la celebración de sus 25 años de colaboración nacional e internacional con Iberoamérica (1999 – 2024).

A la Fundación Ciencia y Ciudadanía y a la Sociedad Chilena de Didáctica, Historia y Filosofía de las Ciencias.

Nuestra permanente gratitud a María Eugenia Pino, diseñadora y correctora literaria de este libro, por su profesionalismo y entusiasmo.

A la imprenta ANDROS que tuvo a cargo las pruebas de impresión preliminares y la producción final de esta obra.

Finalmente, agradecemos al profesor Rodrigo Sepúlveda, de la Facultad de Química y Biología de la Universidad de Santiago de Chile, por toda su gestión y coordinación en la producción del libro.

*Mario Quintanilla-Gatica
Agustín Adúriz. Bravo*

Septiembre, 24 de 2024

Presentación

Unas breves palabras iniciales

Apreciada lectora, apreciado lector, el libro que usted tiene en estos momentos entre sus manos pretende constituirse en un muy agradecido homenaje a la figura de nuestra gran Maestra, Mercè Izquierdo-Aymerich. Es nuestro convencimiento que, a los notables méritos académicos que ella ha demostrado con creces a lo largo de su larga y rica vida laboral (y que se describen elocuentemente en las distintas secciones de este volumen), Mercè suma ser una persona de cualidades excepcionales en su costado humano, entre las cuales nos gusta siempre destacar –y lo haremos aquí una vez más–, su sabiduría acompañada de humildad, sus infatigables ganas de leer y aprender, su profundo respeto hacia colegas y estudiantes, el acompañamiento y aliento hacia los jóvenes y su inmensa generosidad. Son estos valores, creemos, los que le han posibilitado dejar imborrable huella en tantas y tantas personas y formar escuela en toda nuestra Iberoamérica. Así, resulta innegable que la producción intelectual de Mercè ha tenido profundo impacto en la didáctica de las ciencias hecha en castellano, y sus ideas, vigentes más que nunca, orientan mucho de lo que se discute desde México hasta el Cono Sur.

Muestra de la gravitación de Mercè en la comunidad, son la cantidad y la diversidad de personas que han querido contribuir con sus textos a esta compilación: profesionales de España y de América Latina que, desde la década del 60 hasta hoy, nos hemos ido encontrando con Mercè como colegas, estudiantes y discípulos y hemos tenido la dicha de convertirnos en sus amigos. Co-autorar un volumen académico nos da una oportunidad más para encontrarnos y celebrar tenerla en nuestras vidas.

Nosotros dos, los compiladores de este libro-tributo, conocemos a Mercè desde hace prácticamente treinta años: como jóvenes tesisistas doctorales, llegamos en 1995 (Mario) y 1997 (Agustín) a trabajar con ella en “nuestra Catalunya natal”, y desde entonces no nos hemos ido nunca lejos de nuestra *alma mater* ni de nuestra querida profesora. Hemos retornado a nuestros países llevando todo aquello que la Mel nos

dio a manos abiertas, pero volvemos, todas las veces que podemos, a seguir aprendiendo de ella y a mostrarle nuestro respeto, nuestra admiración y nuestro gigantesco cariño.

Son esos sentires hacia Mercè los que nos han movido a encarar la producción de un libro de carácter científico, centrado en torno a los muy diversos desarrollos didácticos originados en el llamado “modelo cognitivo de ciencia escolar” de Mercè, pero en el que también se incluyen historias sobre los caminos que las autoras y los autores hemos recorrido junto a ella. Creemos que a todos quienes escribimos aquí, se nos hace imposible separar ambas cosas: hablar de la enorme potencia de las ideas teóricas de la Dra. Izquierdo-Aymerich es inconcebible si no se lo hace junto a “contar vida” –situar la producción de estas ideas colectivas en el contexto de las relaciones humanas tan ricas entre todos nosotros que ella supo generar y fomentar.

Una vez más, ¡gracias, querida Mercè!

Los compiladores

Prólogo

Una vida compartida ayudando a crecer la Didáctica de las Ciencias

Recuerdo el día que Mercè y yo nos conocimos, cuando ella pidió entrar a formar parte del equipo de profesores de Didáctica de las Ciencias de la UAB. Era en los años 80, y entre las compañeras surgieron dudas sobre si era una buena idea contratarla debido a la gran cantidad de actividades que hacía, hecho que nos hizo pensar que se dedicaría poco al departamento y a la didáctica de las ciencias. Ella había hecho su doctorado en Química Inorgánica, trabajaba en este campo en la Facultad de Veterinaria, daba clases en una escuela, le interesaba la historia de la ciencia y muchas más cosas y, en cambio, sus conocimientos de didáctica de las ciencias no iban más allá de su experiencia como docente. Pero finalmente entró a formar parte del grupo en el año 1986, después de ser responsable de la Formación Permanente del profesorado en la Generalitat de Catalunya. A partir de ese momento, se inició un camino largo y fecundo de colaboración y, tal como también constata Jordi Vallverdú en su artículo, permitió comprobar cuan difícil es acertar al hacer predicciones.

Las aportaciones de Mercè al Departamento han sido (y son) muy relevantes, destacando especialmente todo su saber sobre historia y epistemología de la ciencia. Nos ha posibilitado, a mí, a los compañeros y a los autores de los diferentes artículos de este libro, una mirada de la teoría y de los hechos en relación a la didáctica de las ciencias, que sin ella no habría sido posible. Como recoge José Chamizo, *“reconocí una posición teórica ante la enseñanza de las ciencias en la cual la historia y la filosofía jugaban un papel central”*. Co-dirigió mi tesis y este saber suyo me ayudó a interpretar los datos que había recogido sobre las dificultades del alumnado para diferenciar entre mezclas y compuestos. Ella percibió que los estudiantes, en sus explicaciones, substancializaban las propiedades, al igual que a lo largo de la historia de la ciencia se había generado la idea de unos ‘principios individualizadores’ como responsables del gusto, el olor, etc. Y esta mirada de los datos, me (nos) permitió generar un conocimiento hasta ese momento no identificado en el campo de la didáctica de las ciencias.

Tal como recoge Agustí Nieto, Mercè *“ha abierto nuevos espacios transversales, interdisciplinarios, una contribución muy importante en la cultura académica, a veces tan rígida y cerrada en ámbitos de conocimientos separados”*. De hecho, buena parte de los artículos que se pueden leer en este libro –imposible citarlos todos aquí–, recogen la conexión historia-epistemología con didáctica de las ciencias y, sin duda, ha dado muchos frutos, como se puede comprobar en las numerosas tesis que ha dirigido desde este punto de partida y en artículos publicados. Esta mirada es importante en nuestro campo de investigación, porque intentamos profundizar en cómo los jóvenes generan su conocimiento, y la historia de la ciencia nos explica cómo se han generado a lo largo del tiempo, dos procesos que tienen muchas conexiones.

A partir de su bagaje, Mercè ha generado dos conceptos importantes: el de “Ciencia Escolar”, que Beatriz Cantero resume en su artículo, y el de “Actividad Científica Escolar (ACE)” que, como escribe Cristián Merino, enfatiza la necesidad de *“coherencia entre las experiencias experimentales, las representaciones abstractas y el lenguaje utilizado, cruciales para un aprendizaje efectivo”*. Desde este marco general ha ayudado a conectar esas ‘representaciones abstractas’ con la idea de ‘modelos’ de la ciencia y de modelización que, tal como enfatiza Ainoa Marzabal, requiere preguntarse sobre *“¿cuáles serían los modelos científicos que debieran estar presentes en la ciencia escolar?, ¿de qué manera se espera que estos modelos progresen a lo largo de la escolaridad? o ¿de qué manera las estrategias de enseñanza pueden facilitar u obstaculizar la evaluación y ajuste de estos modelos?”*. En la búsqueda de respuestas a estas preguntas, Mercè ha aportado nuevos constructos, y su mirada sobre cuáles serán (son) las ideas clave es siempre creativa y sugerente.

Otro de los campos en que su aportación es importante, relacionada con la visión de ACE, es en el de la comunicación en el aula, de las narraciones, de la multimodalidad y, en general, del ‘lenguaje’ con el que se comunica la ciencia y su papel en la construcción de la Ciencia Escolar. De ello dan fe, en sus artículos, Edwin García, Edith Herrera y Conxita Márquez, y es un campo en el que hemos coincidido y colaborado en el marco de nuestro grupo de investigación LIEC (Lenguaje y Enseñanza de las Ciencias), en la UAB.

Otra área en la que Mercè ha hecho diversas aportaciones (y en la que en su marco ha generado incluso obras de teatro), es la de ‘género y ciencia’. Como destacan Mari Lires y Núria Solsona, la relación entre la historia de las ciencias y el modelo de género es algo que no se puede obviar cuando nos proponemos acercar la ciencia a las chicas, y ha sido una temática en la que ha profundizado a lo largo de los años.

Y, ¿en qué estamos intentando avanzar conjuntamente en estos momentos? Pues en un tema clave en un mundo lleno de ‘fake news’, como es el de plantear e investigar propuestas que promuevan que nuestros estudiantes aprendan, en el aula de ciencias, a ser personas críticas. En su contribución, en un capítulo del libro editado en el marco del LIEC y escrito conjuntamente con Agustín Adúriz-Bravo, escribe una afirmación que, de hecho, sintetiza sus líneas de trabajo a lo largo de los años: ***“La característica de la ACE es el diálogo entre unos saberes que son establecidos por el currículo y un conocimiento que ha de ser construido para adquirir significado en la interpretación de los fenómenos del mundo. Se desarrolla a través de un proceso de modelización, a lo largo del cual se han de deconstruir las ideas previas con que los estudiantes justifican superficialmente los datos experimentales, y sustituir este relato inicial por otro fundamentado en pruebas que se relacionan con los modelos teóricos de la ciencia. Requiere que el alumnado y el profesorado crean en su capacidad de razonar y de dialogar para generar un conocimiento fiable”.***

Y para finalizar este prólogo, más allá de los muchos saberes aprendidos a partir de su maestría, me uno a las palabras que escribe Joan Aliberas, para *“agradecer su permanente amabilidad, su poderosa creatividad y visión crítica y, sobre todo, una amistad de muchas décadas”.*

Neus Sanmartí

Barcelona, 2024

PRIMERA PARTE

Alcances teóricos del modelo cognitivo de
ciencia para la educación científica

Capítulo 1

Elementos teóricos giereanos en la obra de Mercè Izquierdo-Aymerich

Agustín Adúriz-Bravo

Universidad de Buenos Aires, Argentina
aadurizbravo@cefic.fcen.uba.ar

Resumen

El propósito de este capítulo es revisar concisamente la génesis, el desarrollo y el estado actual del aparato teórico en la obra de Mercè Izquierdo-Aymerich que está directamente apoyado en las contribuciones del filósofo estadounidense Ronald Giere. Se recorre la amplia producción bibliográfica de la Profesora en el campo de la didáctica de las ciencias, a fin de identificar trabajos clave donde ella desarrolla algunas de las ideas giereanas y las transpone a la investigación y la innovación sobre la educación científica. Se pone especial énfasis en el empleo que hace Mercè del “punto de vista cognoscitivo” sobre la actividad científica y de la ya famosísima definición de Giere de los modelos teóricos.

Palabras clave: Ronald Giere, concepción semántica de las teorías científicas, aproximación naturalizada y cognitiva, noción de modelo teórico, transposición didáctica del marco filosófico.

Introducción

Es bien conocido el hecho de que la producción intelectual de Mercè Izquierdo-Aymerich en el campo de la didáctica de las ciencias naturales (o experimentales) resulta particularmente destacada por su originalidad, extensión e impacto¹. En tal producción, funcionan a modo de eje estructurante las contribuciones sustantivas de la filosofía y la historia de la ciencia a la mejora de la calidad de la educación

1 El prestigioso repositorio Dialnet, de la Universidad de La Rioja en España, presenta una lista incompleta que contiene, al momento de la publicación de este capítulo, cerca de 200 publicaciones de Mercè en diversos formatos (<https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=3807797>). Para los propósitos de este libro, también resulta interesante revisar en esa página el listado de tesis doctorales dirigidas por ella.

científica. Ronald Giere², con su precursor y ampliamente propalado *modelo cognitivo de ciencia* (Giere, 1988), es, sin lugar a dudas, el autor que ha provisto la principal fundamentación filosófica (y, probablemente, teórica más en general) a los escritos de Mercè. En efecto, ella ha organizado el esqueleto de su propia y muy personal propuesta conceptual para la didáctica de las ciencias a modo de un “modelo cognitivo de ciencia escolar” de directa inspiración giereana, La huella que ha dejado esta propuesta de Mercè en la comunidad de didactas de Iberoamérica es innegable³, y de allí que se haya seleccionado el modelo elaborado por ella para dar título al libro y ordenar sus capítulos, pedidos “por encargo” a una diversidad de autores que han trabajado con ella.

Atendiendo a las consideraciones anteriores, mi propósito en este primer capítulo es examinar de manera sucinta la génesis, el desarrollo y el estado actual del aparato teórico, dentro de la obra de Mercè Izquierdo-Aymerich (tomada en su conjunto), en el que se pueden reconocer claramente ideas de cuño giereano. Trataré, además, de echar luz sobre las adecuaciones (recontextualizaciones) que ella hace de este sofisticado marco epistemológico para que le (y nos) sirva a los propósitos de la investigación y la innovación didácticas.

De acuerdo con diferentes valoraciones académicas (entre otras muchas: Siegel, 1989; Kosso, 1991; Lipton, 2007; Brown, 2009; Hackenberg, 2009; Ambrosini y Beraldi, 2015; Estany & Cuevas Badallo, 2021; Gensollen & Jiménez-Rolland, 2021), los elementos conceptuales más distinguibles y trascendentales de la obra de Giere serían: (1) su adhesión ineludible a una reconstrucción *modeloteórica* de la ciencia (Ramírez, 2016), aunada a (2) una concepción *representacional* flexible pero potente de la noción de modelo teórico (acompañada de una estrecha analogía con los mapas⁴), (3) su fuerte apuesta por un acercamiento *naturalizado* a los estudios sobre la ciencia (estudios “meta-”), (4) su afiliación a una postura epistemológica

2 “Ronald N. Giere (1938-2020) nació en Cleveland, Ohio, Estados Unidos. Estudió física, doctorándose en Cornell University en Filosofía en 1968. En su larga carrera académica fue profesor en New York University y en University of Pittsburgh. Estuvo también en el Departamento de Historia y Filosofía de la Ciencia de Indiana University (Bloomington) y posteriormente en University of Minnesota. Pertenecía a la Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia, fue miembro del consejo editorial de la revista *Philosophy of Science* y antiguo presidente de la *Philosophy of Science Association*. Ha sido uno de los referentes de la filosofía de la ciencia de nuestra época, con un impacto muy importante a nivel internacional” (Estany & Cuevas Badallo, 2021: 5; subrayado en el original).

3 La Dra. Izquierdo-Aymerich dirigió o codirigió las tesis doctorales en didáctica de las ciencias de 13 investigadores latinoamericanos (de Argentina, Chile, Colombia y México), incluidas las de los dos compiladores de este libro.

4 No desarrollaré este importante tema en el capítulo. Al respecto recomiendo el excelente texto del psicólogo estadounidense Timothy Hackenberg (2009).

realista moderada o atemperada, caracterizada por él como “perspectivismo”, (5) la naturaleza y función que él asigna a lo que llama “hipótesis teóricas” en la construcción y validación del conocimiento científico, y (6) la elección que hace de revisar el funcionamiento de las disciplinas humanas (las ciencias naturales por supuesto, pero también la filosofía de la ciencia y la didáctica de las ciencias) con base en la actuación racional de “agentes cognitivos” tomando decisiones en contexto. Todas estas ideas han sido exploradas en mayor o menor medida por Mercè, quien en diversas publicaciones ha sopesado el impacto productivo que ellas pueden tener en nuestro campo de trabajo.

Para este capítulo, me interesa particularmente seguirle la pista a dos de las ideas giereanas en los marcos teóricos que Mercè ha incluido en sus artículos y capítulos de libro. Por una parte, reviso la interpretación que ella hace de la “aproximación cognitiva”⁵ al estudio de la empresa científica. Quiero examinar cómo la aplica a una reconstrucción educativamente robusta de la ciencia escolar (por ejemplo, en Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003). Por otra parte, me propongo recuperar la transposición que ella realiza de la versión de Giere del constructo semanticista de modelo teórico (por ejemplo, en Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2005). Dedicaré sendas secciones a la presencia de estas ideas en las publicaciones de Izquierdo-Aymerich desde 1981 hasta hoy.

Como dije, todas las contribuciones de Mercè a la didáctica de las ciencias tienen una muy marcada impronta de las metaciencias (ver, a modo de ejemplo elocuente, uno de sus primeros textos: Izquierdo-Aymerich, 1988); ella está convencida de que es en ese tipo de disciplinas en las cuales los enseñantes encontraremos “pistas” para la mejora de nuestras prácticas de aula. Ya en un trabajo pionero del año 1990, escrito en catalán para la revista *Educar*, Mercè explora posibles *bases epistemológicas* para la ciencia escolar, en procura de unos “fonaments teòrics a partir dels quals es precisaran les finalitats de l’actuació del docent i es dissenyarà, amb coherència, el pla d’acció a seguir” (Izquierdo-Aymerich, 1990: 71). En ese trabajo ella traza un mapa muy rico de aportes epistemológicos de la segunda mitad del siglo XX⁶, poniendo especial énfasis es aquellos que nos permiten introducir y justificar en la enseñanza de las ciencias un “racionalismo moderado”, que implica la emisión de juicios colectivos fundamentados en la evaluación del conocimiento. Sin embargo, en tal artículo Mercè no incluye aún como autor de referencia a Giere, a quien

5 “Cognitive approach” en inglés, volcado como “punto de vista cognoscitivo” en la traducción del libro central de Giere al castellano (Giere, 1992b).

6 Los filósofos de la ciencia referenciados en ese artículo son: Gaston Bachelard, Alan Chalmers, Paul Feyerabend, Thomas Kuhn, Imre Lakatos, John Losee, William Newton-Smith, Karl Popper y Stephen Toulmin.

conocerá poco después; primero, al llegar a sus manos la traducción al castellano del *Explaining science*, hecha por la investigadora en letras Claudia Elisa Gidi Blanchet para el CONACYT de México (Giere, 1992b), y, luego, al encontrarlo en persona, a través de la filósofa catalana Anna Estany, en un viaje académico a los Estados Unidos.

Así, las publicaciones iniciales de Mercè con elementos teóricos giereanos aparecerán en la primera mitad de la década del 90 (Márquez & Izquierdo-Aymerich, 1993; Izquierdo-Aymerich, 1995a, 1995b). Las ideas modeloteóricas allí expuestas se desplegarán luego, ya expandidas, maduras y sugerentemente aplicadas al aula, en dos textos de la segunda mitad de la década del 90, escritos en colaboración con las colegas del Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals de la UAB en Bellaterra (Izquierdo-Aymerich *et al.*, 1999; Izquierdo-Aymerich, Espinet *et al.*, 1999). En esos artículos de *Enseñanza de las Ciencias* que se volverían famosos⁷, Mercè nos explica que

[e]l modelo cognitivo de ciencia (MCC) (Giere, 1988, 1992[a]) nos muestra que el proceso mediante el cual se construyen estos conocimientos [científicos] no es radicalmente diferente del de otras elaboraciones humanas con las cuales se da significado a los acontecimientos que se quieren controlar. [...] Frente a otros modelos de ciencia, el MCC *destaca los aspectos psicológicos y sociales que son el origen del pensamiento científico experimental*, a partir del cual es posible, después, el razonamiento y la justificación teórica. (Izquierdo-Aymerich *et al.*, 1999: 46; el subrayado es mío)

Y luego nos argumenta sobre la validez didáctica de ese modelo y la pertinencia de su elección con base en tres razones de peso: 1. que “reúne coherentemente los puntos de vista de la epistemología, de la historia de las ciencias [sic] y de la psicología”, una tríada teórica que nos interesa particularmente en la didáctica desde sus inicios (Yager, 1983), 2. que es “especialmente adecuado para los momentos de emergencia y consolidación del conocimiento científico (tanto individual como socialmente)”, y, por tanto, nos habilita a modelizar tanto el contexto de producción como el de la validación de las ideas, que no son fácilmente separables en la ciencia escolar, y 3. que, dado que considera que los principales rasgos caracterizadores de la ciencia son su pensamiento teórico y sus metas epistémicas, “permite aceptar sin problemas una gran diversidad de enfoques curriculares [...] si ayudan a pensar sobre el mundo [...] *interaccionando con él intencionadamente mediante modelos teóricos*” (Izquierdo-Aymerich, Espinet *et al.*, 1999: 82; el subrayado es mío).

7 De acuerdo con Google Scholar, el artículo sobre fundamentos de la ciencia escolar tiene 299 citas y el artículo sobre el diseño de las prácticas escolares, 583 (a agosto de 2024).

Desde este primer posicionamiento muy preciso, Mercè estima que la adopción de una perspectiva semántica y cognitiva para nuestra caracterización de la ciencia escolar (tarea que asume en Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003) provee amplitud y flexibilidad al trabajo didáctico. Para ella, tal perspectiva (que no renuncia a las sensatas cuotas de realismo y racionalismo que la mayoría del profesorado de ciencias comparte) funcionaría a modo de paraguas (post)constructivista para algunas propuestas didácticas circulantes en la actualidad, que considera igualmente valiosas respecto de la suya.

Incorporación de la concepción semántica y cognitiva de la actividad científica en la didáctica de las ciencias

En ese primer conjunto de piezas mencionado en la sección anterior, Mercè dirige la atención de los lectores al hecho de que el modelo de ciencia de Giere se inscribe dentro de la llamada concepción *semántica* de las teorías científicas⁸ (por oposición a la *sintáctica*, propia del positivismo lógico y la llamada concepción heredada). Para ella, esta filiación comporta que el filósofo adhiere a la tesis de que “lo más importante de [una] teoría es que tenga significado en el mundo” (Izquierdo-Aymerich, Espinet *et al.*, 1999: 82-83).

Mercè nos propone seguir de cerca a Giere, para considerar que cualquier teoría (en nuestro caso, las teorías científicas escolares) está constituida

[...] por un conjunto de modelos teóricos (similares entre sí) cada uno apto para representar un conjunto determinado de fenómenos y *para actuar sobre ellos*⁹, gracias a hipótesis teóricas que establecen la conexión entre el modelo (que puede ser una maqueta, un esquema, un conjunto de frases, una analogía o una metáfora, o una ecuación matemática) y los fenómenos, que quedan así interpretados por él. (Izquierdo-Aymerich, Espinet *et al.*, 1999: 83; el subrayado es mío).

Abrazar con convicción esta concepción semántica supone, para Mercè, reconocer que toda teoría científica contiene en ella misma sus aplicaciones intencionales, y aceptar la consecuencia fuerte de que, por tanto, “sin algunos hechos interpretados significativamente, la teoría no es nada, *no tiene ningún valor*” (Izquierdo-Aymerich, Espinet *et al.*, 1999: 83; el subrayado es mío). Este conjunto de ideas semanticistas

8 Puede verse cómo, de manera muy temprana, se define tal concepción epistemológica en un texto del filósofo español Miguel Ángel Quintanilla (1978).

9 Este elemento en Giere *de aplicación de las teorías al mundo* es que lleva a López-Orellana y Sans Pinillos (2021) a separarlo un poco del semanticismo y a sugerir su inclusión entre los filósofos de la ciencia *pragmatistas*.

de Giere lleva a Mercè a postular la necesidad de trabajar en las aulas de ciencias de los distintos niveles educativos con unos “hechos paradigmáticos” (Izquierdo-Aymerich, 2005), piezas del mundo reconstruidas teóricamente que funcionarán como genuinos *modelos teóricos escolares* (Adúriz-Bravo *et al.*, 2005) y dan sentido a nuestra actuación en el mundo.

Dos décadas después, en su texto más reciente con citas a Giere, Mercè nos habla más en general de que la filosofía de la ciencia “enriquecida ahora por la aportación de las ciencias cognitivas” (Izquierdo-Aymerich, 2021: 21; la traducción es mía) nos proporciona una “teoría cognitiva de ciencia” (sic). En ese texto, Mercè nos presenta a Giere como representante destacado de esta línea epistemológica y define la teorización cognitiva sobre la ciencia como aquella que conceptualiza el conocimiento científico como el laborioso resultado de la actividad de “personas que *comparten una práctica de intervención* en fenómenos (que requiere instalaciones, instrumentos y maneras de hacer muy específicas) en el marco de «teorías» que permiten explicarlos” (Izquierdo-Aymerich, 2021: 22; la traducción y el subrayado son míos).

Siguiendo la aproximación cognitiva de Giere, Mercè considera a científicas y científicos como “expertos que *generan modelos teóricos para dar significado a nuevas maneras de hacer, pensar y comunicar*, especialmente cuando es necesario explicar las novedades de manera convincente a otros científicos o a sus discípulos” (Izquierdo-Aymerich, 2021: 22; la traducción y el subrayado son míos). Esta caracterización de la ciencia, centrada en los sentidos que construye el empleo de modelos teóricos en nuestra comprensión de la realidad, le permite fundamentar epistemológicamente lo que ella llama “actividad científica escolar” (Izquierdo-Aymerich, 2007). Mercè la retrata como un tipo de intervención representacional, discursiva y material sobre el mundo que es a la vez *racional y razonable* (Izquierdo-Aymerich, 2004), de acuerdo con el matiz que da el filósofo inglés Stephen Toulmin (2000) a estos dos constructos.

Inspirada en la descripción que hace Giere del entrelaje entre modelos y “hechos del mundo” (entrelaje mediado por las hipótesis teóricas), Mercè sugiere en su marco un tipo de trabajo de aula muy específico:

El diseño [que haga el profesorado] de la actividad científica escolar ha de consistir en montar un escenario (una situación determinada, significativa para los alumnos) en el cual tengan sentido las principales preguntas que están en el corazón de las disciplinas, así como las «*reglas del juego*» para contestarlas, porque facilitan una representación abstracta de la situación inicial en la cual se ponen en juego diversos sistemas de valores que van a permitir evaluar la actividad. (Izquierdo-Aymerich, 2007: 132; el subrayado es mío)

De acuerdo con el modelo cognitivo de ciencia escolar, los docentes de ciencias deberíamos proporcionar al estudiantado unos “itinerarios” para poner en marcha procesos de *modelización* en el aula. Tal modelización consistiría en “pensar, hacer y comunicar”, a fin de arribar al “establecimiento de conceptos, términos y habilidades correspondientes a la matriz disciplinar que el escenario ha recreado para los alumnos” (Izquierdo-Aymerich, 2007: 133; subrayado en el original).

Utilización de la noción de modelo teórico en la enseñanza de las ciencias

Tras el fallecimiento de Ron Giere, el College of Liberal Arts de la Universidad de Minnesota, que fue su último lugar de trabajo, estableció en su honor unas “Giere Memorial Lectures in Philosophy of Science”. En la página web donde se anuncian estas conferencias, se afirma que el autor fue conocido mundialmente “por su trabajo sobre modelos y representación científica”. En ese pequeño texto laudatorio se hace especial referencia al libro *Scientific perspectivism* (Giere, 2006), “en el cual se enfatiza cómo los modelos son como mapas que representan el mundo basándose en las convenciones y propósitos de los científicos que los crean”¹⁰. Mercè Izquierdo-Aymerich es de las primeras didactas de las ciencias a nivel mundial en avizorar el enorme potencial de la conceptualización giereana sobre los modelos, y en formular intentos iniciales y fundantes de transposición de esa conceptualización para la investigación y la innovación en torno a la educación en ciencias.

Una presentación en el congreso internacional de 2005 organizado por la revista *Enseñanza de las Ciencias* en Granada, de la cual soy coautor (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2005), contiene la que es probablemente la caracterización más larga y detallada de la concepción de Mercè de los modelos científicos, basada en varios pilares giereanos. El marco teórico de esa ponencia adscribe a las dos corrientes filosóficas sobre la ciencia del último cuarto del siglo XX con las que he identificado a Giere en el presente capítulo: la visión basada en modelos y el giro cognitivo. Siguiendo de cerca los postulados de estas concepciones, Mercè arguye que

[...] las ciencias proponen modelos del mundo que se adaptan con gran precisión a las intervenciones experimentales que ellas persiguen y que generan lenguajes específicos altamente abstractos y “compactados”. Aunque estos modelos son creaciones intelectuales humanas, no son arbitrarios, sino que *se ajustan a los fenómenos por medio de relaciones de semejanza expresadas en hipótesis teóricas* [...]. (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2005: 2; el subrayado es mío)

10 Extraído de: <https://cla.umn.edu/mcps/research-programs/colloquia/giere-memorial-lecture-philosophy-science> (la traducción es mía).

Se introduce, en este párrafo, la noción de “similarity” giereana, deudora del constructo de parecidos de familia de Ludwig Wittgenstein (1953/2001), que probará ser muy productiva desde el punto de vista didáctico.

Los modelos teóricos entendidos a la Giere se vinculan entre sí “hasta llegar a formar ‘modelos de los modelos’, o teorías”. Las teorías entendidas desde la perspectiva semanticista “pueden definirse de manera sumamente abstracta y aparentemente alejada del mundo sensible”, pero son reconstruibles como *familias de modelos*, cúmulos o clases que “contienen hechos ejemplares, interpretados y teóricamente (re)construidos” (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2005: 2). Esta suposición sobre la estructura y naturaleza de los modelos tiene consecuencias directas sobre la organización de los currículos y programas de ciencias naturales en la escuela, que deberían alejarse de las clásicas formulaciones “enunciativas”, estructuradas como listas de conceptos, principios y leyes.

Cuando Mercè reporta la perspectiva giereana sobre los modelos teóricos, afirma que ellos

[se] presentan como «hechos idealizados» en los cuales intervienen entidades nuevas (los conceptos científicos) que se definen para conectar los hechos con los *principios [teóricos] generales* de la investigación, los cuales, de esta manera, devienen en ejemplos paradigmáticos de los nuevos principios teóricos que se deben dar a conocer. En la medida en que estos hechos son relevantes, conectan con otros «similares», se van convirtiendo en nuevos ejemplos del modelo teórico y se explican con las mismas entidades [...]. (Izquierdo-Aymerich, 2021: 22; la traducción y el subrayado son míos)

En esta cita muy elaborada, se vinculan ya casi todos los elementos del sistema: los hechos reconstruidos por los principios teóricos, y parte constituyente de la teoría, funcionan a modo de modelo ejemplar (“paradigmático”) en el sentido de construir puentes de semejanza que permiten extender el universo de aplicaciones intencionadas. Esta paulatina y cuidadosa extensión de nuestra comprensión, mediante el uso de modelos extremadamente abstractos y económicos, es fundamental en una ciencia escolar bien planificado.

Si bien este último texto que trabajo aquí ya tiene tres años, en las producciones más recientes de Mercè, se siguen encontrando elementos conceptuales de fuerte inspiración giereana. Así, por ejemplo, ella cierra un artículo de 2022 publicado en Argentina con unas reflexiones didácticas que hacen pie en una muy potente concepción semántico-pragmática de los modelos teóricos *en uso*:

La ciencia escolar debe buscar *la idea más simple* para un mundo complejo. Necesita, para ello, *situaciones que sirvan de ejemplo*, gracias a las cuales las ideas se puedan comunicar de la manera más inteligible posible. Se puede

hablar del yogur, del carbón en la lechuga y en la madera, del cacahuete... desde la Química y desde la Biología. Quizás *las palabras y símbolos no serán las mismas* cuando se quiera introducir la masa atómica (por ejemplo) que cuando se hable del carbono en la madera. Pero en todos los casos, *el lenguaje ha de ser adecuado a lo que se quiere decir*, y las palabras y símbolos introducidos enriquecen la comprensión de lo que se está viviendo, reconociéndose, quizás, incompletos pero adecuados para narrar lo que pasa. (Izquierdo-Aymerich, 2022: 90; el subrayado es mío).

Concluyo este escueto e incompleto análisis de los distintos modos en que Mercè ha importado la concepción modeloteórica de Giere a la didáctica de las ciencias y la ha expandido, dejándonos mucho en lo que seguir pensando, extractando una de las consideraciones finales de otro de sus artículos, que me parece extremadamente elocuente: hablar de modelos y de modelización científica escolares “identifica ahora una determinada manera de trabajar [en didáctica], refleja una determinada concepción de lo que es la educación científica” (Izquierdo-Aymerich, 2014: 82). No podría estar más de acuerdo: es una apuesta al futuro de la enseñanza de las ciencias que deberíamos seguir sosteniendo como comunidad.

Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A., Gómez, A., Márquez, C. y Sanmartí, N. (2005). La mediación analógica en la ciencia escolar: Propuesta de la ‘función modelo teórico’, en el Simposio “Las analogías en la enseñanza de las ciencias”. Enseñanza de las Ciencias, número extra VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias (Simposio 4, Comunicación 4). (5 páginas.) En línea: <https://core.ac.uk/download/pdf/13308951.pdf>
- Ambrosini, C. y Beraldi, G. (2015). *Pensar la ciencia hoy. La epistemología: entre teorías, modelos y valores*. CCC Educando.
- Brown, M.J. (2009). Models and perspectives on stage: remarks on Giere’s *Scientific perspectivism*. *Studies in History and Philosophy of Science: Part A*, 40(2), 213-220. DOI: 10.1016/j.shpsa.2009.03.001
- Estany, A. & Cuevas Badallo, A. (2021). Introducción a la sección monográfica: Ronald N. Giere, un referente y maestro de la filosofía de la ciencia. *ArtefaCToS: Revista de Estudios de la Ciencia y la Tecnología*, 10(1), 5-10. DOI: 10.14201/art2021101510
- Gensollen, M. & Jiménez-Rolland, M. (2021). Giere’s scientific perspectivism as *carte blanche* realism. *ArtefaCToS: Revista de Estudios de la Ciencia y la Tecnología*, 10(1), 61-74. DOI: 10.14201/art20211016174
- Giere, R.N. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. The University of Chicago Press.
- Giere, R.N. (ed.) (1992a). *Cognitive models of science*. University of Minnesota Press.

- Giere, R.N. (1992b). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México.
- Giere, R.N. (2006). *Scientific perspectivism*. The University of Chicago Press.
- Hackenberg, T.D. (2009). Realism without truth: A review of Giere's science without laws and scientific perspectivism. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 91(3), 391-402. DOI: 10.1901/jeab.2009.91-391
- Izquierdo-Aymerich, M. (1988). La contribució de la teoria del flogiste a l'estructuració actual de la ciència química: Implicacions didàctiques. *Ensenanza de las Ciencias*, 6(1), 67-74. En línea: <https://ddd.uab.cat/pub/edlc/02124521v6n1/02124521v6n1p67.pdf>
- Izquierdo-Aymerich, M. (1990). Bases epistemològiques del currículum de ciències. *Educар*, 17, 69-90. En línea: <https://ddd.uab.cat/pub/educar/0211819Xn17/0211819Xn17p69.pdf>
- Izquierdo-Aymerich, M. (1995a). Cognitive models of science and the teaching of science: History of science and curriculum. En D. Psillos (ed.). *European research in science education II*, pp. 106–117. Art of Text.
- Izquierdo-Aymerich, M. (1995b). Epistemological foundations of science education. En: *Abstracts of the 3rd International History, Philosophy and Science Teaching Conference*. University of Minnesota Press.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: Contextualizar y modernizar. *Anales de la Asociación Química Argentina*, 92(4-6), 115-136. En línea: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-03752004000200013
- Izquierdo-Aymerich, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Ensenanza de las Ciencias*, 23(1), 111-122. DOI: 10.5565/rev/ensciencias.3861
- Izquierdo-Aymerich, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Ensenanza de las Ciencias Sociales*, 6, 125-138. En línea: <https://www.redalyc.org/pdf/3241/324127626010.pdf>
- Izquierdo-Aymerich, M. (2014). Los modelos teóricos en la “enseñanza de ciencias para todos” (ESO, nivel secundario). *Bio-grafía*, 7(13), 69-85. DOI: 10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia69.85
- Izquierdo-Aymerich, M. (2021). Ensenyar química: Una aproximació històrica i filosòfica. *Educació Química*, 29, 19-27. DOI: 10.2436/20.2003.02.221
- Izquierdo-Aymerich, M. (2022). Buscando un mismo lenguaje para enseñar mejor la biología y la química. *Revista de Educación en Biología*, 25(1), 79-91. DOI: 10.59524/2344-9225.v25.n1.36491
- Izquierdo-Aymerich, M. & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Izquierdo-Aymerich, M. & Adúriz-Bravo, A. (2005). Los modelos teóricos para la ciencia escolar: Un ejemplo de química. *Ensenanza de las Ciencias*, número extra VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias (Simposio 5,

- Comunicación 2). (4 páginas.) En línea: https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRAp490modteo.pdf
- Izquierdo-Aymerich, M. & Adúriz-Bravo, A. (2021). Contribuciones de Giere a la reflexión sobre la educación científica. *ArtefaCToS: Revista de Estudios de la Ciencia y la Tecnología*, 10(1), 75-87. DOI: 10.14201/art20211017587
- Izquierdo-Aymerich, M., Espinet, M., García, M.P., Pujol, R.M. & Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, número especial, 79-92.
- Izquierdo-Aymerich, M., Sanmartí, N. & Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59.
- Kosso, P. (1991). Review of *Explaining science*, by R. Giere. *Noûs*, 25(3), 386-388. DOI: 10.2307/2215515
- Lipton, P. (2007). The world of science. *Science*, 316, 834. DOI: 10.1126/science.1141366
- López-Orellana, R. & Sans Pinillos, A. (2021). Ronald Giere, ¿semanticista?: Una pregunta provocativa para el debate contemporáneo sobre la representación científica. *ArtefaCToS: Revista de Estudios de la Ciencia y la Tecnología*, 10(1), 89-106. DOI: 10.14201/art202110189106
- Márquez, C. & Izquierdo-Aymerich, M. (1993). The use of theoretical models in science teaching: The paradigmatic fact. Ponencia presentada en el *Third International Seminar "Misconceptions and Science Education"*, Cornell University, Ithaca, Estados Unidos.
- Quintanilla, M.Á. (1978). Semántica y filosofía de la ciencia. *El Basilisco*, 4, 35-41. En línea: <https://www.fgbueno.es/bas/bas10403.htm>
- Ramírez, A. (2016). La concepción modelo-teórica de las teorías científicas: Sobre la noción de modelo. *CoRis: Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 12, 63-72.
- Siegel, H. (1989). Philosophy of science naturalized?: Some problems with Giere's naturalism. *Studies in History and Philosophy of Science:Part A*, 20(3), 365-375. DOI: / 10.1016/0039-3681(89)90012-5
- Toulmin, S. (2000). Be reasonable, not certain. *Concepts and Transformation*, 5(2), 151-163. En línea: <https://library.fes.de/libalt/journals/swetsfulltext/10296085.pdf>
- Wittgenstein, L. (2001). *Philosophical investigations*. Blackwell Publishing. (Original en alemán de 1953.)
- Yager, R.E. (1983). Editorial: Defining science education as a discipline. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(3), 261-262. DOI: 10.1002/tea.3660200310

La capacidad epistémica de la colaboración

Anna Estany

Universidad Autónoma de Barcelona, España
anna.estanny@uab.cat

Resumen

La colaboración con Mercè Izquierdo empezó cuando estaba trabajando en mi tesis doctoral sobre la revolución química y la figura de Lavoisier, a partir de los modelos de cambio científico, en especial de T. Kuhn, I. Lakatos y L. Laudan. Sus saberes tanto en química como en su historia fueron muy relevantes para la tesis. El objetivo es dar cuenta de los principales hitos y resultados de esta colaboración, a lo largo de los años, de nuestra vida académica. Entre las líneas de investigación, en las que confluyeron nuestros intereses y saberes, hay que señalar la relación entre historia y filosofía de la ciencia, la didactología como ciencia de diseño y el papel de los modelos en la enseñanza de las ciencias.

Palabras clave: Colaboración cognitiva, historia y filosofía de la ciencia, ciencias de diseño, didactología, modelo teórico.

Introducción

La tesis que estaba elaborando, trataba de la conjunción de la historia y la filosofía de la ciencia en un estudio de caso, en concreto de un episodio de la historia de la química, lo cual requería la incorporación de una especialista en química con perspectiva histórica. Aquí empieza la colaboración académica y de amistad con Mercè Izquierdo; en el contexto de un trabajo interdisciplinar, en nuestros respectivos departamentos de Filosofía y de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona.

El objetivo de este bien merecido homenaje a Mercè, es dar cuenta de los principales hitos y resultados de esta colaboración a lo largo de los años de nuestra vida académica. Si bien no puede hablarse de etapas y temáticas cerradas, sí que hay predominio de determinados temas, en función de cómo evolucionaron nuestros intereses y problemáticas surgidas en torno a la historia y filosofía de la ciencia, así como en la enseñanza de las ciencias. En cada una de las etapas y temáticas a las que voy a referirme se abordan cuestiones que centraron nuestro especial interés, los

proyectos de investigación en los que participamos y las publicaciones a las que dieron lugar, así como la repercusión en los programas de doctorado con tesis que reflejan las líneas maestras de nuestra colaboración.

Entre las líneas de investigación, en las que confluyeron nuestros intereses y conocimientos, hay que señalar la relación entre historia y filosofía de la ciencia, la didáctica como ciencia de diseño y el papel de los modelos en la enseñanza de las ciencias. Estas líneas de investigación no son compartimentos estancos, sino marcos teóricos que subyacen a las distintas temáticas que hemos abordado en esta trayectoria compartida. En cuanto a las etapas, ocurre algo parecido; hay una primera etapa ligada al trabajo de Estany sobre modelos de cambio científico en la tesis doctoral, luego publicada en 1990 en la editorial Crítica, en la que predominan las cuestiones sobre la relación de la historia y la filosofía de la ciencia y las repercusiones metodológicas en cada una de éstas; una segunda, en la que se examina el estatus disciplinar de la didáctica, coincidiendo con el surgimiento de una preocupación por las consecuencias prácticas de la investigación, que van más allá de lo estrictamente epistémico y que abordan los valores en la ciencia; finalmente, la idea de modelo y sus diversos sentidos, marcan las nuevas ideas en la enseñanza de las ciencias. Tanto en las diversas líneas de investigación como en las distintas etapas, subyace la colaboración cognitiva como *“leitmotiv”* que guía, sustenta y justifica nuestro trabajo a lo largo de nuestra vida académica.

Historia de la filosofía y de la ciencia

La relación entre historia y filosofía de la ciencia es compleja y nos interpela sobre cuestiones como el papel que cada una juega en la otra. Por ejemplo, en qué medida la epistemología de la ciencia está, o debería estar, determinada o influenciada por lo que nos muestra la historia. A veces el enfoque de Kuhn, Lakatos y Laudan se califica de historicista, aunque considero que responde mejor a la idea de la *“irrupción de la historia en la filosofía de la ciencia”*, una cuestión que se había desestimado durante la primera mitad del siglo XX, con el predominio del Círculo de Viena y el empirismo lógico.

En este punto, es relevante el artículo de Ronald Giere (1973), en el que el mismo título es ya un reflejo de la complejidad de esta relación *“History and Philosophy of Science: Intimate Relationship or Marriage of Convenience”*. Que hay relación está fuera de toda duda y una muestra de ello son los departamentos de historia y filosofía de la ciencia en muchas universidades. De hecho, Giere estuvo varios años en el departamento de Indiana University, denominado HPS, por sus siglas en inglés History and Philosophy of Science. Además, las publicaciones, congresos y asociaciones son un ejemplo de esta relación a todos los niveles. Sobre si esta relación es íntima o de conveniencia es difícil de dilucidar, lo que sí puede decirse es que es muy relevante, tanto para la historia como para la filosofía. Las desavenencias

y los debates en este campo también son una muestra de que podría tildarse como una relación de “conveniencia”, sin embargo, en ningún momento esta se rompió. El pensamiento de Kuhn, Lakatos y Laudan, al que podemos agregar, el de N. R. Hanson, P. Feyerabend y S. Toulmin, entre otros, supuso un punto de inflexión en la agenda de la filosofía de la ciencia.

Respecto a la colaboración en esta temática hay ejemplos muy significativos; en algunos participamos conjuntamente y en otros de forma individual, pero todos ellos eran consecuencia de compartir el marco de la relación entre historia y filosofía de la ciencia. Entre los más destacados están los siguientes:

- Haber formado parte del "Centre d' Estudios de Història de les Ciències" de la UAB, que jugó un papel muy importante en el desarrollo de la historia de la ciencia, especialmente, en la Facultad de ciencias.
- La colaboración en el proyecto “Creatividad, Revoluciones, e Innovación en los procesos de cambio científico”, FFI2014-52214-P, con Estany como Investigadora Principal.
- Publicaciones que analizan casos de historia de la química desde una perspectiva filosófica. Pueden señalarse las siguientes:
 - o Estany, A. & Izquierdo, I. (1990). “La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de S. Toulmin”, *LLULL*, v. 13, pp. 349-378.
 - o Estany, A. (1995). “Louis Proust y la revolución ontológica de Dalton”, *ARBOR*, v. 598-599, pp.111-135.
 - o Estany, A. (1996) “La estructura fina de la revolución química de A. L. Lavoisier”, *Endoxa*, v. 7, pp. 21-42.
 - o Estany, A. (2005). “El papel de la historia de la ciencia en los estudios interdisciplinarios de la ciencia”, en Martínez Muñoz, S. F. & Guillaumin, G. Godfrey (comps.). *Historia, filosofía y enseñanza de la ciencia*. México: Unam (Inst. de Investigaciones Filosóficas), 2005, p. 291-306.
 - o Estany, A. (2010). “¿Es posible una filosofía de la química?”, *Investigación y ciencia*, v. 420, pp. 52-53.
- Participación en el asesoramiento de estudiantes de doctorando sobre temas en el margen de la historia y la filosofía de la ciencia; por ejemplo, la tesis de Pere Grapí es una muestra de la colaboración en los programas de doctorado.

Didactología como ciencia de diseño

Denominar a la enseñanza de las ciencias como “didactología” fue un “invento conceptual” de Izquierdo y Estany, como alternativa a “didáctica”. La educación como disciplina ha tenido varias denominaciones, tales como “pedagogía”, “ciencias de la educación”, “didáctica”, entre las más habituales, pero ninguna de ellas parece

reflejar adecuadamente lo que representa actualmente la enseñanza de las ciencias, a saber: una ciencia aplicada que teoriza sobre la transmisión del conocimiento y sobre los procedimientos que la hacen posible.

Las ciencias de diseño tienen como referente el pensamiento de H. Simon, expuesto en una de sus obras seminales *The Sciences of the Artificial* (1969) y del filósofo I. Niiniluoto quien, siguiendo la idea de Simon, la aplicó a las ciencias aplicadas en el artículo *"The aim and structure of applied sciences"* (1993). Niiniluoto señala que la mayoría del trabajo realizado por los filósofos de la ciencia tiene como punto de mira las ciencias básicas, como la matemática, la física, la biología, la psicología y la sociología, pero que se ha prestado mucha menos atención, por no decir nula, a campos como matemática aplicada, veterinaria, logopedia, dietética, farmacología, ingeniería, ciencias de la educación o ciencias de la información, a pesar del peso que dichos campos disciplinarios tienen en el conjunto de la investigación y en las instituciones académicas, sin contar la trascendencia para la sociedad en general, al menos en el mundo occidental.

Las ciencias de diseño proporcionan a la enseñanza de las ciencias un marco teórico, en el que convergen desde cuestiones epistémicas hasta contextuales, con una visión pragmática que caracteriza muy bien los diversos valores de la educación, tanto en su vertiente instructiva como de formación científica y humanística. La reflexión sobre didactología ha dado lugar a actividades como conferencias y congresos realizados en nuestros respectivos departamentos, además de unos resultados que podemos concretar en las siguientes publicaciones:

- Proyecto sobre "Didáctica de las ciencias experimentales", 1990-93, del Ministerio de Educación y Ciencia, con Mercè Izquierdo como Investigadora Principal.
- Anna Estany & Mercè Izquierdo (2001). "Didactología: una ciencia de diseño", *Endoxa*, v.14, pp. 13-33.
- Adúriz-Bravo, A., Izquierdo, M. & Estany, Anna (2002). "Una propuesta para estructurar la enseñanza de la filosofía de la ciencia para el profesorado de ciencias en formación". *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, ISSN 0212-4521, Vol. 20, N.º 3, 2002, págs. 465-476. 20.

El papel de los modelos en la enseñanza de las ciencias

El interés por la idea de modelo surgió en el contexto de la enseñanza de las ciencias, fundamentalmente, a través del pensamiento de Ronald Giere y su apuesta por el enfoque cognitivo en filosofía de la ciencia. Para el marco teórico de la enseñanza de las ciencias, la idea de "modelo teórico" como alternativa a "teoría" significa un cambio en la forma de representar el conocimiento. Una teoría está compuesta por

un conjunto de enunciados sobre el mundo, que pueden ser verdaderos o falsos, por lo que la teoría será verdadera solo cuando todos los enunciados sean verdaderos, en caso contrario la teoría será considerada falsa. Según Giere, la relación del modelo teórico con el mundo real es de semejanza, en función del número de hipótesis que hayan sido contractadas positivamente. Una propuesta mucho más en consonancia con los modelos en enseñanza de las ciencias. Por ejemplo, cuando nos referimos a un modelo didáctico no pensamos en su verdad o falsedad, sino en qué medida su aplicación en el aula es viable y capaz de dar frutos en la comprensión de los conocimientos. Por tanto, se puede concluir que los modelos teóricos proporcionan una visión más adecuada del proceder de las ciencias de la educación en general y de la didactología y de la enseñanza de las ciencias en particular.

Además, en el pensamiento de Giere, la idea de modelo queda reforzada por los estudios de Philip Johnson-Laird (1983) sobre modelos mentales, lo cual enlaza con la naturalización de la epistemología, en el sentido de que la fundamentación del conocimiento no puede estar anclada en principios apriorísticos, sino que hay que tener en cuenta los resultados empíricos de las ciencias, que pueden actuar como constreñimientos para los principios y métodos de la epistemología y la filosofía de la ciencia.

En esta etapa y, en concreto, esta temática tuvo repercusión en la colaboración en proyectos, publicaciones y programas de doctorado, que se señalan a continuación:

- Mercè Izquierdo participó en el equipo de investigación del proyecto “El diseño del espacio en entornos de cognición distribuida: plantillas y ‘*affordances*’. Repercusiones para una filosofía de las prácticas científicas” (2008-2011). FFI2008-01559, del que Estany era Investigadora Principal.
- Estany, A. & García Arteaga, E. (2010). “Filosofía de las prácticas experimentales y enseñanza de las ciencias”. *Praxis Filos.*, 31
- Estany, A. (2001). *Ciencia y educación*. Ed. y prólogo de Izquierdo, M., *Endoxa*, v. 14 7-9, núm. monográfico.
- Izquierdo, M. (1990). “Bases epistemològiques de l'ensenyament de les ciències”, *Edhucav*, 17, pp. 69-90.
- Izquierdo, M. (1994). “Cognitive Models of Science and Science Education”. Summer School: Research in Science Education. Thessaloniki.

En cuando a la repercusión en el programa de doctorado, por un lado está la colaboración en la codirección, en la tesis de Jordi Vallverdú “Marc teòric de les controvèrsies científiques: el cas de la sacarina”, Facultat de Lletres, Departament de Filosofia, 27 de Mayo 2002, con la calificación de Sobresaliente, *Cum laude*; por otro, la colaboración no formal, participando en los tribunales de tesis doctorales, como en el caso de Agustín Adúriz-Bravo en 2001, con su tesis “Integración de la

epistemología en la formación del profesorado de ciencias” presentada en el Departament de didáctica de la matemática y les ciencias experimentals de la UAB.

La colaboración necesaria

Uno de los signos de nuestro tiempo es la atomización del saber, consecuencia de la complejidad de los fenómenos a explicar. Aristóteles tenía todo el conocimiento en sus manos, el horizontal (desde la física a la sociología) y el vertical (desde la ciencia a la metafísica). A lo largo de la historia, los conocimientos sobre alguna parte del mundo natural y social se han ido desgajando de la filosofía, convirtiéndose en las disciplinas científicas que ahora conocemos. El precio que hemos tenido que pagar por conocer más y poder explicar muchos más fenómenos es que el saber se ha fragmentado como consecuencia de la especialización. Así, mientras los fenómenos con los que nos enfrentamos cada día son más complejos, los compartimentos del conocimiento son cada vez más estrechos. Sin embargo, en las disciplinas científicas ha habido un punto de inflexión, en el sentido de que se ha visto la necesidad de la interdisciplinariedad, a fin de establecer la relación entre los distintos saberes. Campos como la bioquímica, la arqueometría, la psicobiología y la astrofísica son una prueba de ello. La novedad no es tanto que una disciplina recurra a los conocimientos de otra, sino que esta relación se ha institucionalizado a través de titulaciones universitarias, congresos, revistas y proyectos.

Aceptada la colaboración y el hecho de que el conocimiento de determinados fenómenos de este mundo solo es accesible a través del trabajo colectivo, una de las cuestiones que se plantea es su viabilidad tanto a nivel cognitivo como social. Por tanto, se trata de ver hasta qué punto los modelos cognitivos y sociales proporcionan base empírica a la capacidad de colaboración y a la necesidad de incorporar recursos tecnológicos y culturales, a fin de llevar a cabo la investigación científica de fenómenos altamente complejos.¹

El homenaje a Mercè Izquierdo constituye una prueba de que dicha colaboración es viable y de que sus frutos son indiscutibles. Como señala K.B. Wray (2002), en el artículo *“The epistemic significance of collaborative research”*, la colaboración entre disciplinas se ha ido incrementando a lo largo de las últimas décadas, a pesar de algunos costes, como la difusión de la responsabilidad epistémica, la posible erosión de la motivación de los científicos y el hecho de que una vez que se han establecido las redes de colaboración éstas pueden actuar como un lobby de poder. También hay que mencionar la dificultad de la evaluación de artículos en los que participan varios autores, aunque por lo que hemos dicho anteriormente, en este momento de la investigación científica no parece que haya marcha atrás.

1 Para un análisis de la colaboración cognitiva ver el artículo de A. Estany (2021).

Referencias bibliográficas

- Estany, A. (2021). "La cognición extendida y colaborativa: un reto para la epistemología", en R. López-Orellana y E.J. Suárez-Ruíz (Eds.) (2021). *Filosofía posdarwiniana. Enfoques actuales sobre la intersección entre análisis epistemológico y naturalismo filosófico*, pp. 377-395, College Publications, Londres.
- Giere R. (1973). "History and Philosophy of Science: Intimate Relationship or Marriage of Convenience?", *The British Journal for the Philosophy of Science*, v. 24.3, pp. 282-297.
- Giere R. (1988). *Explaining science. A cognitive approach*. Chicago: University of Chicago Press.
- Jonhson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Niiniluoto, I. (1993). "The aim of applied research", *Erkenntniss*, v. 38, pp.1-21.
- Simon, H. (1969). *The Sciences of the Artificial*. MIT Press.
- Wray, K. B. (2002). "The Epistemic Significance of Collaborative Research", *Philosophy of Science*, Vol. 69, No. 1, pp. 150-168. The University of Chicago Press.

Resignificado de ciencia escolar a partir de una necesaria discusión sobre qué es ciencia

Lydia R. Galagovsky

Universidad de Buenos Aires, Argentina

lydia.galagovsky@gmail.com

Resumen

Se esperaba en décadas pasadas que mejoras en la ciencia escolar produjeran una alfabetización científica adecuada. Sin embargo, los indicadores muestran una baja motivación de los estudiantes hacia las ciencias naturales y tendencias de poner en duda preceptos de la ciencia por parte de la sociedad que, incluso, se inclina en gran proporción a aceptar creencias pseudocientíficas.

En este capítulo se presentan discusiones e implicancias que sostienen la importancia de reconocer que los seres humanos somos más que materia, que la mente es más que el mero cerebro, que los aprendizajes están sustentados en pensamientos y no sólo en información externa, y que la ciencia está sustentada y avanza tanto en creencias e imaginación como en pruebas objetivables.

Se espera una apertura sobre la concepción de ciencia, para reflexionar sobre mejoras en su enseñanza.

Palabras clave: ciencia; pseudociencia; mente intuitiva; meditación; creencias.

Introducción

Se esperaba en décadas pasadas que la ciencia escolar (Izquierdo *et al.*, 1999) produjera, entre otras mejoras, una alfabetización científica para que los ciudadanos pudieran opinar con fundamento sobre los grandes cambios a suscitarse (Ajashi, 2018). Sin embargo, se ha visto que dichos temas se resuelven a nivel de grandes empresas y políticas de Estado, y que las opiniones de los ciudadanos son modeladas por los medios de comunicación y las redes sociales. Mientras tanto, los docentes prefieren –mayoritariamente– presentar unas ciencias naturales objetivas e impolutas, evitando sus solapamientos con datos provenientes de las humanidades (Bencze, *et al.*, 2020).

Simultáneamente, el periodismo y las redes sociales presentan evidencias de prácticas perjudiciales para el planeta y/o los individuos (tales como los residuos

plásticos, los alimentos ultraprocesados, los contaminantes generados por combustibles fósiles o por megaminería, etc.), y responsabilizan a la ciencia como origen de tales “progresos científicos” y/o demandan soluciones inmediatas y eficientes, mostrando escasa comprensión sobre las dificultades inherentes al proceso de desarrollo de un producto científico.

La educación y, por lo tanto, los educadores, se encuentran ante la pregunta de sobre qué ciencia enseñar. Quian Quiroga (2024) señala que *“el sistema educativo generalmente nos incita a repetir información de memoria, dar el examen y luego a olvidarla. (...) Tal vez fuera más útil quedarse con mucho menos conocimiento, pero tratar de afianzarlo generando asociaciones más atrevidas, ya que a veces los grandes descubrimientos han surgido de hacer asociaciones entre cosas que a nadie se le había ocurrido antes.”*

En este capítulo intentaré hacer “asociaciones atrevidas” para desestabilizar nuestras miradas sobre “ciencia”, a través de seis discusiones y sus implicancias.

Primera discusión: Ciencia valorada, pseudociencia descalificada

La palabra inglesa “*science*”, se utiliza principalmente para las ciencias naturales y algunos otros campos de investigación que se consideran similares a ellas, como la economía política y la sociología¹ (Hansson, 2021). Antes del siglo XVIII, los desarrolladores de la ciencias naturales eran denominados genéricamente como “filósofos naturales”; desde el siglo XIX fueron desagregándose las grandes disciplinas científicas tradicionales; y, desde mediados del siglo XX, se han reagrupado en nuevas áreas interdisciplinarias, tales como la astrofísica, la biología evolutiva, la bioquímica, la ecología, la química cuántica, las neurociencias, la ciencia de datos, las ciencias cognitivas, la neuroinmunología, la psiconeuroinmunología, la nutrigenómica, la bioinformática, etc., que, incluso, tienen sus propias publicaciones científicas periódicas. Entonces, ¿qué es ciencia?²

Si bien hay un complejo entramado filosófico para definir ciencia, Hansson (2021) señala que también hay dificultades para dar una definición de pseudociencia, excepto que siempre tiene una clara connotación despectiva, en contraposición con el concepto de ciencia. Pareciera generalizable definir a la ciencia como “la verdad” y a la pseudociencia como “la mentira”; aunque verdad es un concepto caleidoscópicamente cambiante, pues depende de la configuración que le den su operador y su observador (Cárcova, 2011). La poderosa, potente y creativa mente

1 La palabra alemana correspondiente, “*Wissenschaft*”, tiene un significado mucho más amplio e incluye todas las especialidades académicas, incluidas las humanidades (Hansson, 2021).

2 El físico teórico Carlo Rovelli, famoso por su concepto de Gravedad Cuántica de Bucles, reclama la injerencia de la Filosofía para discriminar qué es ciencia (Esguerra, 2024).

humana combina aspectos racionales e intuitivos, tanto para la ciencia como para la pseudociencia. Hansson (2021) señala que no sería posible definir la pseudociencia como una generalidad, sino que habría que centrarse en cada caso porque, entre otros conflictos, a veces se promociona una pseudoteoría, pero otras, se combina con negacionismos científicos. Numbers y Kampourakis (2015) analizaron casos bajo el microscopio de la historia de la ciencia y discutieron críticamente ideas que sostienen: a) que la religión impidió la ciencia; b) que los científicos típicamente se adhieren a un método científico; y, c) que se pueda trazar una clara línea entre la ciencia legítima y la pseudociencia.

Aunque desde la filosofía y las ciencias cognitivas se discuten las características distintivas de ciencia y pseudociencia, los científicos y el cuerpo docente actual de ciencias naturales sentencian con firmeza sus diferencias.

Segunda discusión: Religión descartada, ciencia racional exaltada

El debate sobre religión vs ciencia encontró una fuerte brecha metodológica, particularmente desde el siglo XVII (De Cruz, 2017). A pesar de las formaciones religiosas de muchos filósofos naturales como Leibniz (Coudert, 1995) y Newton (Goldish, 1998), la brecha entre ciencia y religión fue consolidada por el filósofo René Descartes (1959), en 1637, con su sentencia “*pienso, luego existo*”, donde se establecía que el sujeto humano fundamenta el conocimiento desde su razón y no desde su carácter reflexivo e intuitivo.³

1. IMPLICANCIAS DE LA PRIMERA Y SEGUNDA DISCUSIÓN SOBRE EL ESCENARIO EDUCATIVO

Si se considera que la ciencia proviene exclusivamente de metodologías racionales, lógico-matemáticas y analítico-empíricas, va de suyo que una buena enseñanza habría de seguir a pies juntillas ese estilo de estándares. Así, muchos docentes presentan productos de una ciencia que tiende a “descubrir la verdad”, aunque agreguen seguidamente que esa verdad puede cambiar con el tiempo. Esta concepción de ciencia elimina procesos mentales como la inspiración, la imaginación o la intuición, como aportes valiosos para el desarrollo científico.

Más allá de excelentes visiones sobre la “naturaleza” de las ciencias naturales y su enseñanza (Adúriz Bravo *et al.*, 2002; Couló, 2009; AAAS, 2024), los docentes

3 Una catástrofe natural consolidó tal brecha entre ciencia y religión: las fatídicas circunstancias por las cuales decenas de miles de fieles católicos fallecieron dentro de iglesias que colapsaron durante el terremoto de Lisboa, el 1 de noviembre de 1755 -día de Todos los Santos- elevaron cuestionamientos a la fe en un Dios creador que no protegería a sus fieles. Aunque muchos científicos actuales tienen creencias religiosas, el cuerpo docente actual de ciencias naturales prácticamente se descalifica toda postura religiosa como anticientífica.

elegirían enseñar haciendo hincapié en los productos de una ciencia despojada de procesos humanos, aunque se declare que “la ciencia es una actividad humana” (Rivero y Wamba, 2011). Dicho de otra forma, si los docentes consideran que un buen científico es aquel que potencia su hemisferio cerebral izquierdo –racional y analítico– y no su díscolo, artístico e intuitivo hemisferio derecho (Ocklenburg, Güntürkün, 2018; Cherry, 2023), aceptarán potenciar únicamente esos valores en su forma de enseñanza. Sin embargo, las ciencias naturales podrían resultar muy motivadoras para los estudiantes si se les permitiera el desarrollo de tales cualidades de la mente, tal como lo hacen los propios científicos.

Tercera discusión: La mente intuitiva vs la comprobación experimental

El Dr. Richard Feynman –Premio Nobel de Física 1965– señaló que “*No importa cuán bonita sea una teoría, ni cuán inteligente fue quien la creó, ni cómo se llamaba. Si no está de acuerdo con los experimentos, es incorrecta*” (Agulló, 2020). Esta aseveración es ampliamente aceptada por la comunidad tanto de científicos como de educadores de la ciencia. Sin embargo, una ciencia solo sustentada en la experimentación nos enfrenta a la pregunta sobre cómo habrían surgido aquellas ideas que habilitaron observaciones pertinentes y el diseño de experimentos como componentes del desarrollo científico. La génesis de las ideas creativas sigue siendo un misterio para la ciencia racional (Epifanías, 2024; CONICET, 2024). Un ejemplo llamativo de racionalidad vs. imaginación es comprender que las teorías actuales sobre el origen del Universo encuentran resonancias en teorías ancestrales (construidas con imaginación), tal como se amplía a continuación.

Teoría del Big Bang

Esta teoría dice que el universo, tal como lo conocemos, comenzó con un único punto infinitamente caliente y denso que se infló y se estiró (primero a velocidades inimaginables y luego a un ritmo más mensurable) durante los siguientes 13.700 millones de años, hasta el cosmos aún en expansión, que hoy conocemos. Georges Lemaître, un sacerdote católico⁴ que recibió su doctorado en física en el Instituto de Tecnología de Massachusetts, propuso esta teoría en 1931. Renombrados científicos como Eddington y Einstein, inicialmente desvalorizaron estas ideas (Artigas, 1995), principalmente porque no había experimentos contundentes que la sostuvieran y, además, porque se asemejaba a la idea bíblica de la Creación⁵. El Papa Pío XII se refirió a la nueva teoría del origen del universo como una validación científica de la fe católica. Lemaître señaló que se había basado en los sorprendentes resultados que Edwin Hubble publicó en 1929, provenientes de sus estudios realizados en el

4 Su fuerte convicción religiosa lo llevó a desempeñarse como presidente de la Academia Pontificia de Ciencias, en Bélgica, desde 1960 hasta su muerte en 1966.

5 La idea de que Dios creó el mundo con su divina palabra habilita el término “abracadabra”, de interesante origen remoto (Fernández Aguilar, 2024).

laboratorio astronómico del Monte Wilson –Los Ángeles–: *“las galaxias distantes se alejan todas de nosotros, y tanto más rápido cuanto más lejos están”*. Así mismo, poco antes de su muerte, Lemaître se enteró de que Arno Penzias y Robert Wilson –en 1965– habían detectado y publicado, sobre la radiación cósmica de fondo de microondas, la primera y aún más importante evidencia observacional en apoyo del Big Bang (Jastrow, 1978; Soter & De Grasse, 2000). Esto significaría, por un lado, que aquellos datos experimentales previos estaban huérfanos de una teoría que los comprendiera; y, por otro, que tal vez la mente religiosa e intuitiva de Lemaître lo “habilitó” para poder asociar esos datos y proponer la teoría del Big Bang.

Capra (2006) ha señalado relaciones entre la teoría del Big Bang y cosmologías orientales (Contreras Radovic, 2005). Cabe preguntarse cómo los antiguos hindúes y budistas habrían llegado a dichas ideas sin los datos experimentales del siglo XX. Capra (2006) también argumenta sobre la importancia de la meditación como herramienta creativa de la mente humana.

También es destacable la relación entre el Big Bang y las complejas explicaciones de la Cábala sobre la creación del mundo, originadas hace más de 2200 años y revitalizadas por I. Luria en el siglo XVI (Saban, 2018; Jorem, 2019).⁶

Teniendo en cuenta que antes de los siglos XX y XXI no existían los poderosos instrumentos científicos actuales, cabe aceptar que, increíblemente, aquellos místicos sólo poseían su mente como dispositivo de pensamiento y la meditación como herramienta inspiradora y reveladora.

Teoría de Cuerdas

El Dr. Michio Kaku (2006), experto en física y gran divulgador científico, ha expresado: *“Con la vigorosa oposición de la Vieja Guardia en física, la Teoría de Cuerdas se ha convertido en el principal candidato para una “teoría del todo” que nos permitirá “leer la mente de Dios”, como esperaba Einstein.”* (...) *Esta teoría prevé que todas las partículas, átomos, moléculas, etc. del universo no son más que notas musicales sobre cuerdas o membranas vibrantes. Si es cierto, significa que la física representa las hermosas armonías de la naturaleza, que la química representa las melodías tocadas en estas cuerdas y que el universo es una sinfonía de cuerdas. También significaría que la “mente de Dios” es música cósmica que resuena a través del hiperespacio de 11 dimensiones. La teoría también fusiona el pensamiento budista y cristiano. Los budistas creen en un universo sin tiempo, un Nirvana sin principio ni fin. Pero el pensamiento judeocristiano se basa en el Génesis, un momento único de la Creación. ¿Pero, el universo tuvo un comienzo o no lo tuvo? No hay término medio.*

6 El Big Bang tiene su correlato místico con dos contracciones y expansiones de energía y materia, denominadas *TzimTzum*, y la radiación cósmica de fondo de microondas podría analogarse con el *reshimot* (en hebreo, reminiscencia) que remite a la presencia residual, en el vacío, de aquella luz divina infinita original, previa a la autocontracción-creación del universo.

Hasta ahora, en esta nueva teoría, los universos nacen constantemente en un océano de hiperespacio de 11 dimensiones o Nirvana, como burbujas flotando en el aire. Por tanto, tenemos una hermosa fusión de estas dos teorías. Además, la cuestión que ahora debaten los físicos es: ¿Qué hay en esos otros universos? ¿Podremos llegar a ellos alguna vez? ¿Hay vida en estos universos? ¿Existe un clon mío en estos universos paralelos?”.

La Teoría de las Cuerdas también predice la posible existencia de “agujeros de gusano” que, como en una novela de ciencia-ficción, permitirían la conexión entre agujeros negros (Kaku, 2023), a través de los cuales, idealmente, los humanos podrían viajar sin morir en el intento. Cada solución matemática a la Teoría de Cuerdas es un Universo que, cual burbujas, podrían estar formándose, fusionándose, desapareciendo (Santaolalla, 2017).

1. IMPLICANCIA EPISTEMOLÓGICA SOBRE LA TERCERA DISCUSIÓN

Los ejemplos presentados muestran modelos actuales de ciencia, sus correlatos milenarios y la importancia de cualidades humanas de la mente como instrumento creativo para la concepción de teorías. Sin embargo, pocos científicos hablan de la potente imaginación e intuición humanas como instrumentos “reales” al servicio del avance de la ciencia; y, mucho menos, quienes sostienen una significación de ciencia exclusivamente sostenida por la comprobación experimental. Más aún, pareciera haberse consolidado la idea de que la experimentación sería válida solo si se incluyen elementos comparativos que se designan como grupos testigo, patrón y tratamiento, procedimiento denominado genéricamente un “diseño experimental” (Seltman, 2013). Esta visión restringida de ciencia suele estar implícitamente validada por editores de revistas científicas, quienes consideran que un trabajo es científico solo si incluye un diseño experimental⁷; sin embargo, se trata de una concepción restringida de ciencia que condiciona el tipo de productos de investigación a ser publicados.

2. IMPLICANCIAS EDUCATIVAS SOBRE LA TERCERA DISCUSIÓN

Hacer ciencia escolar mediante “diseño experimental” es muy interesante (OCDE, 2006; Windschitl *et al.*, 2008; Patiño y otros, 2010; Sanmartí y Márquez, 2012; Furman y otros, 2013; Ferrés-Gurt, 2017; Izquierdo, 2017; Conejera *et al.*, 2020); sin embargo, validar exclusivamente este formato es un reduccionismo. Esta imagen de ciencia, frecuentemente se correlaciona con la visión didáctica sobre cómo hacer “buenas preguntas”, considerando que estas solo son las “investigables” mediante

7 En su origen histórico, un manuscrito científico con datos experimentales se enviaba a la Academia de Ciencias del país, la que reproducía su contenido experimental antes de publicarlo; es decir, se testeaba la veracidad de lo informado. Actualmente los manuscritos se validan por grupos de expertos y el formato de “diseño experimental” es el único válido para muchas revistas periódicas de publicaciones científicas.

un diseño experimental; esta significación también resulta reduccionista (Edelsztein, Galagovsky, 2021).

Cuarta discusión:

La ciencia como producción de publicaciones

Las publicaciones en revistas científicas hacen un gran aporte a la construcción del concepto sobre qué es ciencia. La calidad de un “manuscrito” que pretende ser publicado radica en la coherencia interna del formato de su escritura⁸. Dos sesgos sobre el concepto de ciencia provendrían de distorsiones del “mercado académico de la ciencia”. Ammous (2021) señala que: (a) Luego de 1970 se estableció un circuito de valoración de las publicaciones científicas según indicadores creados por el propio sistema de editores, mediante índices de impacto. Los productores de “papers” son también evaluadores –sin pago– y participan del mercado editorial que los juzga. En este sistema existe la “recomendación no explicitada” de incluir en el manuscrito numerosas citas de la propia revista científica a la que se postula la publicación, para incrementar su número de citaciones y, así, posicionarse mejor en el mercado editorial (Singh Chawla, 2023). (b) Dado que los sueldos de los investigadores son pagados por los Estados o provienen de la obtención de escasos subsidios, las líneas de investigación que se despliegan –sobre todo en países periféricos– se alejan de las que cada entorno local pudiera requerir, pues tratan de ubicarse en “nichos accesibles” dentro de ese “mercado editorial global”. Esto generaría un distanciamiento entre las necesidades de la sociedad local que solventa la ciencia con sus impuestos; así comienza un espiral de desconfianza y un alejamiento emocional entre el público ciudadano y su visión de utilidad de dicha ciencia.

Quinta discusión:

Los lenguajes de la ciencia y de la pseudociencia

¿Hay atributos semióticos que diferencien ciencia de pseudociencia? ¿Qué impacto tienen en la sociedad? Presentaremos aquí un breve análisis de dos ejemplos.

El QiGong

Michel Matthews (2019) investigó el caso del *Feng Shui*, la creencia milenaria originaria de China, muy extendida en Occidente, que cuenta con millones de seguidores y mueve negocios millonarios al ser aplicada a diferentes áreas de interés

8 En su origen histórico, un manuscrito científico con datos experimentales se enviaba a la Academia de Ciencias del país, la que reproducía su contenido experimental antes de publicarlo; es decir, se testeaba la veracidad de lo informado. Actualmente los manuscritos se validan por grupos de expertos y el formato de “diseño experimental” es el único válido para muchas revistas periódicas de publicaciones científicas.

Por ejemplo, coherencia entre objetivos, metodologías empleadas, datos relevados, análisis de datos y conclusiones.

comercial y de la salud. El *Feng Shui* incluye el concepto de *Qi* –“chi”–, utilizado en la medicina tradicional china denominada *QiGong* (*chikun*)⁹, de 2.500 años de antigüedad. Los practicantes de *QiGong* afirman que puede curar enfermedades graves como la hipertensión, el glaucoma, el asma, las úlceras e, incluso, el cáncer.

Wozniak *et al.* (2001) relataron experiencias exitosas realizadas por el maestro Yan Xin, en toda China y en los EEUU, en la década de 1990¹⁰. Estos autores también señalan que los libros y artículos publicados sobre *QiGong* en revistas científicas incluían detalles altamente técnicos y tablas matemáticas, con toda la apariencia de una ciencia sofisticada. Es decir, publicar en inglés, adoptando formatos lingüísticos propios de las publicaciones científicas, fue la puerta de entrada que permitió el reconocimiento de la ciencia china por la audiencia occidental. Por otro lado, Lin *et al.* (2000) analizaron críticamente la naturaleza y la práctica del *QiGong*, señalando afirmaciones pseudocientíficas y una gran cantidad de engaños practicados por charlatanes en nombre de esa forma de medicina.

Tras su investigación, Matthews (2019) concluyó que el *Feng Shui* es pseudociencia, aunque reconoce que para la cultura china es parte de su concepto de ciencia.

A pesar de esta dura categorización de Matthews, actualmente, hay líneas de investigación en ciencias cognitivas que relacionan posturas corporales del *QiGong* con efectos positivos sobre el cerebro y el estado de ánimo de las personas (Oblitas *et al.*, 2018; Castellanos, 2019). Es decir, algunas ideas podrían tildarse de pseudocientíficas, hasta tanto se las investigue con métodos apropiados.

El dióxido de cloro contra COVID-19

Seguramente la mayoría de los lectores han constatado, durante la pandemia de COVID-19, la proliferación de curaciones alternativas que estaban desautorizadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y las agencias de salud de cada país, mientras se recomendaba la espera de las respectivas vacunas. Sin embargo, millones de personas probaron terapias alternativas o preventivas, como el dióxido de cloro de la MMS (*Miracle Mineral Solution*) (Kalkcer, 2016) o la Ivermectina (Schwartz, 2022). La actitud de las agencias de salud (NewsCAP, 2019) fue estímulo para la generación de teorías conspirativas en la población, y el bombardeo de los medios masivos de comunicación complicó la tarea de los docentes.

9 Esta medicina china afirma que el cuerpo humano tiene canales (meridianos) a través de los cuales fluye el *Qi*. Mientras que el *QiGong* interno es esencialmente una técnica de relajación y meditación, el *QiGong* externo es una forma de radiación de energía emitida desde las yemas de los dedos de los "maestros".

10 Un lisiado logró caminar, por lo cual, un empresario, conmovido, aportó mucho dinero. El presidente George H.W. Bush invitó a Yan a una cena formal, lo describió como "un sabio contemporáneo" y elogió su "investigación sobre los principios científicos detrás de la curación con *QiGong*". Yan también fue fotografiado con el presidente Clinton.

Resulta de interés considerar que el formato lingüístico del libro de Kalkcer (2016), que sustenta el uso del MMS, mimetiza la escritura científica en información correcta, con citas, pero combinada con reportajes a personas que habían probado la MMS y declaraban haberse curado de variado tipo de enfermedades.

Cabe marcar que las advertencias pocas veces modifican creencias y que las explicaciones científicas, en su complejidad, suelen alejar el interés y la comprensión, por parte del público general. Mientras tanto, un “lector confiado” es un sujeto que quiere creer, tal vez porque el relato de otra persona resuena con su sentido común, sus representaciones sociales (Höijer, 2011), o con sus arquetipos sociales (Bazikyan, 2013).

1. IMPLICANCIAS EDUCATIVAS SOBRE LAS CUARTA Y QUINTA DISCUSIONES

Por un lado, Matthews (2019) propuso que es una “irresponsabilidad educativa” el no enseñar creencias científicas en relación a las culturas en que están inmersas, incluso como temas de discusión en clase, ya que se insertarían dentro del tema de “naturaleza de la ciencia”.

Por otro lado, la divulgación comercial utiliza frecuentemente el lema de “científicamente comprobado”, como latiguillo para convencer sobre la calidad de un producto. Sin embargo, los docentes de ciencias no enseñamos fundamentos para discriminar sobre estos condicionamientos semióticos, y el público general tiende a creer en teorías conspirativas acerca de intereses contrarios de la *BigPharma*, para aceptar medicinas populares y de bajo costo (Delgado, 2024).

Finalmente, los docentes de ciencia no solemos aportar herramientas de análisis de aspectos semióticos de los discursos de la ciencia y de la pseudociencia. Lo que solemos hacer es negar o descalificar sistemáticamente la información popular; aunque las creencias no son fáciles de modificar desde afuera de la propia mente de quien las sostiene. Los docentes de ciencias también deberíamos aceptar que muchos “remedios mágicos” actuales pueden provenir de conocimientos que aún la ciencia no ha podido explicar o, simplemente, no se ha dedicado a estudiar, tal como el caso del *QiGong*.

Sexta discusión: Cambio del escenario socio-educativo

La última década ha desquiciado el tablero educativo en varios aspectos. Algunos ejemplos son:

1) Los estudiantes de escuela secundaria actual, en su gran mayoría, no se interesan por las ciencias naturales que se presentan en los currículos propedéuticos (Galagovsky, 2012; Palmer *et al.*, 2017); 2) los estudiantes universitarios declinan

iniciar o continuar carreras científicas (Roach & Sauermann, 2017; Dudas, 2020); 3) especialmente durante y desde la pandemia, las sociedades occidentales adoptaron prácticas pseudocientíficas (Salvador, Cortiñas, 2020; Hansson, 2021), generaron teorías conspirativas y asumieron negacionismos ante posturas científicas (Carmona, 2024; Lupia, 2024); 4) la sociedad adicta a las redes sociales genera individuos estresados, insatisfechos y carentes de sensación de bienestar (Ozimek *et al.*, 2024); 5) ciertas previsiones sostienen que la inteligencia artificial reemplazará aquellos trabajos de base STEM (en inglés, *Science Technology Engineering Mathematics*), por lo cual se hacen advertencias negativas a los jóvenes que quieren elegir este tipo de carreras universitarias (Belinchón, 2024); 6) particularmente para la ciencia química, un informe para la *Royal Society of Chemistry* (Palermo, 2016) advierte sobre el posible abrupto cambio de paradigmas, tanto en contextos educativos como laborales (Pedró *et al.*, 2019); 7) la educación, en diferentes niveles y en temas específicos se ve –y se verá– afectada por la irrupción de la Inteligencia Artificial (Holmes *et al.*, 2022; Hwang, 2024); 8) eventualmente, las capacidades cognitivas y la memoria de los sujetos podrán ser modificadas por dispositivos implantados en el cerebro (Rancaño, 2024; <https://neuralink.com>).

Ante este escenario donde la información que llega a las personas se obtiene principalmente por internet y por redes sociales, cabría aceptar que las ilusiones teóricas elaboradas desde mediados del siglo XX, sobre cómo mejorar la enseñanza escolar de las ciencias naturales, han quedado corroídas.

Consideraciones finales: La necesaria ampliación del concepto de ciencia

Los fundamentalismos de cualquier signo construyen creencias dogmáticas que se atribuyen poseer la verdad absoluta e incuestionable y exhiben rígidas metodologías (Gel, 2020). Proponemos alejarnos del cientificismo extremo y aceptar una concepción más amplia y rica sobre el significado de qué es ciencia, con sus valores (Rollin, 2015) y con las variadas formas de inspiración que hacen parte del pensamiento de los científicos (Goldish, 1998; Coudert, 1995).

Si aceptáramos ser observadores de nuestros pensamientos y creencias, tal vez pudiéramos encontrar características comunes a ciencia/pseudociencia/anticiencia/religión/misticismo, con sus respectivos valores, argumentaciones, metodologías, y tomar conciencia (icon-ciencia!) sobre sus supuestos. (CONICET, 2024; Castellanos, 2019; Gel, 2020; Wild, 2024; Sans Segarra, 2024).

Naturalmente, si ampliamos nuestra visión sobre qué es ciencia, enriqueceremos nuestra visión sobre la ciencia escolar y sobre nuestra misión de educar.

Referencias bibliográficas

- AAAS (American Association for the Advancement of Science) (2024). Chapter 1: The nature of science. the scientific world view. scientific inquiry. the scientific enterprise. In *Science for all Americans On Line*. Oxford University Press. Recuperado en abril de 2024 de <http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/chap1.htm>
- Agulló, I. (2020). *Más allá del Big Bang: Un breve recorrido por la historia del universo*. Editorial Debate. España.
- Ajashi, V. O. (2018). *Scientific Literacy*. DOI:10.13140/RG.2.2.13345.92009. Recuperado en abril de 2024 de https://www.researchgate.net/publication/323317149_Scientific_Literacy
- Ammous, S. (2021). *The FIAT Standard. The debt slavery alternative to Human Civilization*. Saif House.
- Ariza, Y.; Lorenzano, P. & Aduriz Bravo, A. (2020). Bases modeloteóricas para la ciencia escolar: la noción de “comparabilidad empírica”. *Estud. Pedagóg.* [online] 46 (2), p. 447-469. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07052020000200447>.
- Artigas, M. (1995). *Science and religión. Science and faith: the origin of the universe. Georges Lemaître: the father of the big bang*. *Aceprensa, 79/95, Universidad de Navarra, España*. <https://en.unav.edu/web/ciencia-razon-y-fe/ciencia-y-fe-el-origen-del-universo-georges-lemaitre-el-padre-del-big-bang>
- Bazikyan, S. A. (2013). Sociocultural Models for Interpretation of C.G. Jung Archetypes in Advertising Industry. *Journal of Siberian Federal University. Humanities & Social Sciences* 2 (6) 235-246. Recuperado en abril de 2024 de <https://core.ac.uk/download/pdf/38640346.pdf>
- Bencze, L., Pouliot, C., Pedretti, E., Simonneaux, L., Simonneaux, J. & Zeidler, D. (2020). SAQ, SSI and STSE Education: Defending and Extending "Science-in-Context". *Cultural Studies of Science Education*, v15 n3 p825-851. DOI: [10.1007/s11422-019-09962-7](https://doi.org/10.1007/s11422-019-09962-7)
- Belinchón, F. (2024). Estudiar ciencia, tecnología o matemáticas, una idea no tan buena según el premio Nobel de economía Christopher Pissarides. *Diario El País*, Madrid. 2 de enero. Recuperado en abril de 2024 de <https://cincodias.elpais.com/economia/2024-01-02/estudiar-ciencia-tecnologia-o-matematicas-una-idea-no-tan-buena-segun-el-premio-nobel-de-economia-christopher-pissarides.html>
- Capra, F. (2006). *El Tao de la Física. Una exploración de los paralelismos entre la física moderna y el misticismo oriental*. 8a edición, Editorial Sirio. España.
- Cárcova, C. (2011). La deriva de la verdad. Capítulo 5 en *Didáctica de las Ciencias Naturales. El caso de los modelos científicos*. Editorial Lugar. Argentina.
- Carmona, J. (2024). Francisco Matorras, el científico más citado de España: “El negacionismo pone en duda cosas que aprendes en el colegio”. <https://www.infobae.com/espana.3> enero.
- Castellanos, N. (2019). Postura y cerebro, Chikung. Nazareth Castellanos. Conferencia. Recuperado en abril de 2024 de <https://www.youtube.com/watch?v=zWhG1cBQGHY&t=81s>. Más videos en @nazarethcastellanos548

- Conejera, R., Joglar, C. & Jara, R. (2020). Promoviendo la Formulación de Buenas Preguntas en la Clase de Biología en Secundaria: una propuesta didáctica a partir de situaciones problema. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 26, p 1-17; <https://doi.org/10.1590/1516-731320200034>
- CONICET. *Los bordes de la ciencia: conexiones entre la matemática y la kabbalah o la regeneración celular y la meditación*. Informe especial N° 8. Recuperado en abril de 2024 de https://www.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/08_Informe_Especial_Los-bordes-de-la-ciencia.pdf
- Contreras Radovic, C. (2005). La Teoría del Big Bang y la doctrina de Nagarjuna: el vacío o sunyata como síntesis ontológica de todo cuanto existe. Tesis Doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra. España. <https://ddd.uab.cat/record/36663>
- Coudert, A. P. (1995). *Leibniz and the Kabbalah*. Springer.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-017-2069-4>
- Couló, A. (2009). Enseñar filosofía de las ciencias y enseñar ciencias naturales: diferentes relaciones. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, pp. 2660-2663.
<http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-2660-2663.pdf>
- Cherry, K. (2023). Left Brain vs. Right Brain Dominance. Are creative people right-brained and analytical thinkers left-brained? *Verywell Mind*.
<https://www.verywellmind.com/left-brain-vs-right-brain-2795005?print>
- De Cruz, H. (2017). *Religion and Science*. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, E. Zalta, U Nodelman (eds.). <https://plato.stanford.edu/archives/fall2022/entries/religion-science/>.
- Descartes, R. (1959). *Discurso del método*. Losada, S.A. p.47.
- Delgado, P. (2024). *La era de la anticiencia*. INFOBAE. Recuperado en abril de 2024 de https://www.infobae.com/educacion/2024/04/11/la-era-de-la-anticiencia/#google_vignette.
- Dudas, A. (2020). *Declining Interest in Academic Careers*. Conduct Science, Boston. <https://conductscience.com/declining-interest-in-academic-careers/>
- Edelsztein, V; Galagovsky, L (2021). Identificar y responder preguntas resolubles mediante un diseño experimental: una experiencia con docentes de escuela primaria. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 27, e21037, 2021 <https://doi.org/10.1590/1516-731320210037>
- Epifanías (2024). ¿Cómo surge un hallazgo científico? *CONICET Dialoga*. Recuperado en abril de 2024 de <https://www.youtube.com/playlist?list=PL4aWDOZiN7KG1-LR7gs1E9EIWKBwZg1Q>
- Esguerra, C. (2024). Sobre todo en los momentos de mayor perplejidad, las ciencias se nutren de la filosofía. *Diario El Tiempo*, Colombia. 02 de enero. <https://www.eltiempo.com/opinion/columnistas/cristina-esguerra-miranda/columna-de-cristina-esguerra-ciencia-y-filosofia-840689>
- Fernández Aguilar, E. M. (2024). ¿De dónde procede la palabra 'abracadabra'? Artículo de la revista *Muy Interesante*. Recuperado en abril de 2024 de: <https://www.muyinteresante.com/curiosidades/20183.html>

- Ferrés-Gurt, C. (2017). El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, Cádiz, v. 14, n, 2, p. 410-426, 2017. Recuperado en abril de 2024 el 21 jul. 2021 de: <https://cutt.ly/nm27a99>.
- Furman, M., Barreto, M. & Puig, N. (2013). El procés d'aprendre a plantejar preguntes investigables. *Educació Química*. Barcelona, v. 14, p. 11-18. DOI: <https://doi.org/10.2436/20.2003.02.102>.
- Galagovsky, L. (2012). Educación en ciencia y tecnología: de la certeza de la excelencia a la incertidumbre de la compleja realidad. *Revista Ciencia e Investigación*, Vol 62(1), pp 6-19. <https://aargentinpnciencias.org/publicaciones/revista-resenas/revista-cei-tomo-62-no-1-2012/>
- Gel, E. (2020). Contra el cientificismo. 5 argumentos decisivos. Adictos a la Filosofía. Recuperado en abril de 2024 de https://www.youtube.com/watch?v=GsWoN320x_E
- Goldish, M. (1998). Judaism in the Theology of Sir Isaac Newton. *International Archives of the History of Ideas*, vol 157. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2014-4_7
- Hansson, S. O. (2021). *Science and Pseudo-Science*. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Edward N. Zalta (ed.). Recuperado en abril de 2024 de: <https://plato.stanford.edu/entries/pseudo-science/#SciePseu>
- Höijer, B. (2011). Social Representations Theory A New Theory for Media Research. *Nordicom Review* 32 (2), pp. 3-16. Recuperado en abril de 2024 de <https://core.ac.uk/download/pdf/43557448.pdf>
- Holmes, W.; Persson, J., Chounta, I.A., Wasson, B. & Dimitrova, V. (2022). Artificial intelligence and education. A critical view through the lens of human rights, democracy and the rule of law. *Council of Europe*. Recuperado en abril de 2024 en abril de 2024 de <https://rm.coe.int/artificial-intelligence-and-education-a-critical-view-through-the-lens/1680a886bd>
- Hwang, R. (2024). Rebeca Hwang y la humanidad que nos queda. Entrevista del Episodio #166 de Aprender de Grandes, Recuperado abril de 2024 de: <https://aprenderdegrandes.com/episodios/rebeca2024>
- Izquierdo Aymerich, M. (2014). Los modelos teóricos en la enseñanza de las 'ciencias para todos' (ESO, nivel secundario). *Bio-grafía: escritos sobre la biología y su enseñanza*, Vol. 7, Nº. 13, p. 69-85.
- Izquierdo Aymerich, M. (2017). Atando cabos entre contexto, competencias y modelización ¿Es posible enseñar ciencias a todas las personas? *Modelling in Science Education and Learning*. Vol. 10, Nº. 1, p. 309-326.
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol R, M. & Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Revista Enseñanza de las Ciencias*. Número Extra, p 79.91. ICE. Barcelona. Recuperado en abril de 2024 de: https://www.researchgate.net/publication/283364116_Caracterizacion_y_fundamentacion_de_la_ciencia_escolar#fullTextFileContent
- Jastrow, R. (1978). *God and the astronomers*. Norton: New York.

- Jorem. (2019). La teoría del TzimTzum (Kabbalah Judía). Video explicativo, recuperado en abril de 2024 de: <https://www.youtube.com/watch?v=VqG4gJkKdk>
- Kaku, M. (2006). Reading the mind of God! *Subtle Energies & Energy Medicine*, Volume 11 (1). pp. 49-72. Simon Fraser University. Recuperado en abril de 2024 de: <https://journals.sfu.ca/seemj/index.php/seemj/article/view/27/22>
- Kaku, M. (2023). *¡Por fin, confirmamos lo que hay Dentro de un Agujero Negro!* Video explicativo en *Elon Musk Noticias*, Recuperado en abril de 2024 de: https://www.youtube.com/watch?v=UKOQu9BEm_I
- Kalcker, A. L. (2016). *Salud Prohibida; incurable era ayer*. Editorial Voedia. Recuperado en abril de 2024 de https://www.academia.edu/42980417/Salud_prohibida_incurable_era_ayer
- Lin, Z.X., Yu, L., Guo, Y. Z., Zhang, H. L. Shen, Z. L. & Zhang, T. L. (2000). *Qigong: chinese medicine or pseudoscience?* Amherst: Prometheus Books.
- Matthews, M. R. (2019). *Feng Shui: teaching about science and pseudoscience*. Springer.
- NewsCAP (2019). The FDA warns consumers not to drink Miracle Mineral Solution and other sodium chlorite products. *American Journal of Nursing* 119(12); p. 14. DOI: 10.1097/01.NAJ.0000615732.16516.93
- Numbers, R. & Kampourakis, K. (Edit.) (2015). *Newton's Apple and Other Myths about Science*. Harvard University Press.
- Oblitas, L. A., Anicama, J., Calderón, R., Ferrel, R. León, A. & Ortiz, A. L. (2018). Mindfulness, qigong y su impacto en la salud. Recuperado en abril 2024 de: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1471/147158511005/147158511005.pdf>
- OCDE. PISA (2006). Marco de la evaluación: conocimientos y habilidades en ciencias, matemáticas y lectura. *Ciën. Educ.*, v. 27. Recuperado en abril de 2024 el 21 jul. 2021 de: <https://cutt.ly/4QygRKK>.
- Ocklenburg, S. & Güntürkün O. (2018). *The Lateralized Brain: The Neuroscience and Evolution of Hemispheric Asymmetries* Academic Press; London, UK.
- Ozimek, P., Brailovskaia, J., Bierhoff, H-H & Rohmann, E. (2024). ¿Cómo el materialismo en las redes sociales provoca estrés e infelicidad? *IntraMed. Telematics and Informatics Reports*. Recuperado en abril 2024 de: <https://www.intramed.net/varios/imprimir.asp?contenidoID=106540&print=1>
- Palermo, A. (2016). *The Future of the Chemical Sciences. What will chemistry look like in ten to twenty years?* The Royal Society of Chemistry, Londres. Recuperado en abril de 2024 de <https://www.rsc.org/about-us/our-strategy/future-of-the-chemical-sciences/>
- Palmer, T. A., Burke, P. F. & Aubusson, P. (2017). Why school students choose and reject science: a study of the factors that students consider when selecting subjects. *Int. Journal of Science Education* 39(5):1-18. DOI: 10.1080/09500693.2017.1299949
- Pedró, F., Subosa, M., Rivas, A. & Valverde, P. (2019). Artificial intelligence in education: challenges and opportunities for sustainable development. *UNESCO Digital Library*. Recuperado en abril de 2024 de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366994>
- Quian Quiroga, R. (2024). *La ciencia ya está dando respuestas a las grandes preguntas de la filosofía*. Nota periodística de *El periódico de España*. Recuperado en abril de 2024 de

- <https://www.epe.es/es/la-vida-contigo/20240129/rodrigo-quian-quiroga-neurocientifico-revolucion-ciencia-filosofia-97378466>
- Rancaño, S. (2024). Elon Musk anuncia el primer implante de un chip cerebral en un ser humano. *RTVE Noticias*. Recuperado el 24 de abril de: <https://www.youtube.com/watch?v=yr2T6ZjVSKY>
- Rivero García, A. & Wamba Aguado, A. M. (2011). Naturaleza de la Ciencia y construcción del conocimiento científico. Capítulo 1 en *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*. Editor Cañal de León, P., Universidad de Sevilla, España. Recuperado en abril de 2024 de <https://idus.us.es/handle/11441/41021>
- Roach, M. & Sauermann, H. (2017). The declining interest in an academic career. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184130>
- Rollin, B. (2015). Review of Science and Ethics. *Between the Species* Volume 18, Issue 1. <http://digitalcommons.calpoly.edu/bts/>
- Saban, M. (2018). El infinito y el lenguaje en la Kabbalah judía: un enfoque matemático, lingüístico y filosófico. Tesis Doctoral, Universidad de Alicante. Departamento de Matemática Aplicada. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/79831/1/tesis_mario_javier_saban_cu%C3%B1o.pdf
- Salvador-Mata, B. & Cortiñas-Rovira, S. (2020). Pharmacists' Attitudes to and Perceptions of Pseudoscience: How Pseudoscience Operates in Health and Social Communication. *Soc Work Public Health*. 35 (5), p 321-333. Recuperado en abril de 2024 de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32628068/>
- Sanmartí, N. & Márquez, C. (2012). Enseñar a plantear preguntas investigables. *Alambique*, Barcelona, v. 70, p. 27-36.
- Sans Segarra, M. (2024). Ver @drmanuelsanssegarra
- Santaolalla, J. (2017). Directo con Michio Kaku. La teoría de cuerdas podría explicar qué hubo antes del Big Bang. Entrevista en *Date un Vlog*. Recuperado en abril de 2024 de: <https://www.youtube.com/watch?v=JMX4pZmsZsM>
- Schwartz, E. (2022). Does ivermectin have a place in the treatment of mild Covid-19? *New Microbes New Infect*. 46:100985. doi: 10.1016/j.nmni.2022.100985.
- Seltman, H. J. (2013). *Experimental Design and Analysis*. Carnagy Mellon University. Recuperado en abril de 2024 de: https://www.pmtutor.org/resources/course_resources/Designed_Experiment.pdf
- Singh Chawla, D. (2023). Elsevier journal under fire for rejecting paper that didn't cite enough of its old papers. *Chemistry & Engeneering News*. Recuperado en abril de 2024 de: <https://cen.acs.org/policy/publishing/Elsevier-journal-under-fire-for-rejecting-paper/101/web/2023/02>
- Soter, S. & De Grasse Yyson, N. (Eds) (2000). Cosmic horizons: astronomy at the cutting edge. *New Press. American Museum of Natural History*.
- Tay, A. (2020). How to write a good research paper title. "Unread science is lost science." *Nature Index*. Springer Nature. Recuperado en abril de 2024 de <https://www.nature.com/nature-index/news/how-to-write-a-good-research-science-academic-paper-title>

- Wild, J. (2023). Javi Santaolalla & Enric Gel. ¿Puede Dios existir? Cuántica y Multiversos. Entrevista por *The Wild Project #221*. Recuperado en abril de 2024 de: <https://www.youtube.com/watch?v=yQcuy9TB-lc>
- Wozniak, J. A., Wu, S. & Wang, H. (2001). *Yang Xin Qigong and contemporary sciences*. Champaign: International Yan Xin Qigong Association.

Modelos científicos escolares: el problema de la caracterización de los modelos

Ainoa Marzabal

Pontificia Universidad Católica de Chile
amarzabal@uc.cl

Macarena Soto

Pontificia Universidad Católica de Chile
macarena.soto@uc.cl

Alba Cortés

Pontificia Universidad Católica de Chile
avcortes1@uc.cl

Resumen

La influencia de Mercè Izquierdo en la Didáctica de las Ciencias es innegable, no solo por su contribución a la investigación y formación de investigadores, sino también por su compromiso con la mejora de la educación en ciencias, y su ejemplo de un desarrollo académico coherente y con valores. En este capítulo exponemos las ideas desarrolladas junto a Mercè Izquierdo sobre los modelos científicos escolares y la manera de caracterizarlos, evaluando diversas formas de representarlos considerando la función semántica de los modelos y destacando su utilidad para la enseñanza y la investigación.

Palabras clave: Actividad científica escolar, modelos, ideas clave, progresión.

Introducción

La contribución de Mercè Izquierdo a la consolidación de la Didáctica de las Ciencias como disciplina es innegable. Durante décadas no solamente ha contribuido a dar forma a la investigación en Didáctica de las Ciencias, señalando su naturaleza interdisciplinar, y reconociéndola como una ciencia de diseño (Estany & Izquierdo, 2001; Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2002; Izquierdo, 2007), sino que también ha formado a múltiples investigadores que se han insertado en la academia en España y en Latinoamérica, desarrollando sus propias líneas de investigación y formando a profesores de ciencias inspirados en sus ideas. Sin embargo, su legado va mucho más

allá de la influencia de sus ideas en la comunidad de investigadores, formadores de profesores y docentes de ciencias.

Mercè sigue siendo, hasta hoy, un modelo de desarrollo académico con sentido y con valores. Detrás de cada idea hay un genuino interés por mejorar la educación en ciencias en las escuelas y por construir conocimiento con las comunidades escolares. Estas ideas son el resultado de la lectura cuidadosa, de escucha genuina, de múltiples espacios de conversación, que han permitido refinarlas permanentemente, sin perder de vista que el fin último es avanzar hacia una ciencia para todos y todas (Izquierdo, 2006).

Hoy las nociones de Actividad Científica Escolar, o de educación en ciencias con valores, pueden parecer ideas consolidadas en la Didáctica de las Ciencias. Pero es importante reconocer que cuando Mercè Izquierdo las empezó a formular, fueron propuestas audaces que veían en la educación en ciencias una oportunidad de contribuir a la justicia social (Sanmartí & Izquierdo, 1997).

Mercè se ha mantenido siempre fiel a estos valores. A pesar de los años transcurridos –o precisamente por ellos –, su mente sigue activa, creativa y lúcida. En cada espacio compartido se entrelazan las ideas, las historias, la confianza, las canciones, la comida, el cariño. Es un orgullo haber tenido la oportunidad de aprender con ella durante estos años, y haber sido testigos de que se puede construir una trayectoria académica sin perder el rumbo y sin renunciar a tus valores; y, quizás, lo más importante, que se puede ser mujer en la academia, y conciliar los ámbitos profesional y personal, teniendo claras las prioridades.

En este capítulo presentamos algunas de las ideas que desarrollamos con Mercè Izquierdo en torno a los modelos científicos escolares y su caracterización. A lo largo de los años, hemos ido explorando diferentes maneras de representar los modelos que expresan los estudiantes, con la convicción de que estas representaciones pueden ser útiles para la enseñanza y también para la investigación. Sin embargo, capturar la función semántica de los modelos en estas representaciones no ha sido fácil. A continuación, presentamos el marco de la Actividad Científica Escolar y de los modelos científicos escolares, para situar la discusión. Posteriormente evaluamos las diferentes maneras en que hemos representado los modelos hasta ahora, y sugerimos un nuevo marco para la representación de los modelos expresados por los estudiantes.

La actividad científica escolar como marco de referencia

La actividad científica escolar plantea una ciencia para el ejercicio de la ciudadanía. Esta ciencia se aleja del modelo de ciencia positivista, estática, objetiva, donde la ciencia es un cuerpo de conocimiento que tiene sentido en sí mismo, y propone, en cambio, una ciencia entendida como una construcción de los científicos, que es

coherente con el contexto social en el que ha ido evolucionando y consolidándose (Izquierdo *et al.*, 1999). Este modelo epistemológico, basado en una concepción *naturalista* de la ciencia, trasladado al contexto educativo, nos invita a repensar los contenidos de la ciencia escolar para ir más allá de las grandes teorías como objeto de aprendizaje, y tener en cuenta otros aspectos que toman mayor relevancia, y que están asociados a la naturaleza del conocimiento científico y a su desarrollo.

Esta propuesta sitúa los propósitos de la ciencia escolar en un modelo culturalmente situado y democrático: la ciencia es un pilar básico de la sociedad actual, y la formación de ciudadanos críticos y activos debe contemplar, necesariamente, la alfabetización científica de todos y todas (Osborne & Hennesy, 2003).

La Actividad Científica Escolar plantea nuevos retos en cuanto a la *enseñabilidad* de la ciencia en la escuela. Requiere involucrar tres elementos cognitivos que se interrelacionan: el lenguaje, el pensamiento y la experiencia (Izquierdo & Aliberas, 2004:40). En este contexto, de acuerdo a los datos proporcionados por la experiencia, construimos modelos mentales pertinentes a cada situación, que nos permiten comprenderla. Cuanto más complejo es lo que queremos explicar, más necesidad tenemos de un lenguaje que nos permita representar y comunicar la situación. Son estos lenguajes los que hacen posible la evolución de las representaciones mentales y el progreso de nuestras acciones, necesarias para lograr los objetivos propuestos en el contexto escolar, pero también en lo cotidiano.

Asumimos, entonces, que, para comprender la realidad, los científicos y también los estudiantes, construyen representaciones mentales del mundo que perciben. Sin embargo, la realidad no es conocimiento: nuestra mente detecta, interpreta y selecciona entre los numerosos estímulos con que nuestros sentidos son constantemente bombardeados, para ir construyendo progresivamente el conocimiento. De este modo, la observación de una parte reducida de la realidad nos permite compararla con los datos almacenados en nuestra memoria e interpretarlos. Solamente cuando encontramos correspondencia entre aquello que percibimos y las representaciones mentales de las que disponemos, es que podemos reconocer las entidades y procesos que nos rodean, y actuar en consecuencia (Izquierdo & Aliberas, 2004).

Los hechos, entonces, son siempre interpretados: cada persona que se enfrenta a un fenómeno lo reconoce y lo describe en términos de lo que observa (percepción) y también de lo que ya sabe (conocimiento), con un determinado propósito (objetivos). Es así que hablamos de la construcción de modelos mentales como procesos de reconstrucción teórica de los hechos (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2009).

Mercè Izquierdo y Agustín Adúriz-Bravo han ido construyendo en los últimos años una visión semanticista de los modelos científicos escolares, con base en la filosofía

de la ciencia, y, en particular, en las contribuciones de Ronald Giere (Adúriz & Izquierdo, 2009; Adúriz-Bravo, 2019; Izquierdo & Adúriz-Bravo, 2021).

La definición de la naturaleza semántica de los modelos científicos, su relación con la teoría y los hechos, es heredera de la evolución de la noción de modelo, que ha tenido múltiples acepciones y múltiples significados (Oh & Oh, 2011; Oliva, 2019). No es de extrañar que su introducción a la didáctica de las ciencias haya sido también problemática. Durante décadas se sucedieron discusiones dentro de la comunidad de investigadores en Didáctica de las Ciencias, en que las diversas visiones de los modelos y la modelización entraron en conflicto. Sin embargo, al menos en el contexto iberoamericano, la propuesta de Izquierdo y Adúriz-Bravo es hoy ampliamente aceptada, no solamente por su robustez epistemológica, sino por su utilidad para orientar los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

La definición de los modelos científicos como objeto de aprendizaje en la clase de ciencias, abre nuevos interrogantes para poder concretar esta propuesta en la gestión de los currículos de ciencia actuales: ¿Cuáles serían los modelos científicos que debieran estar presentes en la ciencia escolar?, ¿de qué manera se espera que estos modelos progresen a lo largo de la escolaridad? o ¿de qué manera las estrategias de enseñanza pueden facilitar u obstaculizar la evaluación y ajuste de estos modelos? Éstas son algunas de las preguntas que nos parecen relevantes, y en las que hemos centrado nuestras investigaciones estos últimos años (Marzabal *et al.*, 2021; Marzabal *et al.*, 2024).

Poder dar respuesta a estas preguntas requiere definir formas de caracterizar los modelos que resguarden su naturaleza semántica, es decir, que logren representar las entidades mentales elaboradas a partir de la reconstrucción teórica de un hecho, que pueden ser usadas para razonar sobre él con un determinado propósito.

La caracterización de los modelos científicos escolares

La caracterización de los modelos científicos escolares –presentes en los materiales curriculares–, los textos escolares, el discurso docente, la discusión en el aula o las producciones de los estudiantes, ha constituido un desafío para los investigadores en este campo. A continuación, presentamos las diversas estrategias que han sido utilizadas en la literatura para caracterizar los modelos científicos escolares, y evaluamos su pertinencia en el marco semanticista aportado por Mercè Izquierdo y Agustín Adúriz-Bravo.

Para ello, hemos realizado una búsqueda de artículos con diferentes representaciones de los modelos científicos escolares desde una perspectiva semanticista, publicados entre 2001 y 2024. La búsqueda no es exhaustiva, sino que se han seleccionado artículos con el propósito de ilustrar las diferentes maneras de caracterizar los modelos, considerando la inclusión de ideas clave que subyacen a los

modelos expresados, la evolución esperada de esas ideas, las representaciones del sistema de estudio y las formas de razonamiento que permiten.

1. IDEAS CLAVE

En la literatura encontramos estudios en los que los modelos científicos escolares se caracterizan en función de la presencia o ausencia de ideas clave, que subyacen a los modelos expresados por estudiantes, profesores en formación o profesores en ejercicio. Tal es el caso del modelo de célula (Galagovsky & Adúriz-Bravo, 2001), el modelo de ser vivo (Gómez, Sanmartí & Pujol, 2007), el modelo de cambio químico (Merino & Izquierdo, 2011), el modelo corpuscular de la materia (Solé, Tena & Couso, 2020; Tena, 2021; Solé, Couso & Hernández, 2023) y el modelo de evolución (Zambrano & Quintanilla, 2023).

En el caso del estudio del modelo de cambio químico, Cristian Merino y Mercè Izquierdo (2011) exploran la presencia de seis ideas clave en las producciones escritas de profesores en formación: (a) unas sustancias desaparecen y aparecen otras, (b) se conservan los elementos y la masa, (c) las sustancias reaccionan en proporciones fijas, (d) la energía se conserva, (e) el cambio se puede representar mediante átomos y enlaces, y (f) en el estado final se agota el potencial químico.

Estas ideas clave permiten reconocer las hipótesis teóricas que los profesores en formación han puesto en juego en la reconstrucción teórica de los hechos (Izquierdo & Aliberas, 2004). Desde una perspectiva semanticista, sin embargo, esta forma de caracterización captura parcialmente el modelo expresado por los estudiantes, dado que no considera la reconstrucción teórica que los estudiantes o profesores han logrado construir para dar sentido a los hechos (Adúriz-Bravo, 2013). Esta manera de caracterizar los modelos científicos escolares, asume que todas las representaciones de los sistemas empíricos construidas a partir de ciertas ideas clave son iguales entre sí, en cuanto a su nivel de sofisticación, y a los razonamientos que se derivan de ellos. Sin embargo, varios estudios han mostrado que las mismas ideas clave pueden llevar a representaciones y formas de razonamiento distintas (Pedrera, Barrutia & Diez, 2023; Marzabal *et al.*, 2024).

2. IDEAS CLAVE Y SU EVOLUCIÓN

Justamente atendiendo a esta limitación, varios estudios han caracterizado los modelos científicos escolares considerando la presencia de ciertas ideas clave, y su nivel de sofisticación. Estos estudios se han centrado en el modelo de disoluciones (Sanabria, Gallego & Pérez, 2009), de membrana plasmática (Joglar, Quintanilla, Raval & Brunstein, 2011), de las propiedades acústicas de los materiales (Hernández, Couso & Pintó, 2015), de la digestión (Bahamonde & Gómez, 2016) y de energía (Soto & Couso, 2023).

Estas ideas clave, y sus diferentes estadios, permiten evaluar el nivel de sofisticación de los planteamientos de los estudiantes en un momento determinado del proceso de aprendizaje. Tal es el caso del trabajo de Macarena Soto y Digna Couso (2023) para el modelo de energía. En sus estudios sugieren cuatro ideas clave del modelo de energía, asociadas a la naturaleza de la energía y sus procesos de transferencia, conservación y degradación. Para cada una de estas ideas, sugieren cuatro estadios, que constituyen niveles de sofisticación para cada uno. Por ejemplo, para la idea de naturaleza de la energía, se sugieren cuatro estadios con sofisticación creciente: (a) la energía está en los objetos, (b) la energía está en los sistemas y causa su estado, (c) la energía se asocia al estado de un sistema, y (d) la energía se asocia al cambio de estado o configuración de un sistema.

Las ideas clave, como en el caso anterior, permiten reconocer las hipótesis teóricas que estudiantes y profesores ponen en juego en la reconstrucción teórica de los hechos, y su nivel de sofisticación (Shavelson & Kurpius, 2012). No obstante, todavía hay aspectos clave del modelo que no son considerados. Aun cuando el nivel de precisión es mayor que en el caso anterior, todavía no se logra resguardar la naturaleza semántica del modelo a través de este tipo de representación, dado que no muestra de qué manera los estudiantes o profesores en formación han dado sentido a los hechos a través de la construcción del modelo.

3. IDEAS CLAVE Y FORMAS DE RAZONAMIENTO

Con el propósito de indagar en las ideas clave de los estudiantes y sus formas de razonar, otros autores han caracterizado los modelos científicos escolares a partir, precisamente, de las ideas clave y formas de razonamiento. Algunos ejemplos de este tipo de trabajos es el realizado para el modelo de fotosíntesis (Acosta *et al.*, 2017), de obesidad humana (Solano & López-Mota, 2019) y nutrición vegetal (Pedrera, Barrutia & Diez, 2023).

Este tipo de estudios permite explorar la articulación entre la presencia de determinadas ideas clave y los tipos de razonamiento que los estudiantes pueden desplegar con ellos. En el estudio de Oier Pedrera, Ohiana Barrutia & José Ramón Díaz (2023) sobre nutrición vegetal, se identifican cuatro ideas clave y varias formas de razonamiento asociadas a cada una de ellas. Para la idea clave de nutrición autótrofa, por ejemplo, los autores identifican cuatro formas de razonamiento asociadas: (a) explica que las plantas son autótrofas, por lo que, al contrario de los animales, sintetizan su propia materia orgánica, (b) entiende que, del mismo modo que los animales, las plantas tienen estructuras específicas para la nutrición, como las raíces o los sistemas de transporte de savia, (c) comprende que la materia orgánica tiene el rol dual de actuar tanto como bloque de construcción (sintetizar biomasa y estructuras nuevas) como de fuente de energía, y (d) señala que, a pesar de sintetizar su materia orgánica, las plantas necesitan absorber

varias sustancias del medio para la realización de la fotosíntesis y la síntesis de macromoléculas.

Al revisar estos estudios, es posible reconocer diferentes conceptualizaciones de las formas de razonar: mientras que para algunos autores estas formas de razonamiento corresponden a resultados de aprendizaje (Pedrera, Barrutia & Díez, 2023), para otros estarían asociadas a prácticas científicas o a relaciones y reglas de inferencia que los estudiantes pueden establecer (Acosta *et al.*, 2017; Solano & López-Mota, 2019). A pesar de esa falta de convergencia, todos estos estudios profundizan en las acciones que los estudiantes ponen en juego para satisfacer el objetivo de las actividades planteadas, reconociendo las acciones que corresponden a cada una de las ideas clave del modelo. Con ello se logra, por una parte, caracterizar las ideas clave que subyacen al modelo construido por los estudiantes, y, por otra parte, observar los desempeños o formas de razonamiento que los estudiantes pueden desplegar. Sin embargo, la reconstrucción teórica de los hechos sigue estando ausente.

4. REPRESENTACIONES DEL SISTEMA EMPÍRICO

Los primeros intentos de reproducir las representaciones del sistema empírico construidas por los estudiantes, los encontramos para el caso del modelo de onda (Marzabal, Hernández & Izquierdo, 2014). En este trabajo, Ainoa Marzabal, Carla Hernández y Mercè Izquierdo exploran los modelos de onda en los textos escolares, representándolas como formaciones semióticas mediante mapas de Thagard.

En este caso las representaciones sí permiten caracterizar la reconstrucción teórica de algunos hechos presentados en el texto escolar, pero como se encuentran subsumidas en la narrativa completa del texto escolar— que en su mayor parte es teórica—, no podríamos considerar que son representaciones de un modelo científico escolar. Así mismo, tampoco permiten visualizar el progreso de las ideas para la construcción de estas representaciones, sino solamente la consolidación final de todas las ideas presentadas.

5. IDEAS CLAVE Y SU EVOLUCIÓN, Y REPRESENTACIONES DE LOS SISTEMAS EMPÍRICAS

A medida que van aumentando su complejidad, las caracterizaciones van incorporando cada vez más dimensiones del modelo científico escolar. En este caso, los trabajos de investigación contienen ideas clave y su evolución, y también las representaciones de los sistemas empíricos que pueden construirse con ellas. Podemos encontrar trabajos de esta índole para el caso del cambio químico (Aragón, Oliva & Navarrete, 2013), el modelo de tectónica de placas (Rodríguez & Faustinos, 2021) y los modelos de materia, cambio químico y termodinámica (Marzabal *et al.*, 2021).

En el caso del modelo de tectónica de placas, Diana Patricia Rodríguez y Lourdes Faustinos (2021) indagan en las explicaciones que los estudiantes construyen sobre los terremotos. Para las autoras, el modelo de placas tectónicas progresa desde visiones mítico-teológicas hacia visiones aristotélicas. Los tres estadios encontrados en el estudio se caracterizan mediante las entidades, relaciones y condiciones que los estudiantes invocan en sus explicaciones. A partir de estos códigos, logran construir mapas semánticos que muestran la construcción progresiva de representaciones del sistema geológico, que van aumentando su nivel de complejidad y abstracción.

Este tipo de caracterización supone un avance importante respecto de las maneras en que se caracterizan los modelos científicos escolares, dado que se resguarda la naturaleza semántica de los modelos en las representaciones de los sistemas empíricos, y se explicitan, también, las ideas clave que se van construyendo. Sin embargo, estos dos aspectos se presentan de manera independiente, sin establecer relaciones sustantivas entre ellas.

6. IDEAS CLAVE Y SU EVOLUCIÓN, REPRESENTACIONES DE LOS SISTEMAS EMPÍRICOS Y FORMAS DE RAZONAMIENTO

En los últimos años, hemos tratado de contribuir a esta línea de trabajo dando continuidad a las formas de caracterizar los modelos científicos escolares. En vista del análisis realizado, una caracterización completa podría contener tres dimensiones: las representaciones del sistema empírico, las ideas clave que subyacen a estas representaciones y cómo evolucionan, y las formas de razonamiento que permiten.

En nuestras últimas investigaciones, hemos analizado producciones de los estudiantes en las que expresan sus modelos de sustancia, cambio químico y termodinámica (Marzabal *et al.*, 2024). El primer nivel de análisis se hace para las tres dimensiones: se analizan las ideas clave y su evolución, las representaciones de los sistemas empíricos y las formas de razonamiento, de manera independiente. Finalmente, las representaciones de los sistemas materiales pueden visualizarse como mapas semánticos, cuyos componentes fundamentales son entidades, propiedades, actividades y organización.

En el segundo nivel de análisis, se identifican los estadios de la progresión de aprendizaje a partir del estudio integrado de los códigos asignados a cada una de las dimensiones. Para ello, se agrupan todas las respuestas cuyo nivel de sofisticación consideramos equivalente, logrando identificar los estadios de una progresión de aprendizaje del modelo que se caracteriza, considerando las tres dimensiones de manera integrada.

Aun cuando este tipo de caracterización logra articular las ideas clave, representaciones y formas de razonamiento, y su evolución en el marco de una progresión de aprendizaje, su concreción es fuertemente dependiente de contar con estudios previos que hayan caracterizado las ideas clave y formas de razonamiento asociados a un modelo específico.

Conclusiones

El análisis realizado permite visualizar cómo en los últimos 25 años ha habido importantes avances en las maneras en que podemos caracterizar los modelos científicos escolares. La incorporación progresiva de las ideas clave, las formas de razonamiento y las representaciones de los sistemas empíricos nos han permitido avanzar hacia caracterizaciones multidimensionales de los modelos, que son cada vez más coherentes con la perspectiva semanticista.

Así mismo, la caracterización de cómo estas dimensiones van evolucionando durante la enseñanza, durante la escolaridad o durante la formación de profesores, nos permite visualizar el aprendizaje como un proceso, y no como un producto. Y reconocer con ello que el objetivo de una actividad no siempre corresponde a la construcción del modelo científico canónico.

Nos parece que este es todavía un proceso abierto, que requerirá del trabajo conjunto de investigadores en esta línea de trabajo, para ir llegando a consenso sobre las posibilidades y limitaciones que ofrece cada una de estas opciones, y cuáles podrían ser las maneras más adecuadas de caracterizar los modelos científicos escolares.

Hacerlo nos parece muy relevante. En la medida en que tengamos mayor claridad de cómo los estudiantes van construyendo, evaluando y ajustando los modelos, podremos avanzar hacia comprensiones más acabadas sobre los procesos de modelización; y, a su vez, de las posibilidades que ofrecen diferentes tipos de tareas, y de mediaciones docentes, en estos procesos.

Así también, desde la revisión realizada y las demandas de una educación científica que tribute a la comprensión de fenómenos socio-científicos que implican el uso de modelos científicos escolares de carácter cada vez más interdisciplinarios, surge el desafío de explorar la construcción de modelos integrales que nos permitan observar los fenómenos desde esta perspectiva.

Incorporar las ideas de Mercè Izquierdo en herramientas que puedan ser usadas por profesores y formadores de profesores es necesario para que la modelización, como enfoque de enseñanza, se vaya haciendo cada vez más presente en las aulas escolares.

De este modo, podremos avanzar hacia experiencias escolares más auténticas, y, con ello, formar a ciudadanos que puedan desarrollar su proyecto de vida e involucrarse en las cuestiones socio científicas actuales. O, dicho de otra manera, nos permitirá estar más cerca de esa *otra orilla*, de una ciencia para todos y todas, a la que nos invitó a saltar Mercè Izquierdo hace tantos años (Izquierdo, 2006). Es posible que ya entonces ella supiera que teníamos un largo camino por delante, y que la transición se sentiría muchas veces como estar suspendidos en el aire con un abismo bajo los pies. A través de este capítulo queremos honrarla y agradecerle haber compartido su visión con nosotros, para convertirla en nuestro sueño compartido.

Referencias bibliográficas

- Acosta, M., Navarro, D., Arteta Vargas, J., Nieto, S., Ramírez, C., & López, A. (2017). Concepto fotosíntesis en profesores desde el análisis de sus modelos mentales. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), 4387-4394.
- Adúriz-Bravo, A. (2013). A 'semantic' view of scientific models for science education. *Science & Education*, 22, 1593-1611.
- Adúriz-Bravo, A. (2019). Semantic views on models: An appraisal for science education. *Towards a competence-based view on models and modeling in science education*, 21-37.
- Adúriz-Bravo, A. & Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(1), 40- 49.
- Adúriz-Bravo, A. & Izquierdo, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 1(3), 130-140.
- Aragón, M. D. M., Oliva, J. M. & Navarrete, A. (2013). Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogías. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 31(2), 9-30.
- Bahamonde, N. & Gómez, A. A. (2016). Caracterización de modelos de digestión humana a partir de sus representaciones y análisis de su evolución en un grupo de docentes y auxiliares académicos. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 34(1), 129-147.
- Estany, A. & Izquierdo, M. (2001). Didactología: una ciencia de diseño. *Endoxa (Madrid)*, (14), 13-34.
- Galagovsky, L. & Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales: El concepto de *modelo didáctico analógico*. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 19(2), 231-242.
- Gómez, A., Sanmartí, N. & Pujol, R. (2007). Fundamentación teórica y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del modelo ser vivo en la escuela primaria. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 325-340.

- Hernández, M. I., Couso, D. & Pintó, R. (2015). Analyzing students' learning progressions throughout a teaching sequence on acoustic properties of materials with a model-based inquiry approach. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2), 356-377.
- Izquierdo, M. (2006). Por una enseñanza de las ciencias fundamentada en valores humanos. *Revista Mexicana de investigación educativa*, 11(30), 867-882.
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 6, 125- 138.
- Izquierdo, M. & Adúriz-Bravo, A. (2021). Contribuciones de Giere a la reflexión sobre la educación científica. *ArtefaCToS. Journal of Science and Technology Studies*, 10(1), 75-87.
- Izquierdo, M. & Aliberas, J. (2004). *Pensar, escriure y actuar a la classe de ciències. Per un ensenyament de les ciències racional i raonable*. Cerdanyola: Servei Publicacions, UAB.
- Izquierdo, M., Sanmañti, N. & Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(1), 45-59.
- Joglar, C., Quintanilla, M., Ravanal, E. & Brunstein, J. (2011). El desarrollo histórico del modelo científico de membrana plasmática: Perspectivas didácticas. *VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências–VIII ENPEC*, 12.
- Marzabal, A., Delgado, V., Moreira, P., Merino, C., Cabello, V. M., Manrique, F., Soto, M., Cuellar, L. & Izquierdo, D. (2021). Materia, reacción química y termodinámica como núcleos estructurantes de una química escolar orientada a la formación ciudadana. *Educación química*, 32(4), 109-126.
- Marzabal, A., Hernández, C. & Izquierdo, M. (2014). ¿De qué hablan los libros de texto?: el problema de la identificación de los referentes. *Cadernos Cedes*, 34, 99-124.
- Marzabal, A., Merino, C., Soto, M. & Cortés, A. (2024). Modeling-Based Science Education. In *Rethinking Science Education in Latin-America: Diversity and Equity for Latin American Students in Science Education* (pp. 245-261). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Merino, C. & Izquierdo, M. (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación química*, 22(3), 212-223.
- 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.
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias didácticas*, 37(2), 5-24.
- Osborne, J. & Hennessy, S. (2003). *Literature review in science education and the role of ICT: Promise, problems and future directions*. London: Futurelab.
- Pedraza, O., Barrutia, O. & Díez, J. R. (2023). Modelo científico de la nutrición vegetal: Análisis epistemológico y propuesta de progresión de aprendizaje. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 20(3), 310201–310219.
- Rodríguez, D. & Faustinos, M. (2021). Modelización del origen de los terremotos a partir del Modelo Científico Escolar de Arribo de Tectónica de Placas. *Bio-grafía*.

- Sanabria, Q. A., Pérez, R. & Gallego, R. (2009). Modelos sobre las disoluciones electrolíticas en la formación Inicial de Profesores. *Formación universitaria*, 2(5), 41-52.
- Sanmartí, N. & Izquierdo, M. (1997). Reflexiones en torno a un Modelo de Ciencia Escolar. *Investigación en la Escuela*, (32), 51-62.
- Shavelson, R. J. & Kurpius, A. (2012). Reflections on learning progressions. In *Learning progressions in science* (pp. 13-26). Brill.
- Solano, L. M. G. & López-Mota, Á. D. (2019). Actividad científica escolar en la secundaria: el caso de la obesidad humana. *Bio-grafía*, 1369-1380.
- Solé, C., Couso, D. & Hernández, M. I. (2023). Revisiting secondary students' ideas about air pollution. The challenge of particulate matter. *Chemistry Education Research and Practice*, 24(1), 132-142.
- Solé, C., Tena, È. & Couso, D. (2020). ¿Qué modelo de materia explica la contaminación?: Explorando el modelo corpuscular en la mesoescala. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, (101), 30-36.
- Soto, M. & Couso, D. (2023). Construcción de un modelo sofisticado de energía en futuros docentes de física. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(2), 25-45.
- Tena, È. (2021). ¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización para el aula de primaria. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 5(2), 87-97.
- Zambrano, J. & Quintanilla, M. (2023). Modelos Científicos Escolares en estudiantado de secundaria. ¿Cómo explican la evolución adaptativa? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20 (2).

La educación científica ante un contexto de crisis global: algunas reflexiones

Mari Álvarez-Lires

Universidad de Vigo, España
liresmari@gmail.com

Tamara Amorín

Universidad de Vigo, España
tamaraamorin2@gmail.com

Azucena Arias

Universidad de Vigo, España
azu.acorrea@gmail.com

J. Francisco Serrallé

Universidad de Vigo, España
jfserralle@gmail.com

Resumen

En este artículo se examinan las razones de la preocupación mundial creciente por el futuro de la vida en la Tierra, debida al Cambio Ambiental Global (CG), impulsado principalmente por la acción humana sobre este planeta, debido a múltiples alteraciones de fenómenos de toda índole, cuyo aspecto más conocido es el cambio climático (CC). Se reflexiona sobre la idea de que la educación no puede –ni debe– permanecer ajena a esta crisis y, en este contexto, la educación científica se puede convertir en un instrumento clave para generar espacios de diálogo y comunicación en igualdad, así como para fomentar el desarrollo personal, las capacidades humanas y promover un reequilibrio sustentable. Se formulan preguntas, objeto de debates inconclusos y se sugieren enfoques para la realización de actividades de aula, algunas ya experimentadas, en las que se introduce la Historia de la Ciencia, en el contexto indicado, para promover la modelización, la reflexión sobre la construcción y la producción de ciencia, el pensamiento crítico y no androcéntrico en la formación del profesorado y en los procesos de enseñanza y de aprendizaje. En este sentido, se esboza una crítica al modelo de desarrollo actual y a la noción de Antropoceno, que oculta la visión androcéntrica y racializada del sistema capitalista actual.

Palabras clave: Cambio ambiental global, educación científica, antropoceno, sustentabilidad, género.

Introducción

Para comenzar, hemos de señalar que es preciso revertir la desafección hacia la ciencia desde edades tempranas y hacerla atractiva para el alumnado (Izquierdo *et al.*, 2022). Informes internacionales han señalado la necesidad de cambiar las metodologías puramente transmisivas (Arias Correa & Alén de la Torre, 2023), causantes en gran parte de este rechazo, entre los que se podría citar: *Informe ENCIENDE* (COSCE, 2011), *Informe sobre el aprendizaje de las matemáticas y las ciencias en la educación escolar* (Comisión Europea/EACEA/Eurydice, 2022).

Por su parte, Izquierdo *et al.* (2022) afirman que es necesario evitar enfoques que profundicen en el desapego por la ciencia, como pueden ser, limitarse a la transmisión de información, en lugar de promover la adquisición de competencias tecnocientíficas (Quintanilla *et al.*, 2014); abordarla en las aulas como si se tratase de formación de especialistas; ignorar las ideas del alumnado o pretender encuadrarla, sin más, en criterios propios de las comunidades científicas. Por el contrario, proponen que para empezar a enseñar química, se parta de cambios químicos que ocurren en el contexto del alumnado (Izquierdo, 2017), por ejemplo, modelización de cambios en la naturaleza (Amorín *et al.*, 2021, 2022, 2024), en la cocina (Solsona & Izquierdo, 2003), en el mar (Álvarez Lires *et al.*, 2017), para que este disfrute valore el “saber hacer” y el “saber pensar”, que haga preguntas, que formule dudas, que comparta vivencias con el profesorado, es decir, que se genere “actividad química escolar”. De este modo, la didáctica de la química se vincula con las ciencias cognitivas (Izquierdo, 2013).

Desde la didáctica de las ciencias experimentales (DCE), se puede contribuir a un cambio significativo para una enseñanza innovadora, que tienda a la formación de ciudadanía crítica y autónoma, capaz de actuar adecuadamente frente a los complejos problemas de un mundo en perpetuo cambio (Quintanilla, 2022). De este modo, el ejercicio de un pensamiento crítico en relación con problemas contemporáneos que implican cuestiones tecnocientíficas, requiere, además de conocimiento de ciencias, conocimientos sobre las ciencias, es decir, conocimientos meta científicos por parte del profesorado de ciencias y del estudiantado, que pueden ser proporcionados por la historia y la filosofía de la ciencia (Adúriz Bravo, 2005; Álvarez Lires *et al.*, 2013, Izquierdo, 2021; Izquierdo *et al.*, 2013; Quintanilla, 2020, 2022; Serrallé *et al.*, 2021). En este mismo sentido, consideramos que la enseñanza de las ciencias puede colaborar para proporcionar las competencias necesarias, a fin de navegar por un proceloso océano de información falsa y cuestionable (Internet y redes sociales) sin perderse, confundirse o engañarse (Quintanilla *et al.*, 2014). Para ello, se ha de “desarrollar la competencia para evaluar la información y los conocimientos científicos”, y el pensamiento crítico puede contribuir a ello (Osborne *et al.*, 2022, p.1; González Galli, 2020). En lo que sigue,

trataremos de ejemplificar lo dicho para la enseñanza de las ciencias en un contexto mundial de crisis ambiental.

Un contexto de crisis global

El CG es el mayor problema ambiental al que se enfrenta la humanidad en este siglo. Steffen *et al.* (2015) han examinado la evolución de un conjunto de indicadores socioeconómicos y ambientales, desde 1950, y han podido observar su incremento acelerado. Entre ellos están: el uso de combustibles, la utilización de transportes, el crecimiento de la población o el uso de la tierra y del agua, a partir de 1950. El CG, pues, constituye un problema de enormes dimensiones ambientales, sociales, económicas, políticas y de equidad, y suscita un gran reto para la humanidad en su conjunto (Steffen *et al.*, 2015), hasta el punto de obligarnos a reflexionar sobre la necesidad de cambiar el modelo de desarrollo actual, insostenible, éticamente injusto, productor de degradación ambiental y de desigualdades (Rockström *et al.*, 2014; Folch, 2011).

En consecuencia, es preciso caminar hacia una sociedad de la sustentabilidad bajo nuevos principios y paradigmas (Álvarez Lires, 2023; Fernández, 2009; Folch, 2011; PNUD, 2016; Rockström, *et al.*, 2014; Steffen *et al.*, 2015).

La pregunta que surge es, entonces, ¿qué puede o debe hacer el sistema educativo ante esta situación? La educación no puede (ni debe) permanecer ajena a esta crisis y, en este contexto, la educación científica se puede convertir en un instrumento clave para generar espacios de diálogo y comunicación en igualdad, así como para fomentar el desarrollo personal, las capacidades humanas y promover un verdadero desarrollo sustentable (DS). Esta situación tiene repercusiones específicas en distintos grupos sociales, en especial en las mujeres pertenecientes a dichos grupos, razón por la cual se ha de identificar y hacer explícita en la investigación educativa la importancia de introducir en la investigación y en la educación la perspectiva de género (UNWomen, 2023).

No obstante, debemos constatar que el propio concepto de Desarrollo Sustentable (DS) está cuestionado desde un paradigma crítico, las posibles alternativas para el diseño de una Educación para la Sustentabilidad están en debate y en construcción (UNESCO, 2019; UNWomen, 2023), y los Estudios de Género y Medioambiente constituyen un gran reto para los Estudios de Género y Ciencia (Melero & Solís, 2012; Gissi *et al.*, 2018). Respecto a estos últimos, el compendio de investigaciones sobre Género y Medioambiente (MacGregor, 2017), desde diferentes enfoques, puede constituir un escalón en el avance epistemológico en este campo, al introducir la perspectiva de género en muchos procesos del Cambio Ambiental Global e incluso en el enfoque del denominado Antropoceno (Di Chiro, 2019).

Antes de continuar, debemos examinar qué es el Cambio Ambiental Global, o Cambio Global (CG). Se entiende por tal, el conjunto de cambios ambientales afectados por la actividad humana, en especial los que acontecen en los procesos que determinan el funcionamiento del Sistema Tierra (ST) (Steffen *et al.*, 2015), entendido este como el conjunto de interacciones físicas, químicas, biológicas, ambientales y socioeconómicas que ocurren a escala planetaria en procesos como los siguientes: uso y ocupación del suelo, urbanización, globalización, impactos sobre los ecosistemas costeros, composición de la atmósfera, flujos fluviales, ciclos del nitrógeno y del carbono, clima, redes tróficas, diversidad biológica, población humana, economía, uso de recursos, energía, transporte y comunicación, entre otros (Steffen *et al.*, 2015, p. 1259855-4), que pueden originar cambios planetarios irreversibles.

Los enormes impactos de las acciones humanas sobre el planeta se reflejan, por ejemplo, en el agotamiento de la capa de ozono estratosférico, la pérdida de biodiversidad; la degradación de la tierra, del agua dulce, de la calidad del aire y de los océanos; la carga de aerosoles y la contaminación química; el cambio climático y la apropiación de recursos finitos, como el petróleo. Además, las interacciones entre los distintos procesos forman parte del CG y son de gran relevancia, a lo que se ha de sumar que muchos de estos fenómenos no se producen de forma lineal, sino de forma no lineal, de modo que pueden originar cambios abruptos o incluso irreversibles (Rockström *et al.*, 2014).

Esta concepción del ST va mucho más allá de pensar que los procesos geofísico-químicos de los dos grandes fluidos –el océano y la atmósfera– generan el sistema de soporte de vida planetaria por separado (Steffen *et al.*, 2015). Para estos autores, los procesos biológico/ecológicos constituyen una parte integral del funcionamiento del ST y este no es únicamente el destinatario pasivo de los cambios que se producen en el conjunto océano-atmósfera, pues las interacciones dentro del propio Sistema son tan importantes como los inductores externos del cambio. Para finalizar la caracterización del ST, este incluye los seres humanos, nuestras sociedades y nuestras actividades, de tal manera que las personas no somos una fuerza exterior que perturba el sistema natural, sino más bien una parte integral de las interacciones que ocurren en el propio ST.

La crisis ambiental, el Cambio Ambiental Global, simbolizada en el cambio climático (CC), causado por la emisión hacia la atmósfera de millares de millones de toneladas de CO₂, además de otros gases de efecto invernadero, como el CH₄; puede ilustrarse con un ejemplo: mientras que en las sociedades preindustriales y en las de países menos desarrollados la emisión de CO₂ era de menos de 2t, en Europa ascendía a unas 11t y en Norteamérica a más de 20 t por habitante y año (Fernández *et al.*, 2009). Para estos autores, la crisis ambiental es un proceso inherente al propio modelo de desarrollo, que no se resuelve únicamente con una mayor concienciación

y mejoras tecnológicas. Se ha de tener presente que en las sociedades del bienestar habitamos mil millones de personas y en el resto de países, 4 mil millones, que aspiran, de manera legítima, a poseer nuestros niveles de bienestar, por lo que es de esperar que la crisis se intensifique en las próximas décadas.

Si bien es cierto que no es la primera vez que el ST se enfrenta a una situación de cambio drástico, el CG representa una novedad en la historia del planeta: por un lado, los cambios ocurren con gran rapidez, por ejemplo, el aumento de la concentración de CO₂ atmosférico en espacios de tiempo muy cortos (décadas) con respecto a la evolución del planeta y, por otro lado, el hecho de que el ser humano sea el principal motor de estos cambios¹. Los Acuerdos de París y los 17 Objetivos de Desarrollo Sustentable de la Agenda 2030 (ONU, 2015) constituyeron, en su momento, con todas sus limitaciones, una esperanza, pero la concentración de CO₂, en abril del 2024, era de 426,57 partes por millón (ppm), frente a las 423.37 ppm de abril de 2023. Esta concentración es la más elevada de los últimos tres millones de años.

Tal situación ha llevado a una parte importante de la comunidad científica a la formulación del término “Antropoceno” (Zalasiewicz *et al.*, 2016) –aunque no hay unanimidad al respecto–, que sugiere que nos encontramos ante una nueva era geológica, en la que la especie humana ha sido y es una parte integral de las interacciones que ocurren en el propio ST. Para ello, se han basado en la evolución de un conjunto de indicadores relacionados con el desarrollo socioeconómico mundial y con la estructura y funcionamiento del ST, entre 1750 y 2010, como el uso de combustibles fósiles, de transportes, de la tierra y del agua, que revelan un incremento acelerado, sobre todo desde 1950: la denominada Gran Aceleración. Muestra, también, que la mayor parte del consumo acontece en países de la OCDE, es decir, que el 74% del PIB mundial está relacionado sólo con el 18% de la población mundial. Estas desigualdades marcan la distribución de los beneficios de la Gran Aceleración (Steffen *et al.*, 2015).

Así pues, es posible que estemos saliendo de la era actual, el Holoceno (los últimos 10. mil años del período interglaciar, en condiciones ambientales sumamente estables), y estemos entrando en una nueva era, el Antropoceno (Zalasiewicz *et al.*, 2016). Aunque existen evidencias de cambios en la Tierra anteriores a la época actual, los indicadores analizados desde 1950 son claros: se observa un cambio drástico en su evolución temporal, vinculado a las transformaciones del sistema económico mundial.

1 Los estudios científicos referentes al aumento de la presión humana sobre el ST a escala global, se agruparon en el Programa Internacional Geosfera-Biosfera (IGBP) (1987- 2015). Un nuevo programa, Future Earth (2015-2025) sustituye al IGBP, que aspira a impulsar la Ciencia de la Sustentabilidad Global.

Zalasiewicz *et al.* (2016, p. 3) señalan las implicaciones del Antropoceno para el futuro de la humanidad en el siglo XXI y más allá de él:

La Tierra va camino de una sexta extinción en masa, que afectaría al 75% de las especies en los próximos siglos. Aparte de la concentración de CO₂, ya mencionada, citan, entre otras, las pruebas de armas nucleares de los años 50 y 60, que dejaron rastros de un isótopo de naturaleza común, ¹⁴C, y de un isótopo raro, ²⁹³Pu. Se ha acumulado tanto plástico en los océanos que las partículas de microplásticos son ahora prácticamente omnipresentes. El uso de fertilizantes ha motivado que el contenido de nitrógeno y fósforo en los suelos se duplicase a lo largo del siglo pasado. Ha quedado un marcador permanente, en sedimentos y hielo glacial, de partículas suspendidas en el aire, como las de carbón negro procedente de quema de combustibles fósiles.

Antropoceno y género: el androcentrismo pervive en la historia de la ciencia del siglo XXI

Desde hace una década, se ha hablado acerca de las cualidades necesarias para afrontar el Antropoceno, tales como imaginación, creatividad, pensamiento ético, empatía o resiliencia. También se ha incidido en la enseñanza de las ciencias para la complejidad. Gilbert (2015) afirma que el Antropoceno invita a la educación científica a pensar sobre su finalidad: para quién es, con qué y con quién debería estar involucrada. Desafía también a las comunidades científicas a pensar que la naturaleza no es un "objeto de investigación", sino algo con lo que el ser humano está unido inextricablemente. ¿Cuáles deberían ser, entonces, los objetivos de la educación científica en la transición al Antropoceno? Ante esta situación compleja, incierta y contradictoria, ¿cómo puede contribuir la educación científica a convivir con la incertidumbre?

Interesa señalar ciertas limitaciones del Antropoceno como estrategia política ecológica para el siglo XXI. Di Chiro (2019, p. 499) afirma, en su análisis, que el término no hace referencia al modelo de desarrollo de crecimiento ilimitado y oculta la visión de género y racializada del capitalismo, desestabilizadora del Holoceno. Al ser considerado como una construcción "hombre-naturaleza", en exclusiva, refuerza el androcentrismo y el estereotipo de las mujeres como víctimas vulnerables o como héroes resilientes. Por su parte, los movimientos de "sustentabilidad para todas las personas", y las investigaciones feministas, han desvelado el panhumanismo del concepto de Antropoceno, que refleja y refuerza el neoliberalismo y el individualismo de "resiliencia", de modo que, si todos los seres humanos somos culpables, nadie es responsable. Dichos movimientos proponen una conservación colectiva y estrategias creativas para construir iniciativas de sustentabilidad justas, desarrolladas ya por muchas mujeres activistas indígenas, frente a la concepción

individualista, del consumismo “verde” o de los ajustes tecnológicos de la economía “verde” (Álvarez Lires, 2023).

Las investigaciones sobre género y medio ambiente han desvelado la gran vulnerabilidad de las mujeres frente a los desastres y de qué manera sus voces rara vez son escuchadas en la toma de decisiones sobre las opciones de Desarrollo Sustentable (Di Chiro, 2019). Pero, una concepción de las mujeres sólo como víctimas pasivas de los desastres es estereotipada, pues debería tenerse en cuenta su experiencia, ya que han sido las primeras en adaptarse al cambio climático, en crear soluciones para su mitigación a escala local, por ejemplo, en alimentación, energía o agua, para la consecución de comunidades justas y sostenibles (UNWomen, 2019, 2023).

Conclusiones

Lo expuesto hasta aquí puede constituir un enfoque, cuya consideración en la formación del profesorado y en los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias en las aulas de los diferentes niveles educativos, contribuya a conseguir un cambio en las metodologías tradicionales y una enseñanza inclusiva, al mismo tiempo que promueva una actividad tecnocientífica escolar, en la que procedimientos, actitudes, ideas y emociones vayan al unísono (Izquierdo, 2007); pero no es menos cierto que dicho enfoque no ofrece certezas absolutas y surgen preguntas y dudas que son objeto de debates inacabados, en la formación del profesorado y en la intervención didáctica en las aulas.

A este respecto, tenemos el convencimiento de que la existencia de los debates apuntados no es negativa, sino que es una muestra del dinamismo de la DCE, que busca responder a la necesidad de abordar y de enfrentar los graves problemas que afectan a nuestras sociedades en pleno siglo XXI: ¿Cómo se puede promover el pensamiento crítico? ¿Cómo avanzar en la introducción de la historia de las ciencias y de las técnicas, para propiciar el conocimiento de la naturaleza de la ciencia y de su permanente evolución? ¿Qué se entiende por desarrollo sustentable y por sustentabilidad? ¿Cómo progresar en la investigación y en la docencia sobre género y sustentabilidad? ¿Cómo contribuir a una educación para la sustentabilidad? ¿Cómo caminar hacia el reconocimiento de los saberes ancestrales? ¿Cómo abordar la necesidad del cambio del modelo de desarrollo actual, insustentable y éticamente injusto, responsable de la crisis global? ¿Cómo propiciar el pensamiento no androcéntrico y no etnocéntrico?

Los debates apuntados no aspiran a mostrar la totalidad de los existentes, pero constituyen una muestra de la complejidad del mundo y de la necesidad de establecer miradas diferentes para su transformación, que, obviamente, no dependen en exclusiva de la didáctica de las ciencias, ni de las comunidades

científicas. Pero, en el sentido indicado, el diseño y la experimentación de propuestas didácticas sobre fenómenos del CG, con perspectiva crítica, en las que se inserten la modelización de los cambios que acontecen en el ST, los problemas sociocientíficos que implica la situación de emergencia planetaria, los enfoques socioculturales, la perspectiva de género –a través de las aportaciones de las mujeres a la sustentabilidad, desde la ciencia oficial, las comunidades indígenas y los oficios tradicionalmente femeninos– la inclusión de la historia y de la filosofía de la ciencia, ofrecen una posibilidad de avanzar hacia la consecución de sociedades más justas e igualitarias, con la colaboración de la educación científica, en o para el Antropoceno, a través del conocimiento y de la conciencia sobre la situación del planeta, para poder intervenir en el mundo, tomar decisiones (Izquierdo, 2007) y avanzar en la superación de los estereotipos de género (Alvarez Lires, 2023; Amorín *et al.*, 2024).

Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A. (2005). Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales. Fondo de Cultura Económica.
- Álvarez-Lires, M., Arias Correa, A., Pérez Rodríguez, U. & Serrallé, J. F. (2013). La historia de las ciencias en el desarrollo de competencias científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 213-233. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n1.622>
- Álvarez-Lires, M., Arias-Correa, A., Lorenzo Rial, M. A. & Serrallé-Marzoa, F. (2017). Educación para la Sustentabilidad: CG y Acidificación Oceánica. *Formación Universitaria*, 10(2), 8.9-102. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062017000200010>
- Álvarez-Lires, M. (Ed) (2023). Precursoras da sustentabilidade e da Axenda 2030. Deputación de Pontevedra. <https://www.depo.gal/-/precursoras-da-sustentabilidade-e-da-axenda-2030>
- Amorín, T. (2021). Una aproximación al modelo materia en el Grado de Educación Infantil. En *Nuevos escenarios educativos: hacia el Horizonte 2030*, 336-347, Dykinson, S.L.
- Amorín, T., Álvarez Lires, M., Álvarez Lires, F.J. & Lorenzo Rial, M. A. (2022). Jugando con el agua en un aula de Educación Infantil para explicar cambios de estado. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias* 19(3), 1-19. DOI: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i3.3203
- Amorín, T., Serrallé, J.F., Álvarez-Lires, M. & Arias, A. (2024). Formación inicial del profesorado: réplica de los experimentos de Eunice Foote (1856). *Educación Química*, 35(2), 168-186. DOI: 10.22201/fq.18708404e.2024.2.86053
- Arias Correa, A. & Alen de la Torre, J. (2023). Situacións de aprendizaxe. *Eduga: Revista Galega do Ensino*, 86. <https://www.edu.xunta.gal/eduga/2517/foro/situacions-aprendizaxe>
- Quintanilla, M., Daza, S. & Cabrera, H. G. (Eds.) (2014). Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva aula de ciencias, promotora de ciudadanía y valores. Belaterra.

- Comisión Europea/EACEA/Eurydice (2022). El aprendizaje de las matemáticas y las ciencias en educación escolar. Logros y motivación. Oficina de publicaciones de la UE.
- COSCE (2011). Informe. ENCIENDE. Enseñanza de las Ciencias en la Didáctica Escolar para edades tempranas en España. https://cosce.org/pdf/Informe_ENCIENDE.pdf
- Di Chiro, G. (2019). Welcome to the White (M)Anthropocene? A feminist-environmentalist critique. En: S. MacGregor, *Routledge Handbook of Gender and Environment*. Routledge.
- Fernández, E., Méndez, G. & Pérez, M. (2009). Evaluación ambiental estratégica. Un instrumento para la introducción de criterios de sostenibilidad en la planificación del territorio. En A. Serrano (Ed.), *Ingeniería civil para un mundo sostenible*, 85-101. Fundación Ingeniería Civil de Galicia.
- Folch, R. (2011). La Quimera del crecimiento: la sustentabilidad en la era postindustrial: "¿qué sabemos?", diría Montaigne. RBA.
- Gilbert, J. (2016). Transforming Science Education for the Anthropocene-Is It Possible? *Research in Science Education*, 46(2), 187-201. DOI: 10.1007/s11165-015-9498-2
- Gissi, E., Portman, M.E. & Hornidge, A.K. (2018). Un-gendering the ocean: Why women matter in ocean governance for sustainability. *Marine Policy*, 94, 215-219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.05.020>
- González Galli, L. (2020). Enseñanza de la biología y pensamiento crítico: la importancia de la metacognición. *Revista de educación en biología*, 22(2), 4-24. DOI: <https://doi.org/10.59524/2344-9225.v22.n2.28528>
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 6, pp. 125-138.
- Izquierdo, M. (2013). School Chemistry. An Historical and Philosophical Approach. *Science & Education*, 22, 1633-1653. DOI: <https://doi.org/10.4995/msel.2017.6637>
- Izquierdo-Aymerich, M. (2021). Ensenyar química: una aproximació històrica i filosòfica. *Educació Química. EduQ*, 29,19-27. <https://raco.cat/index.php/EduQ/article/view/407756>.
- Izquierdo, M., Calvo, C., Guitart, F., García Cáceres, G., J., Estaña, J. Ll. & Guerrero, M. (2022). Ciència escolar per als reptes actuals. *Ciències: revista del professorat de ciències de primària i secundària*, 43, pp. 38-47.
- Izquierdo-Aymerich, M., García Martínez, A., Quintanilla-Gatica, M. & Adúriz Bravo, A. (2016). Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: aportes para la formación del profesorado de ciencias. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- MacGregor, S. (2019). Gender and environment: an introduction. En S. MacGregor (Ed.), *Routledge Handbook of Gender and Environment* (pp. 23-46). Routledge.
- Melero, N. & Solís, C. (2012). Género y medio ambiente. El desafío de educar hacia una dimensión humana del desarrollo sustentable. *Revista Internacional de Investigación en Ciencias Sociales*, 8(2), 235-250.
- ONU (2015). *Agenda 2030. 17 objetivos de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>

- ONU Mujeres. (2019). Informe sobre la Agenda 2030. 51 pistas para avanzar en la igualdad de género. <https://www.pactomundial.org/2019/03/51-pistas-para-avanzar-en-igualdad-de-genero/>
- Osborne, J., Pimentel, D., Alberts, B., Allchin, D., Barzilai, S., Bergstrom, C., ... & Wineburg, S. (2022). Science Education in an Age of Misinformation. Stanford University. https://policycommons.net/artifacts/2434623/science_education_in_an_age_of_misinformation/3456215
- PNUD (2016). Informe sobre Desarrollo Humano 2016. Desarrollo humano para todos. PNUD. <https://hdr.undp.org/system/files/documents/hdr2016spoverviewweb.pdf>
- Quintanilla, M. (2022). Ciencia, ciudadanía y valores promotores de una nueva educación para Chile. En: Romero Jeldres, M., y Tenorio Eitel, S. (Eds.) (2022). *Educación y Constitución. Repensar lo Educativo*, 371-400. Fondo Editorial UMCE.
- Quintanilla, M. (2020). The History and Philosophy of Chemistry (HPC) in Teaching and in the Professional Development of Teachers: Contributions to the debate from Science Education research. En: Charbel N. El-Hani, Pietrocola, M., Mortimer, E., and Otero, M. (eds.). *Science Education Research in Latin America (Handbook)*, 19, 457-480. Brill NV.
- Quintanilla, M., Daza, S. & Cabrera, H. (Ed). (2014). Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una “nueva aula de ciencias”, promotora de ciudadanía y valores. Bellaterra.
- Rockström, J., Falkenmark, M., Allan, T., Folke, C., Gordon, L., Jägerskog, A., ... & Postel, S. (2014). The unfolding water drama in the Anthropocene: towards a resilience-based perspective on water for global sustainability. *Ecohydrology*, 7(5), 1249-1261. <https://doi.org/10.1002/eco.1562>
- Serrallé, J.F., Pérez, U., Lorenzo, M. & Álvarez Lires, M. (2021). Concepciones sobre la naturaleza de la ciencia en el profesorado en formación inicial, *Enseñanza de las ciencias*, 39(3), 113-133. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3063>
- Solsona, N. & Izquierdo, M. (2003). El uso de la explicación en una receta de cocina científica. *Investigación en la escuela*, 49, pp. 79-88.
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. & Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1), 81-98. DOI: 10.1177/2053019614564785
- UNESCO (2019). Descifrar el código: La educación de las niñas y las mujeres en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366649>
- UNWomen (2023). Por qué las mujeres deben ocupar un lugar preponderante en las medidas de acción por el clima. <https://ecuador.unwomen.org/es/stories/>
- Zalasiewicz, J., Waters, C. N., do Sul, J. A. I., Corcoran, P. L., Barnosky, A. D., Cearreta, A., ... & McNeill, J. R. (2016). The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene. *Anthropocene*, 13, 4-17. DOI: 10.1016/j.ancene.2016.01.

SEGUNDA PARTE

Contribuciones de la filosofía y la historia
de la ciencia al modelo cognitivo
de ciencia escolar

Una educación científica que imagina el futuro con historia y reflexión sobre el mundo. El aporte de Mercè Izquierdo

Mario Quintanilla-Gatica
Universidad Católica de Chile
mquintag@uc.cl

Resumen

En este capítulo presentaré el aporte de Mercè Izquierdo sobre la relevancia de incorporar la historia y la filosofía de la ciencia en la formación inicial y continua del profesorado de ciencias. Con esta finalidad, quisiera destacar su valiosa e inspiradora perspectiva para re-pensar los modelos formativos y de desarrollo profesional docente, desde el modelo cognitivo de ciencia. Su mirada, ha sido provocadora y, a la vez, prometedora para contribuir a robustecer una nueva enseñanza de las ciencias, que ha orientado la investigación, la innovación educativa, el currículo y la formación del profesorado y de capital humano en nuestros países, con diferentes énfasis y formatos, instrumentos y estrategias, que han sido –y continúan siendo– altamente valorados por la comunidad internacional en enseñanza de las ciencias.

Reflexiones iniciales

Algunas de las ideas que comentaré discretamente en este capítulo, derivan de otras producciones de artículos, capítulos de libros, libros y eventos en los que he profundizado junto a Mercè Izquierdo y otros compañeros/as durante más de 25 años: el valor de la Historia de la Ciencia en la formación del Profesorado de Ciencias, la enseñanza y el aprendizaje, lo que ha sido, de alguna manera, la inspiración de estas nuevas reflexiones. En el primer apartado voy a referirme, desde una visión muy personal, a la vinculación entre historia de la ciencia (HC)¹, filosofía de la ciencia

1 En lo sucesivo utilizaré esta notación para referirme a historia de la química (HQ), filosofía de la química (FQ), didáctica de la química (DQ), historia de la ciencia (HC), filosofía de la ciencia (FC), didáctica de las ciencias (DC), enseñanza de las ciencias (EC) y profesorado de ciencias (PC).

(FC) y didáctica de las ciencias (DC), considerándolas una triada virtuosa para la formación del profesorado de ciencias (PC). En el segundo apartado, me referiré brevemente a algunas de las corrientes filosóficas que nos ayudarán a comprender estas relaciones y sus consecuencias para la enseñanza, la evaluación y el aprendizaje de la química. En el tercero, desarrollo una reflexión sobre cómo Mercè Izquierdo nos invita a interpretar la HC con finalidades valiosas para la EC y la formación del PC (Quintanilla, Izquierdo & Adúriz, 2005). Finalmente, compartiré con un ejemplo inolvidable de la historia de la química, las posibles relaciones entre historia de la ciencia y creatividad, promotoras de una racionalidad moderada en la enseñanza de las ciencias y la formación del profesorado de ciencias. Vamos a comenzar entonces.

1. Historia, filosofía y didáctica de las ciencias.

Una tríada virtuosa

Para ninguno de nosotros, resulta desconocido que en nuestros países, la ciencia que se ‘enseña y aprende’ en la escuela o en las universidades continúa caracterizándose como un saber ‘erudito’ ahistórico (anacrónico), persistiendo en una tradición disciplinar de la ciencia en la que prima la supuesta objetividad, racionalidad, exactitud, precisión, neutralidad y formalización del conocimiento científico, sus métodos e instrumentos, como si las teorías y fenómenos científicos se generaran de manera invariable y sin polémicas o controversias en el tiempo (Izquierdo *et al.*, 2006). Al respecto, la comunidad internacional en investigación en didáctica de las ciencias viene reportando y profundizando, desde hace más de dos décadas, la complejidad que resulta enseñar y aprender ciencias para ‘comprender el mundo y la naturaleza de la ciencia desde una perspectiva de ciudadanía y valores, en contexto y modelizada (Adúriz-Bravo, A., 2005; Izquierdo, 2007; Izquierdo, Caamaño & Quintanilla, 2007; Galagovsky, 2008; Méheut & Psillos, 2004; Perutz, 2002; Quintanilla & Adúriz, 2024).

En una reciente publicación (Quintanilla, 2023a) señalaba que han transcurrido ya 34 años desde que Anna Estany y Mercè Izquierdo (1990) nos advertían sobre los supuestos teóricos, metodológicos y lingüísticos que subyacen a la dinámica entre la HC y la FC, constituyendo hasta hoy —más de tres décadas después—, una cuestión muy relevante y necesaria, debatida y controversial en círculos propios de esta disciplina, que hoy se refleja, fundamentalmente, en la necesidad de incorporar estas miradas en la formación inicial y continua del profesorado de ciencias naturales. Las autoras señalaban entonces que *“El problema está en si consideramos la HC y la FC como dos disciplinas independientes o bien consideramos que la investigación en uno de estos dos campos (historia o filosofía) implica tener en cuenta la producción teórica del otro. Respecto a esta cuestión, podemos encontrar posturas radicales en uno u otro sentido, desde la defensa del ‘apriorismo’ de las construcciones metateóricas y, por tanto, la absoluta independencia de la FC respecto*

a la HC, hasta la defensa de la FC como una mera descripción de las actividades de los científicos. No faltan, tampoco, posturas intermedias; sin embargo, lo que aquí nos interesa es ver si podemos perfilar una relación entre HC y FC que evite tanto el ‘apriorismo’ como el ‘descripcionismo’ y que sea la base de una dinámica fructífera entre Historia y Filosofía de la Ciencia” (Estany & Izquierdo, 1990, p. 351). Comenzaba así, un promisorio camino hacia una articulación virtuosa entre ambas disciplinas, que sumaría más tarde a la Didáctica de las Ciencias.

Para Mercè Izquierdo (2005), la ‘Ciencia del profesor de ciencias’ necesita una ciencia humana con historia para promover y diseñar actividades docentes teóricamente fundamentadas, que comunique al estudiantado que la ciencia ‘es futuro’ y que, como profesorado, los invitamos a la aventura de ‘hacer ciencia’, compartiendo con ellos como lo hicieron antes de nosotros muchos otros hombres y mujeres en la HC (Quintanilla & Solsona, 2019; Álvarez-Lires, 2024; Quintanilla, 2016). Por ello, la DC o la ‘ciencia de enseñar ciencias’ (Estany & Izquierdo, 2001) demanda la recuperación de la HC y de la FC (sin las cuales la historia es ciega) para la formación inicial y permanente del PC. Desde esta mirada, las ciencias de hoy, su historia intensamente humana, su filosofía siempre controversial y la EC con sus matices culturales, no se subordinan unas a otras, sino que han de relacionarse con creatividad e imaginación en la mente ‘siempre viva y alerta’ del PC, para orientar con afecto y rigor su labor docente con ejemplos paradigmáticos, por ejemplo, en la historia de la química (Quintanilla, 2020). Estas relaciones nunca han sido sencillas ni fáciles; por el contrario, son complejas y desafiantes y no sólo contribuyen a fundamentar cualquier teoría didáctica, sino que generan nuevas y genuinas preguntas de investigación para otras ciencias. La HC, la FC y la DC consideran a las ciencias naturales y sociales como objeto de estudio y, aunque las miran con distintas finalidades, comparten y distinguen unas mismas influencias de los paradigmas actuales, así como determinados planteamientos, lenguajes, métodos y criterios; aunque puedan coexistir en su seno diversas tendencias, confluyen virtuosamente al formar parte de una teoría didáctica y pueden ‘mirarse’ entre sí; y, a través del PC, contribuir a que la ciencia (su comunidad de hombres y mujeres) reflexione sobre sí misma, sobre lo que es hoy y lo que podría llegar a ser en el futuro (Alvarez-Lires, M.; Solsona, 2024).

Desde esta perspectiva, las ciencias, su enseñanza, su aprendizaje e historia constituyen un rasgo irreducible de la dinámica cultural ayer, hoy y mañana, relacionándose entre sí de múltiples formas y con diversas finalidades y en contexto. La ‘ciencia actual’ será la que en algunos años venideros contribuirá a que los estudiantes ‘de hoy’ se desarrollen como excelentes profesionales, cultos y comprometidos para mirar e intervenir el mundo con audacia, inteligencia creadora y pensamiento crítico para transformarlo. Será la ciudadanía informada que elegirá, o no, determinados líderes y proyectos de sociedad, que determinarán los valores sociales favorables o no a la promoción de la ciencia, la tecnología y un mundo

sostenible para todos y todas. Lo que suceda, entonces, en los tiempos venideros, formará parte de la historia cultural, de ‘nuestro tiempo’ y por ello resulta imprescindible enseñar a pensar hoy para un mundo que aún está transformándose vertiginosamente, orientando adecuadamente los conocimientos especializados que se derivan de estos tres campos metateóricos: HC, FC y DC, y hacer todo lo posible para articularlos y darles sentido en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias con una visión de futuro prospectiva. Si, por el contrario, consideramos que no es necesario ni relevante saber HC y FC, nos arriesgamos a una educación científica que no enseñe para ‘el mañana’, cuando lo que resulta verdaderamente relevante en la escuela (y también en la universidad) es ofrecer al estudiantado un futuro en el que puedan intervenirlo y transformarlo racional y razonablemente para transformarlo (Grapí, Caamaño & Guitart, 2013; Izquierdo, 2024; Izquierdo *et al.*, 2016; Moledo, L. & Olszewicki N., 2015; Regina, S., Gatti, T. & Nardi, R. 2016).

Hace diez años, escribíamos con Mercé Izquierdo que ‘la ciencia sin historia no imagina el futuro, porque desconoce la sorpresa de preguntas imprevistas’ (Izquierdo *et al.*, 2014). Una ciencia así, no es valiosa para enseñarla y aprenderla, puesto que su trabajo se va a desarrollar en ese futuro aún no imaginado. Mercé Izquierdo nos señala que, como “*profesores debemos superar esta falta de perspectiva introduciendo la dimensión temporal en la ciencia que enseñamos en los diferentes niveles educativos. Pero esto no significa que debemos enseñar mostrando cómo evolucionaron los conceptos a lo largo de la historia*” (Izquierdo, 2005). Temas complejos como la historia de la teoría atómica o lo que llamaríamos diferentes modelos de átomo en química, son ejemplos a menudo aburridos y difíciles de enseñar y aprender, lo que trae como consecuencia habitual ser una pérdida de tiempo para el profesorado (Quintanilla, Daza & Cabrera, 2014). La HC y la FC siempre transmiten una determinada manera de considerar la ciencia, sus métodos y lenguajes; los episodios, biografías, reflexiones que nos ofrecen han sido escogidos según esta perspectiva, que ha destacado a menudo el carácter experimental y objetivo del método científico y la ‘verdad’ de sus resultados (Izquierdo *et al.*, 2014).

En consecuencia, la HC y la FC proporcionan al profesorado en formación y en ejercicio, recursos importantes para promover un diálogo fecundo que se constituye en relaciones metateóricas entre estas disciplinas autónomas con la DC. Señalábamos hace algún tiempo, que era relevante considerar que un futuro genuino para *las ciencias* es ya una consecuencia de que la misma se interese ‘por su pasado’ y por una aportación incuestionablemente relevante y prometedoras de la HC y la FC a la DC, particularmente a la formación del PC que aborda estas disciplinas metateóricas, con finalidades muy diferentes a la ‘tradicón reproductiva’ del conocimiento científico y que requiere ser modelizada en la formación inicial docente y en la enseñanza (Quintanilla, Izquierdo & Aduriz-Bravo, 2005). En este sentido como señalan Estany e Izquierdo (1990), *una de las grandes dificultades es*

relacionar la HC con la FC y la DC, pues esta última tiene una finalidad educativa que no forma parte de la propia disciplina histórica y filosófica, por tanto, se hace necesario justificarla y establecer condiciones en las cuales es legítima, relevante y necesaria para el debate científico y la enseñanza. De esta manera, la comunidad internacional de investigación en DC promueve el valor y la relevancia social de la ciencia.

La HC ha tenido una función específica e importante en la EC, ya que sirve de introducción al PC no especialista que se ‘aproxima’ a ella, en ocasiones con curiosidad, otras con ingenuidad, mostrando la procedencia y origen del conocimiento científico, cómo se elabora y desarrolla, su relevancia en el marco general de los conocimientos científicos, los retos intelectuales y prácticos a los que se enfrenta la formación del PC y sus diferentes teorías, lenguajes, así como sus adaptaciones a la enseñanza de las ciencias y sus historias (Boido & Lombardi, 2012; Chamizo, 2018, 2010; Matthews, 1994; Nieto, 2014).

2. Absolutismo y constructivismo en las ciencias

La pregunta central que nos presenta Mercè Izquierdo, y que nos hacemos como profesorado y comunidad de investigación en DC es *¿cuáles son las limitaciones, complejidades y dificultades que el rigor científico impone al didactólogo o al PC cuando se aventura en una disciplina en la cual no se ha formado teóricamente y que utilizará en su beneficio y el de su estudiantado?* En la Tabla 1 presento una síntesis discreta (seguro incompleta e inacabada) de las corrientes filosóficas que han contribuido a la reconfiguración del conocimiento científico, con la finalidad de comprender el desarrollo de las relaciones metateóricas de la FC, HC y DC desde el siglo XVI hasta ahora.

Filosofía de la Ciencia	Corrientes		Pensadores/as destacados/as	Período aproximado	Relaciones metateóricas HC – FC – DC
Absolutismo	Racionalismo		Descartes, Kant	S.XVI - 1960	Inexistente
	Empirismo Positivismo		Bacon, Looke, Comte, Hume	S. V - XVIII	
Constructivismo	Irracional		Feyerabend, Khun	1960-1970	Transición FC - HC
		Fuerte	Popper, Lakatos Laudan	1950 - 1980	
	Racional	Moderado	Toulmin, Giere, Izquierdo, Solsona, Chamizo, Adúriz-Bravo, Estany	1980 - 2024	Profundización Consolidación

Tabla 1. Corrientes teóricas en FC y su paulatino acercamiento a la HC en tres momentos. Las relaciones con la DC se desarrollarán a partir del *constructivismo didáctico* en los años 90 (Quintanilla, 2023 b).

2.1 El constructivismo racional-moderado en la ciencia y su enseñanza

El *constructivismo racional-moderado*, llamado también *racionalismo hipotético* por Mercè Izquierdo (2000), tiene su base epistemológica en la idea de *razonabilidad* propuesta por Stephen Toulmin (1977) y en el *modelo cognitivo de ciencia* de Ronald Giere (1994), que inspiran el *constructivismo didáctico*. El primero, pensador y filósofo británico (1922-2009) plantea que *“en la ciencia y la filosofía por igual, la preocupación exclusiva por la sistematicidad lógica ha resultado destructiva para la comprensión histórica y la crítica racional. Los hombres demuestran su racionalidad, no ordenando sus conceptos y creencias en rígidas estructuras formales, sino por su disposición a responder a situaciones nuevas con espíritu abierto, reconociendo los defectos de sus procedimientos anteriores y superándolos”* (Toulmin, 1977, citado por Chamizo, 2007, p.12). Introduce así la distinción entre ‘racionalidad y razonabilidad’, señalando que al considerar la idea convencional de racionalidad como aquella en la que los argumentos se centran en conceptos formales y las explicaciones apelan a leyes universales, neutrales, atemporales y descontextualizadas, esto se transforma en una limitación para comprender e interpretar el desarrollo del conocimiento científico. La razonabilidad se caracteriza por *acentuar el valor del lenguaje en contextos diferentes del mundo real introduciendo, así, el componente cognitivo en las teorías de la ciencia*. Según Chamizo (2007), esta visión ética, temporal y contextualizada parece complementar a esta parcial y tan persistente racionalidad tradicional de la comunidad científica. Para Toulmin el equilibrio entre estas dos formas de conocer (racionalidad y razonabilidad) se perdió hace ya varios siglos. De esta forma la tradicional racionalidad absoluta que hemos heredado de las visiones no constructivistas quedaría atrapada, comprometida y mediada por la inclusión de razonabilidades relativas. (Izquierdo & Aliberas, 2004; Quintanilla, 2023b). Según su interpretación, las teorías, procedimientos y lenguajes de toda ciencia, ‘funcionan’ de manera parecida a los individuos de un sistema biológico; es decir, en términos darwinianos, están sometidos a leyes de selección natural, a una dinámica de constante cambio y renovación. Para Toulmin, el factor determinante de la evolución, que en biología correspondería a la adaptación a “nuevos ambientes”, sería la utilidad práctica del conocimiento científico construido. Introduce así el concepto de *evolución conceptual* o de *esquemas conceptuales* que de un modo similar podemos darle una explicación desde la DQ², ya que la permanente evolución de los conceptos en la HQ es similar al continuo cambio de las ideas que nuestros estudiantes tienen sobre sus teorías, métodos y lenguaje (Bensaude & Stengers, 1997; Galagovsky, L., 2008, coord.). Por ejemplo, el concepto de afinidad que hoy enseñamos en química no es

2 En ocasiones sustituyo DC (Didáctica de la Química) por DQ (Didáctica de la Química); HC (Historia de la ciencia) por HQ; (Historia de la Química); FC (Filosofía de la Ciencia) por FQ (Filosofía de la Química), Química Escolar (QE); Modelos Teóricos (MT) y Modelo Cognitivo de Ciencia (MCC).

el mismo que se divulgaba en el siglo 18 y 19 (Aragón, F., 2004; Estany & Izquierdo, 1990). En consecuencia, la actividad científica es *progresivamente mutable*, los conceptos, modelos y teorías terminan siendo sustituidos por otros, y los marcos ideológicos que fundamentan el conocimiento en cada época sufren igualmente un proceso de *cambio conceptual o paradigmático natural*, sistemático, continuo e irreversible, que puede ser comprendido a la luz de ciertos principios teóricos y caracterizado con criterios metodológicos específicos, que le dan sentido y valor al conocimiento.

Por su parte para Giere las ciencias son vistas como *empresas profundamente humanas*: su finalidad es interpretar el mundo teóricamente, utilizando la capacidad que tenemos de emitir juicios, lo que desdibuja las fronteras entre el pensamiento científico y el pensamiento cotidiano y promueve la emergencia de nuevos modelos de ciencia (Estany, 1993; Giere, 1992, 1994; Izquierdo, 2005; 2007). Actualmente, las ciencias cognitivas nos resuelven en parte esta situación, inspirándonos para fortalecer las relaciones metateóricas HQ-FQ-DQ. Cada una con su ‘nicho autónomo’ y relacionadas entre sí de manera dinámica e influenciadas por diferentes ambientes sociales, políticos, científicos y culturales (nivel externo), que promueven, así, a la configuración de una ‘triada virtuosa’ para enseñar y aprender química (nivel interno), lo cual desarrollo y profundizo en otro libro (Quintanilla, 2023a). Ronald Giere nos proporciona desde sus planteamientos, una visión que humaniza la producción del conocimiento científico, que nos permite introducir la HQ y FQ en la formación del profesorado y en la EC con finalidades valiosas, reconociendo controversias para aprender a argumentar y explicar la química (Labarca, Quintanilla & Izquierdo, 2022).

Tres serían los principales postulados del MCC que se ajustan muy bien a la educación científica, que requieren un proceso de transposición didáctica debidamente orientado y que hemos profundizado en otras publicaciones (Quintanilla, 2023a): (i) El mundo se interpreta con teorías; ii) El método de interpretación de las teorías es evolutivo, dinámico y diverso. Las teorías en química cambian sistemáticamente y se ajustan a los nuevos instrumentos y lenguajes que se reconfiguran permanentemente; (iii) Las teorías dependen del juicio de los científicos y las científicas.

La orientación cognitiva de enseñanza de las ciencias que desarrolla Mercè Izquierdo al proponer un modelo de ciencia escolar, está fundamentada en el carácter dinámico del conocimiento científico. Los científicos y científicas cognitivos/as cuestionan la filosofía clásica (absolutista), por configurar y promover ideales de ciencia con los cuales la comunidad científica no trabaja, con los que no se identifica ni teórica ni metodológicamente, alejándose, así, de la filosofía y la sociología, intentando establecer una disciplina con nuevos principios más interesantes y valiosos, sin otra finalidad que la de explicar la ciencia como construcción humana en

permanente transformación (Izquierdo, 2000; 2005 ; 2007). Esta postura resulta mucho más estimulante y enriquecedora en el análisis e interpretación de los hechos y las teorías desde la HQ y la FQ. El MCC (Izquierdo, 1996) se convierte, así, en una nueva orientación teórica, metodológica y lingüística muy potente, porque define y caracteriza la ciencia en el aula (ciencia escolar) como actividad que reconoce todo el repertorio cognitivo del sujeto que aprende y enseña (ideas, emociones, valores, historia personal, lenguajes, acervo cultural).

En el MCC, los conocimientos no serían, entonces, generalizaciones empíricas bien confirmadas, sino que dependerían de los juicios de la comunidad científica y del contexto en el que se analizan, oponiéndose, así, a la concepción clásica de racionalidad categórica, que no los admite ni los valora en la producción de conocimiento. En una concepción naturalista de la ciencia, existe una constante aproximación a la verdad, que es parte de la esencia misma de la actividad científica que se desarrolla en la HC. Giere utiliza su modelo para la ciencia, proponiendo que para saber *cómo y qué es una teoría científica*, es necesario saber *cómo la utiliza y la comunica la comunidad científica*. Profundiza su análisis para explicarnos cómo aparecen las teorías en los libros de texto especializados y cómo la usa esta comunidad en sus discusiones y contextos específicos. Da un lugar preferencial a lo que define como *Modelos Teóricos (MT)*, cuya idea central es que construimos en nuestra mente estructuras complejas o representaciones mentales parecidas a las que utilizamos en la vida cotidiana, que consisten en la representación de fenómenos y los principios que les vinculan, teniendo como unidad estructural los conceptos científicos que actúan como mapas internos del mundo externo (Izquierdo & Aliberas, 2004). En este sentido, las representaciones científicas utilizan siempre un lenguaje axiomatizado y las cotidianas no. A partir de aquí se constituye un momento histórico muy interesante, que tensiona desde las visiones tradicionales de la ciencia la idea de subjetividad y objetividad en la producción de conocimiento, tanto necesaria como relevante para promover una convivencia genuina y urgente en nuestra sociedad cuya emergencia es una revolución reflexiva (Ávila & Maturana, 2021). Los MT son en esta concepción de la ciencia, los medios a través de los cuales la comunidad científica se representa el mundo, tanto para sí misma como para los demás y, en consecuencia, son ajustes del mundo externo en ciertos aspectos, con determinados propósitos que no se pueden calificar de verdaderos o falsos. Giere (1994) califica su postura como *realismo naturalista o realismo pragmático*. Es realista al considerar que la ciencia intenta representar e interpretar el mundo con determinadas ideas debidamente caracterizadas, y naturalista porque pretende explicar los juicios y decisiones científicas a partir de sus criterios propios y no de principios racionales de carácter general, como lo plantean los 'positivistas tradicionales'. Esta sería, por así decirlo, la novedad epistemológica de este modelo de ciencia que se ajusta muy bien al modelo de ciencia escolar (CE) que propone Mercé Izquierdo. Para ella, y quienes somos sus discípulos, los

planteamientos del MCC nos permiten, así, establecer relaciones valiosas e interesantes entre la producción del conocimiento científico y la enseñanza de las ciencias, aceptando la HQ y la FQ como disciplinas meta-científicas relevantes para ‘aprender a comprender’ (y a enseñar) el desarrollo de la química como disciplina científica a lo largo de la historia. Así, la clase se transforma en un foro de discusión, favoreciendo el desarrollo de explicaciones, argumentos, descripciones y justificaciones acerca del origen del conocimiento que enseñamos, promoviendo un aprendizaje científico competencial y atractivo para el estudiantado (Labarca, Quintanilla & Izquierdo, 2022).

3. Historia de la química y enseñanza de la química El aporte de Mercè Izquierdo

Izquierdo & Aliberas (2004) plantean que los procesos de aprendizaje que sigue el estudiantado para aprender química –y el profesorado para enseñarla–, no pueden ser diferentes de los procesos que se siguen para justificarla en términos históricos y filosóficos, ya que una y otra son relevantes para aprender a ‘pensar la química’ desde una visión no solamente instrumental u operativa, sino también desde una perspectiva cultural y social, promotora de competencias de pensamiento científico (Quintanilla *et al.*, 2022). Estos autores señalan que una de las complicaciones que surge en los libros de texto, es la utilización de lenguajes que el estudiantado no logra comprender o no le resultan convincentes, sin preocuparse de explicar o argumentar la naturaleza del conocimiento químico que están aprendiendo, así como sus controversias históricas y filosóficas, siendo los mismos lenguajes y argumentaciones formales, útiles en la comunicación científica de los/las ‘expertos/as químicos/as’ (Bensaude & Stengers, 1997; Galagovsky, 2008).

Mercè Izquierdo nos invita a comprender las relaciones ‘posibles’ entre *HC*, *FC* y *DC* para explicarlas de manera genuina y convincente a nuestro estudiantado, la que nos parece prometedora para articularlas con la promoción y desarrollo de competencias argumentativas y explicativas acerca de la química (Quintanilla, Cabrera & Zambrano, 2022). La primera cuestión para considerar, en este ámbito, es el *significado teórico y la finalidad* del término historia. Cabe señalar que, en ningún caso es posible la *observación directa del pasado* ni acceder por completo a lo que fue (tampoco podemos hacerlo por completo con lo que ocurre en nuestra propia época), puesto que no existe una *historia totalmente objetiva*³. Kragh (2007) señala que ello implica que la idea de historicidad de la química admite siempre interpretaciones disonantes en la comunidad científica: algunas de ellas intentan explicar las *transformaciones, progresos y avances* del conocimiento químico desde una mirada *reduccionista y anacrónica* (mirar el pasado con ojos del presente) o bien

3 Aun cuando la noción de objetividad es compleja, no pretendo desarrollarla en este capítulo.

una visión *diacrónica y recurrente* (mirar el pasado con ojos del pasado). Para ella, esta forma de entender la HQ, muy potente a nuestro juicio para la formación inicial y continua del profesorado de química, genera planteamientos que distinguen de manera sustancial los llamados *hechos del pasado y los hechos históricos* (Izquierdo *et al.* 2014), muy diferente a enseñar la química como objeto o producto del conocimiento científico acabado y ahistórico, como si emergiera de improviso. Kragh (2007) indica que la *historiografía diacrónica* estricta es simplemente un ideal, puesto que el historiador no puede liberarse totalmente de su tiempo y de su época, ni evitar completamente el empleo de modelos o patrones contemporáneos que ha aprendido a valorar y promover en su contexto y con sus visiones de mundo (Martínez, S. & Guillaumin, G., 2005) Aún más, una historia estrictamente diacrónica no tendría ningún interés para el profesorado y muy poco para la DC; sin embargo, es evidente que una historia anacrónica de la química no sólo es incompleta o falsa, sino que podría utilizarse para sustentar toda clase de *retóricas ingenuas o neutras* (de progreso constante y ‘objetivo’ de la ciencia, de exclusión de las mujeres, de disputas entre ciencia y religión; entre ciencia y política; de omisiones intencionadas) en lugar de favorecer una reconstrucción serena, razonable y documentada de los datos, y un reconocimiento de la falta de ellos, cuando corresponda (Izquierdo *et al.*, 2014). ¿Qué hacer, entonces, en clases de ciencias, para no presentar el presente como consecuencia directa del pasado, pero, a pesar de ello, sí vincularlo de alguna manera al presente, en interés de la formación científica del alumnado, promoviendo pensamiento competencial y pensamiento crítico de nivel superior, utilizando la HC y la FC para desarrollarlo? ¿Cómo contribuir desde esta perspectiva a comprender la enseñanza de la química desde una visión ciudadana, de compromiso social para una nueva sociedad (Izquierdo *et al.*, 2014; Quintanilla, Marzabal & Merino, 2022)?

Así, la HQ y la FQ promueven una mejor comprensión de las nociones teóricas, lenguajes y métodos científicos; los diferentes enfoques históricos o corrientes que se han sistematizado en los últimos años conectan y evalúan adecuadamente el desarrollo del pensamiento individual con el desarrollo de las ideas científicas en momentos y circunstancias particularmente interesantes para las reconfiguraciones teóricas de la historia y naturaleza de la química (Cuellar, Quintanilla, Marzabal, 2010; Grapí, Caamaño, Guitart, 2013). Además, son necesarias y útiles para comprender la naturaleza de la ciencia, y cuestionan con argumentos potentes el científicismo y dogmatismo que todavía es común encontrar en nuestras clases y textos de enseñanza de la química secundaria y universitaria. Al examinar con prolijidad e intencionalidad epistemológica la vida y épocas de científicos(as), la HQ ‘humaniza’ los contenidos propios de la ciencia que se divulga y enseña. ‘Emocionan’ los episodios ‘desconocidos, evadidos, omitidos u olvidados, acaso intencionadamente; generan ‘identidades’ que reconfiguran sentidos y significados en los cuales ‘sentimientos, afectos y lenguajes’ reconocen en las individualidades y talentos nuestras propias limitaciones, esperanzas y sueños de un mundo mejor

(Quintanilla, 2020). Finalmente, nos permite conectar la ciencia específica con tópicos y temas relevantes de cada disciplina, tales como los de género y también con saberes diferentes o complejos, integrando la natural interdependencia del conocimiento humano de una manera compleja, heurística y a la vez, más valiosa para el desarrollo del pensamiento, más interesante para la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia, así como para la formación del profesorado (Izquierdo, 2000; Alvarez Lires, 2024; Muñoz, 2017; Solsona *et al.*, 2019). Un ejemplo interesante de estas “subjetividades” es cómo inspirados y orientados por esta perspectiva podemos comprender también como la HQ promueve además del ‘pensar teórico’ el ‘pensar creativo’ sobre la producción del conocimiento científico (Quintanilla, 2022). Me referiré brevemente a ello en este último apartado.

4. Creatividad e historia de las ciencias

Los resultados o productos creativos en la HC derivan de complejos procesos que articulan la observación (experiencia) con las representaciones que tenemos del mundo (pensamiento/teorías) y los diferentes códigos o formas que empleamos para comunicarlos (lenguajes axiomatizados y heurísticos). Se trata de momentos privilegiados, genuinos, únicos y auténticos que emergen de la reflexión, curiosidad, ingenio, imaginación y motivación de hombres y mujeres que producen conocimiento científico en épocas determinadas con las teorías, instrumentos y lenguajes disponibles (Quintanilla & Solsona, 2019) y, qué duda cabe, en instantes particularmente enigmáticos de uno más de los apasionantes fenómenos de la cognición humana: la creatividad (Guevara, 1991; López, 2009).

Durante el siglo XX, la FC, argumentaba que los descubrimientos científicos se debían a un procedimiento lógico que seguía racionalmente pasos sistemáticos y ordenados de observación y registro. Uno de estos enfoques, particularmente emblemático y controversial, es el de Hanson (1985; citado por López, 2009), quien plantea que la invención y la creatividad son procesos de desarrollo más afines a la racionalidad que a la irracionalidad, teniendo, por consiguiente, mayor relación con la idea tradicional de ciencia y método científico (racionalismo categórico) que, con la actividad guiada por la inspiración o la imaginación, habitualmente atribuida a dimensiones artísticas. Mirada la creatividad como una dimensión que tributa al racionalismo moderado en la HQ, podemos identificar episodios de construcción del conocimiento científico que se alejan de estas definiciones racionalistas.

4.1 Historia de la química, August Kekulé y el benceno

Friedrich August Kekulé von Stradonitz, castellanizado como Augusto Kekulé (1829-1896), prominente químico orgánico alemán, desde la década de 1850 hasta su muerte es considerado uno de los principales fundadores de la Teoría de la Estructura Química. Su permanente motivación por la arquitectura de su tiempo y la

geometría, debe ser una de las posibles explicaciones a una de sus inspiraciones más conocidas en la historia de la química. El llamado ‘sueño de Kekulé’. En realidad, no fue un sueño, sino dos (Quintanilla, 2022). Kekulé recuerda que, en el primero de estos sueños, viajaba en la cubierta superior de un carruaje de caballos. En sus largas y extenuantes jornadas de investigación sobre química orgánica, le intrigaba a menudo el hecho de que existieran sustancias cuyas moléculas, aun teniendo una misma proporción de sus elementos, se empeñaban en mostrar propiedades físicas y químicas marcadamente disímiles. Al parecer, un sueño le permitió revelar la incógnita de su misterio científico (Rocke, 1985). Al llegar a su destino y ser despertado por el cochero, logró retener lo esencial de esta actividad onírica y, luego de una extenuante y fatigada noche, describir y explicar lo que hoy conocemos por isomería: la propiedad por la que dos o más compuestos de igual fórmula y proporciones relativas de los átomos, poseen cualidades químicas diferentes. Sin embargo, es quizá su segundo sueño el que ha quedado en la memoria universal de la historia de la química. En sus escritos, con un detalle extraordinario, Kekulé narra que sentado en su hogar y arrullado por el calor del fuego, mientras intentaba con escaso éxito avanzar en la escritura de un libro de texto de química orgánica, perdió la conciencia y luego escribió: *“Soñé con átomos que se encadenaban en largas hileras, que se emparejaban y retorcían ‘en un movimiento parecido a una serpiente’. Una de esas serpientes se había unido a su propia cola y la forma giraba con burla ante mis ojos”*⁴ (Rocke, 1985). Asombrado, al despertarse, se preguntó, ¿será posible que la estructura del benceno sea cíclica? Un tiempo después publicaba su modelo. Así, interpretó la visión para explicar, del modo más extraño y creativo que imaginaba, la estructura del benceno, en 1865 (descubierto por Faraday en 1825), como un ofidio mordiendo la cola, una cadena de seis átomos de carbono, cada uno con un hidrógeno anexo, unidos entre sí para formar un perfecto anillo hexagonal, pero no logró confirmar si esa sustancia con esta estructura era plana o no. Fue la química irlandesa, Kathleen Lonsdale, entre 1927 y 1929, seis décadas después, quien demostraría ingeniosamente que el derivado sólido del benceno tenía anillos planos. El benceno era una sustancia líquida, por lo que resultaba casi imposible determinar su estructura con las técnicas disponibles en su época. Tuvo una idea brillante, al preparar un derivado del benceno de mayor peso molecular, lo convirtió en un sólido y propuso finalmente la estructura que hoy conocemos de esta sustancia química (Moledo & Olszewicki, 2015; Muñoz, 2017; Strathern, 2000).

¿Qué reflexión hacemos de ‘los sueños’ del químico Kekulé y el racionalismo moderado de Mercé Izquierdo? Stenning y Van Lambalgen (citados por López, 2009), han investigado este episodio paradigmático de la HQ, respecto de los supuestos de Hanson (1985). Señalan que, a pesar de que soñar es, efectivamente, un proceso irracional (subconsciente en términos freudianos), Kekulé sólo pudo interpretar su

4 La traducción es responsabilidad del autor.

particular sueño como una señal para una hipótesis novedosa, diferente, creativa, porque se hallaba en un contexto específico de producción de conocimiento científico. Para López (2009), en esta historia, decir que Kekulé descubrió la estructura de la molécula del benceno gracias a un sueño es una verdad incompleta, puesto que quien soñó fue un químico con un conocimiento específico y disponible en su época y que únicamente en función de ello pudo aplicarlo para explicar sus hallazgos sobre química (Strathern, 2000). Este debate nos proporciona elementos interesantes, pues, la creatividad y la invención no dependen exclusivamente de las particularidades subjetivas de los individuos (inspiración, sueños, imaginación, originalidad, sensibilidad) sino de cómo nos representamos el conocimiento y somos capaces de modelizarlo teóricamente usando el pensamiento creativo como estrategia de aprendizaje y también de promoción de competencias de pensamiento científico (Izquierdo, Merino & Quintanilla (2014).

La HC y FC nos proporcionan recursos importantes para iniciar un diálogo fecundo e interesante de abordar desde la ciencia escolar, ofreciendo narraciones e historias que introducen a los estudiantes en una actividad científica llevada a cabo por personas “reales”, con sus propias motivaciones, valores, emociones, lenguajes y cultura... *con sus propios sueños* y expectativas; que vivieron disputas, intrigas, situaciones políticas controversiales y conflictos que influyeron en su trabajo; y también para inspirarles en la reconfiguración de sus teorías. Así, para Mercè Izquierdo, *como la poesía, el lenguaje de la química utiliza metáforas para explicar lo que aún no se conoce, pero se intuye. La creación de un lenguaje adecuado a algo nuevo que se quiere decir forma parte de la aventura de hacer química. Sorpresa, curiosidad, osadía, prudencia, imaginación, creatividad, poesía... quizás también el temor y la admiración, forman parte de la química y generan las emociones que hacen de ella una actividad plenamente humana, generadora de cultura* (Izquierdo, 2013, p.310).

5. Reflexiones finales

Al finalizar este capítulo, con estas ideas esclareceremos que la HC es necesaria y desafiante para la formación del profesorado de ciencias, pero consideramos que cuando esto se concrete en las acciones docentes reales del trabajo de aula fundamentadas en esta disciplina, es necesario hablar de un trabajo desde diferentes disciplinas que confluyen en torno a ellas. Por eso hablamos de multidisciplinariedad, ya que requiere la colaboración del profesorado de diferentes disciplinas (física, geología, biología, química, historia, lengua, etc.) y, además, de la HC. Su coordinación pertenece a la didáctica de las ciencias, ya que potencia la creación de islotes de racionalidad, en el sentido en que las disciplinas *se ponen de acuerdo* en contenidos, condiciones, ambientes y procesos educativos para generar mejores aprendizajes contextualizados y modelizados educativamente con finalidades profundamente humanas.

Este año, el 19 de noviembre exactamente, se cumplirán 27 años de la lectura de mi tesis doctoral que leí públicamente –recuerdo, con angustia– en el Auditorio de la Facultad de Educación de la Universidad Autónoma de Barcelona, Catalunya. La primera tesis doctoral orientada a un profesor latinoamericano por mi maestra y hasta hoy mentora y amiga, la Dra. Mercè Izquierdo i Aymerich, cuyo título definitivo fue decidido –yo diría, hoy– creativamente por ella algunos días antes de su ingreso a la imprenta: *Relación entre la construcción del experimento escrito y el desarrollo de la creatividad como estrategia de aprendizaje en el laboratorio escolar* (Quintanilla, 1997). Quién iba a imaginar que 27 años después recordaría con nostalgia y gratitud ese momento, mirándolo como dice ella *con lentes del pasado* e inspirándome en el recuerdo de un proceso de desarrollo profesional que sigue vivo. Sea pues, este capítulo, mi tributo a una persona profundamente humana que, con su abnegación y generosidad intelectual, se cruzó en mi camino académico y cambió para siempre el curso de mi propia historia a través de la historia de las ciencias. ¡Gracias, por tanto, querida Mercè!

Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Fondo de Cultura Económica.
- Alvarez-Lires, M. (2024) The History of Science in Science Teacher Education. In: *Science Teaching and a New Teacher Culture. Challenges and Opportunities*. Quintanilla, M. & Adúriz, A. (Eds.) Springer. 9, pp. 171-184.
- Aragón, F. (2004). *Historia de la Química*. Síntesis.
- Ávila, X. & Maturana, H. (2021). *La revolución reflexiva*. Paidós
- Bensaude, B. y Stengers, I. (1997). *Historia de la Química*. Addison-Wesley.
- Boido, G., & Lombardi, O. (2012). “Las relaciones entre la historia y la filosofía de la ciencia (Primera parte)”. *Exactamente*, (49): 39.
- Chamizo, J. A. (2010). *Historia y Filosofía de la Química. Aportes para la Enseñanza*. Siglo XXI.
- Chamizo, J. A. (2018). *Química General. Una aproximación histórica*. Ediciones UNAM.
- Chamizo, J. A. (2007). Las aportaciones de Toulmin a la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 25(1): 133–146.
- Cuellar, L., Quintanilla, M. & Marzabal, A. (2010). La importancia de la historia de la química en la enseñanza escolar: análisis del pensamiento y elaboración de material didáctico de profesores en formación. *Ciência & Educação*, Bauru, Vol. 16 (2) 277-291.
- Estany, A. (1993). *Modelos de cambio científico*. Editorial Crítica.
- Estany, A. & Izquierdo, M. (2001). Didactología: una ciencia de diseño. *ENDOXIA*, 1(14), 13–33. <https://doi.org/10.5944/endoxa.14.2001.5015>
- Estany, A. & Izquierdo, M. (1990). La evolución del concepto de afinidad analizada desde el modelo de S. Toulmin, *Llull* 13: 349-378.

- Galagovsky, L. (Coord.) (2008). *¿Qué tienen de “naturales” las Ciencias naturales?* Colección Las Ciencias Naturales y su Enseñanza. Editorial Biblos.
- Giere, R. (1992). What the cognitive study of science is not? En: Giere, R. (Ed.), *Cognitive Models of Science*, Minnesota: University of Minnesota Press, 481–484.
- Giere, R. (1994). The cognitive structure of scientific theories, *Philosophy of Science* 61, 276–296.
- Grapi, P., Caamaño, A. & Guitart, F. (2013). Història i Naturalesa de la Química. *Educació Química* 16, 4-9.
- Guevara, A. (1991). Creatividad y Ciencia. *Revista Mexicana de ciencias Políticas y Sociales*. Vol. 36 (144), 81-90.
- Hanson, N. (1985). *Patterns of discovery: An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge University Press.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2013b). School Chemistry: An Historical and Philosophical Approach. *Science & Education*, 22, 1633-1653.
- Izquierdo, M. (2013). La química ¿emociona? En V. Mellado, L. J. Blanco, A.B. Borrachero y J. A. Cárdenas (Eds.), *Las Emociones en la Enseñanza y el Aprendizaje de las Ciencias y las Matemáticas*, 13, 307-327.
- Izquierdo, M. (2007). “Enseñar ciencias. Una nueva ciencia”, *Enseñanza de las Ciencias Sociales* 6: 125– 138.
- Izquierdo, M. (2024). Chemistry for Citizenship. In: *Science Teaching and a New Teacher Culture. Challenges and Opportunities*. Quintanilla, M. & Adúriz, A. (Eds.) Springer. 6, 95-110
- Izquierdo, M. y Aliberas, J. (2004). *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències*. Barcelona: UAB.
- Izquierdo, M., García Martínez, A., Quintanilla Gatica, M. & Adúriz-Bravo, A. (2016). *Historia, Filosofía y Didáctica de las Ciencias: Aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. https://laboratoriogrecia.cl/wp-content/uploads/2016/09/historia_filosofia_y_didactica_de_las_ciencias_aportes_para_la_formacion_del_profesorado_de_ciencias.pdf
- Izquierdo M, Vallverdu J., Quintanilla M, Merino C. (2006) Relaciones Entre la Historia y la Filosofía de las Ciencias II. *Alambique*. 1(48):78-91.
- Izquierdo, M (2005) Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 111–122.
- Izquierdo M., Caamaño A. & Quintanilla M. (2007). *Investigar en Enseñanza de la química. Nuevos horizontes: modelizar y contextualizar*. Ediciones ICE-UAB,
- Izquierdo-Aymerich, M. (2000). Fundamentos epistemológicos, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*, 35-64. Alcoy: Marfil.
- Izquierdo, M. (1996). “Cognitive models of science and the teaching of science, history of science and curriculum”. En: *Proceedings of the Second ESERA Ph.D. Summer School*. Salónica: The Art of Text.
- Izquierdo, M., Merino, C. & Quintanilla, M. (2014). La re-construcción de un ‘hecho de vida’

- para enseñar a decidir y a argumentar en la clase de ciencias. En: *Las competencias de pensamiento científico desde las emociones, sonidos y voces del aula* (Quintanilla, M. (Coord.). 2, 31- 5.
- Kragh, H. (2007). *Introducción a la historia de la ciencia*. Crítica.
- Labarca, M., Quintanilla, M. & Izquierdo, M. (2022). “El problema del grupo 3 de la tabla periódica: su enseñanza mediante la argumentación y la explicación científica. Primera parte”, *Ciência & Educação (Bauru)* (28), e22013: 1-13.
- López, M. (2009). El sueño de Kekulé: ¿Es la creatividad el resultado del esfuerzo o de la inspiración? *Ciencia Cognitiva: Revista Electrónica de Divulgación*, 3:1, 27-29.
- Martínez, S. & Guillaumin, G. (2005). *Historia, filosofía y enseñanza de la ciencia*. UNAM.
- Matthews, M. (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. Routledge:
- Méheut, M. & Psillos, D. (2004). “Teaching-learning sequences aims and tools for science education research”. *International Journal of Science Education* 26 (5): 515-535.
- Moledo, L & Olszewicki (2015). *Historia de las ideas científicas*.
- Muñoz, A. (2017). *Sabias. La cara oculta de la ciencia*. Debate.
- Nieto, A. (2014). “Las ‘historias de la ciencia’ y sus adaptaciones a la enseñanza: Un debate abierto”. En: Quintanilla, M., Daza, S. y Cabrera Castillo, H. G. (eds.). *Historia y Filosofía de las Ciencias*. Cap. 3, 66-76.
- Perutz, M. (2002). *Los científicos, la ciencia y la humanidad*. Granica.
- Quintanilla, M. & Aduriz-Bravo, A. (2024). *Science Teaching and a New Teacher Culture. Challenges and Opportunities*. Sociocultural Explorations of Science Education 31. Springer.
- Quintanilla, M. (2023a). Historia de la química, filosofía de la química y didáctica de la química. Una triada virtuosa. En: *Introducción a la Filosofía de la Química*. Labarca, M. y Fortín S. (Eds). Cap. 11, 197-211. Bellaterra.
https://www.researchgate.net/publication/376981577_Introduccion_a_la_Filosofia_de_la_Quimica
- Quintanilla, M. (2023b). Racionalismo categórico y racionalismo moderado. Perspectivas, contradicciones y propuestas para la formación del profesorado y la enseñanza de la química En: *Introducción a la Filosofía de la Química*. Labarca, M y Fortín S. (Eds). Cap. 12, pp. 212-228.
- Quintanilla, M. (2022). Creatividad y enseñanza de las ciencias. Una mirada desde la historia de las ciencias. En: *Enseñanza de las Ciencias desde las Aulas Creativas*: Piriz, N., Noel, M., Tucci, J. Consejo de Formación en Educación, 3, 57-78.
<http://repositorio.cfe.edu.uy/123456789/2456>
- Quintanilla, M., Cabrera, H. & Zambrano, J. (2022). La historia y la filosofía de la química en la formación inicial del profesorado de química. *Educación Química*, 33(4).
- Quintanilla, M., Marzabal, A. & Merino, C. (2022). Química, ciudadanía y sociedad. Un desafío prometedor para la enseñanza de las ciencias en Chile. *Revista EduQ*, 30, pp. 41-48.
- Quintanilla, M. (2020). The History and Philosophy of Chemistry (HPC) in Teaching and in the Professional Development of Teachers. En: El-Hani, C.; Pietrocola, M.; Mortimer, E. F.

- y Otero, M. R. (Eds.), *Science Education Research in Latin America. Cultural and Historical Perspectives on Science Education: Handbooks*, Vol. 22 (7) 457-480.
- Quintanilla, M. & Solsona, N. (2019). *Mujeres, Educación y Ciencia en América Latina*. Bellaterra.
- Quintanilla, M. (2016). La historia de la ciencia en la investigación didáctica. Bellaterra.
https://laboratoriogrecia.cl/wp-content/uploads/2017/09/Libro-Historia_final_web-1.pdf
- Quintanilla, M., Daza, S. & Cabrera, H. (2014). *Historia y filosofía de la ciencia*. Bellaterra.
- Quintanilla, M., Solsona, N., García, A. & Álvarez, M. (2014). "Uso de la historia de la química como dispositivo teórico y praxeológico para promover competencias de pensamiento científico". En: Quintanilla, M. (Comp.). *Las competencias de pensamiento científico desde las emociones, sonidos y voces del aula*. 3, 53-96. Bellaterra.
- Quintanilla M., Izquierdo M. & Aduriz-Bravo A. (2005). Characteristics and Methodological Discussion About a Theoretical Model That Introduces the History of Science at An Early Stage of the Experimental Science Teacher's Professional Formation. *Science Education*. 2005:1-18.
- Regina, S., Gatti, T., Nardi, R. (2016). A história e a filosofia da Ciência no Ensino de -ciências. *Escrituras*.
- Rocke, A. J. (1985). Hypothesis and experiment in Kekulé's benzene theory. *Annals of Science*, 42, 355-381.
- Strathern, P. (2000). El sueño de Mendeléiev. Siglo Veintiuno.
- Solsona, N. (2024). Some Culinary Preparations as a Support to Work in the Chemistry Classrooms. In: *Science Teaching and a New Teacher Culture. Challenges and Opportunities*. Quintanilla, M., Adúriz, A. (eds.) Springer. 5, 72-84.
- Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana*.

Mercè Izquierdo: género, historia y enseñanza de las ciencias

Núria Solsona P.

Universidad Autónoma de Barcelona, España

nsolsona@xtec.cat

Resumen

El capítulo presenta una revisión de la relación entre la historia de la ciencia y el modelo de género, desde 1989 hasta 2024, con intencionalidad didáctica. A partir de las enseñanzas iniciales de Mercè Izquierdo sobre la historia de la química, se entrelazan los aprendizajes sobre la historia de las mujeres de Gerda Lerner (1920-2013), las epistemologías feministas y la perspectiva de género interseccional, con la incorporación de las experiencias y saberes de las mujeres. Sin olvidar las influencias que todo ello tiene en el modelo de ciencia.

Palabras clave: historia de la ciencia, género, historia de las mujeres, didáctica de las ciencias.

Introducción

Quizás porque formo parte de una familia extensa, siempre me ha gustado relatar la historia vivida, y participar en este libro de homenaje a Mercè Izquierdo pensé que era un buen momento para repensar la relación entre la historia de las ciencias y el modelo de género que hemos vivido juntas. En realidad, al hacer historia ordenamos unos hechos vividos por personas con puntos de vista diferentes, que provienen de entornos y momentos vitales y sociales distintos.

En este capítulo, transito desde los primeros pasos en la enseñanza de las ciencias con Mercè Izquierdo, en forma de reflexiones sobre la historia de la química, pasando por los primeros intentos de investigación didáctica y cómo fui incorporando la perspectiva de género, hasta llegar a los saberes científicos de las mujeres, la genealogía y la autoridad científica femeninas.

Primeros pasos en la historia de la ciencia

Si la memoria no me falla, mi primer contacto académico con la historia de la ciencia y con Mercè Izquierdo fue un curso en el Col.legi de Doctors i Llicenciats de

Barcelona, con el título *Lectures d'Història de la Química*, en 1989. Quedé impresionada por sus conocimientos, aprendí mucho y me abrió un camino desconocido, hasta entonces, para mí. Así mismo, su artículo "*La contribució de la teoria del flogiste a l'estructuració actual de la ciència química. Implicacions didàctiques*" (Izquierdo, 1988), me hizo reflexionar sobre el modelo de ciencia química que había aprendido en la Universidad. Mercè destaca en su artículo la contribución de la teoría del flogisto al trabajo científico de la época y resitúa la aportación de Lavoisier. Lo he releído varias veces.

En aquellos tiempos no conocíamos las palabras de Gerda Lerner (1920-2013), una historiadora norteamericana, que había escrito, en 1966, "A los cuarenta y seis años, .. pensé que tendría que influir en el mundo académico de diversas formas para que la Historia de las Mujeres fuera aceptada: mediante mi investigación y mis publicaciones; demostrando la existencia de fuentes; elevando el estatus de las mujeres en la profesión; probando que existía una demanda de cursos por parte del alumnado para, a partir de ahí, diseñar cursos y programas de posgrado. Hice todos estos planes en 1966, sin saber que en poco tiempo se materializaría un progreso espectacular gracias a la energía, la tenacidad y la creatividad de los movimientos de mujeres y de los Estudios de las Mujeres [...]."

Para impulsar un modelo de ciencia inclusivo, empecé a buscar autoras, partiendo de la idea de que la química y la cocina son dos escenarios semejantes. Efectivamente encontré muchas mujeres en la alquimia y en la química. Más tarde, en 1999, viajamos con Mercè a Utrecht para presentar nuestras reflexiones sobre lo que es una teoría científica, cómo funciona y cómo el alumnado cree que los modelos teóricos surgen directamente de la realidad, en torno al modelo cognitivo de ciencia aplicado al cambio químico (Izquierdo & Solsona, 1999).

Simultáneamente, con un grupo de profesoras de ciencias experimentales elaboramos una primera mirada no sexista a las clases de Ciencias. Abordamos los cambios en el concepto de ciencia, según las corrientes críticas de la filosofía de la ciencia, analizándola de manera más amplia, matizada y menos dogmática. Y nos extrañaba que en los años sesenta, en países como Inglaterra y EE.UU., se propusiera que las chicas cambiaran para adaptarse a la ciencia, entendida como una actividad objetiva, neutral y positivista. También había una corriente que proponía hacer una ciencia "amable" para las chicas. Hoy pueden parecer extrañas estas ideas de hacer una ciencia *friendly* por las chicas, pero no es inútil recordarlo, por si cambian los aires y los sectores contrarios al feminismo quieren recuperarla.

Investigaciones y saberes

La investigación en didáctica de las ciencias experimentales sigue la consideración que el conocimiento científico se construye mediante el establecimiento de una

relación de similitud entre un hecho y el modelo que lo interpreta (Giere, 1988). Desde una perspectiva feminista interseccional, necesitamos considerar los hechos científicos que forman parte de la cultura femenina y que conforman los saberes científicos de las mujeres.

La mayoría de los enfoques socio-constructivistas sobre el aprendizaje y los procesos cognitivos implicados, no consideran el modelo de género. Es decir, trabajan con el implícito de la existencia de mujeres y hombres estudiantes, como sujetos asexuados. Esto comporta trabajar, pensar y diseñar actividades para un sujeto universal inexistente. Las y los profesionales de la educación científica tienen tan interiorizada una supuesta homogeneidad de sexos, a un nivel de representación profunda, que no ven las diferencias sexuales en el proceso de aprendizaje. Es necesario incorporar el modelo de género para verlas.

La educación es la única institución social que puede proporcionar referentes emocionales, culturales y sociales a estudiantes que viven realidades personales y cotidianas diversas. La institución educativa es un elemento clave, aunque no la única, para ofrecer modelos de masculinidad y feminidad distintos de los arquetipos actuales. Para ello es fundamental recuperar, comprender y aprender de las prácticas, las experiencias y los saberes de las mujeres a lo largo de la historia.

Las mujeres han accedido al conocimiento de formas diversas a través de los siglos, y en diferentes campos, pero el discurso dominante indica que han sido excluidas de la ciencia. En general, la reflexión sobre las mujeres y el acceso al conocimiento científico se ha centrado en la crítica al androcentrismo en la ciencia, a señalar las dificultades que han tenido las mujeres para que se reconozcan sus aportaciones y a la recuperación de figuras de éxito que se han ido identificando. El androcentrismo consiste, fundamentalmente, en una determinada y parcial visión del mundo, que considera que lo que han hecho los hombres es lo que ha hecho la humanidad o, al revés, que todo lo que ha hecho la especie humana lo han realizado solo hombres. Al recuperar y visibilizar las relaciones entre las mujeres y la ciencia, cuestionamos el núcleo central de la ciencia y contribuimos a modificar el modelo de ciencia (Solsona & Quintanilla, 2019, p.15).

Si la participación de las mujeres en la historia no ha sido igual a la de los hombres, tampoco puede ser analizada de la misma forma (Solsona, 2014). Para recuperar los saberes ancestrales de las mujeres y los grupos minorizados a lo largo de la historia, desde el inicio de las civilizaciones, necesitamos trabajar con un modelo de ciencia que incluya no sólo las disciplinas académicas, sino también los “saberes y conocimientos” construidos desde el inicio de las civilizaciones y para ello es necesario un cambio epistemológico que no es fácil de realizar. Por ejemplo, hoy hablamos de epistemologías feministas, que cuestionan la existencia del sujeto universal, ya que reclaman la condición de sujeto para las mujeres.

Sandra Harding defiende la epistemología del punto de vista que –“sostiene que la posición dominante de los hombres en la vida social se traduce en un conocimiento parcial y perverso, mientras que la posición subyugada de las mujeres abre la posibilidad de un conocimiento más completo y menos perverso. El feminismo y el movimiento de la mujer aportan la teoría y la motivación para la investigación y la lucha política que puedan transformar la perspectiva de las mujeres en un "punto de vista" –un fundamento, moral y científicamente preferible–, para nuestras interpretaciones y explicaciones de la naturaleza y la vida social. Las críticas feministas de las ciencias sociales y naturales, con independencia de que las expresen mujeres u hombres, se basan en las características universales de la experiencia de las mujeres, tal como se entienden desde la perspectiva del feminismo (Harding, 1996). Por otro lado, el conocimiento situado de Donna Haraway (1989) reclama una doctrina de la objetividad encarnada con una localización limitada y conocimientos situados. La cuestión de la ciencia en el feminismo trata la objetividad como una racionalidad posicionada.

Además, las investigaciones sobre las concepciones del profesorado en torno a la ciencia señalan que transmite una imagen deformada del conocimiento y del trabajo científico, es decir no la consideran una construcción social. Una perspectiva feminista de la ciencia nos enfrenta a la tarea de examinar las raíces, la dinámica y las consecuencias de la red interactiva de asociaciones y disyunciones, que se entrelazan en lo que Evelyn F. Keller (1985) denomina "sistema género-ciencia". También nos lleva a preguntar cómo se informan entre sí el modelo de género y el de la ciencia en su construcción mutua, en nuestras distribuciones sociales, y cómo afecta a los hombres y a las mujeres, a la ciencia y a la naturaleza.

Una perspectiva de género en didáctica de las ciencias

Para neutralizar el androcentrismo presente en las aulas de ciencias, es necesario centrarse en las mujeres, como opción metodológica e innovadora (Lerner, 1986). Ello conlleva romper la resistencia actual a trabajar la didáctica de las ciencias con perspectiva de género interseccional, que valora las diferencias de clase, origen social y etnia, entre otras. Para analizar las diferencias y similitudes que presentan las niñas y las chicas adolescentes en el proceso de aprendizaje hay una serie de factores que se han estudiado insuficientemente y por lo tanto no hay evidencias ni consenso sobre una educación científica para la diversidad. Bian, Leslie & Cimpian (2017) muestran la emergencia del estereotipo asociado a los niños con la masculinidad/brillantez y sus efectos desde la pequeña infancia. Este estereotipo, no desaparece en la adultez, se incrementa e incorpora los sesgos étnicos y socioeconómicos, entre otros. Por otro lado, hay que abordar las estructuras de acogida de las chicas, por sí, al tener experiencias y habilidades previas diferenciales en ciencias y tecnología, no se tuvieran en cuenta. Los contextos de aprendizaje deben tener en cuenta las

llamadas tradicionalmente culturas femenina y masculina, para hacer frente al inferior rendimiento escolar, las actitudes menos favorables y las tasas de elección de carreras tecnológicas más bajas de las chicas.

Además, hay que considerar la importancia de la autoestima, ya que muchas investigaciones indican que a lo largo de la vida es más baja en las niñas y las chicas adolescentes, debido a la socialización diferencial recibida. La autoestima está relacionada con la autoeficacia o percepción de la capacidad de realizar una tarea determinada, que a su vez se relaciona con el «miedo al fracaso». Se observa que muchas chicas tienen más miedo al fracaso que sus homólogos chicos, independientemente de otras variables, y particularmente las chicas con buenos resultados. El «miedo al fracaso» es la variable más sesgada por el género en todos los Informes PISA. También se observa un grupo de chicos con sesgos de género muy estereotipados, que evitan actividades y juegos femeninos, y que identifican el éxito educativo como femenino.

Un ejemplo de la situación en Catalunya, respecto a los factores que influyen en la elección de estudios de chicas y chicos, queda recogida en el Informe Everis (2012), que indica que “se detectan estereotipos/modelos negativos de género en relación a las mujeres y la tecnología”, “las chicas se decantan mucho más por estudios no relacionados con Ciencias, Tecnología, matemáticas con una diferencia de 14 puntos porcentuales”, “la combinación del nivel sociocultural con el género resulta demoledora en el caso de chicas de entornos socioculturales de nivel bajo”.

En Catalunya, se observa un fenómeno curioso con la presencia de las mujeres en estudios técnicos y científicos: a pesar de su aumento en el bachillerato, se invierte su proporción en carreras científicas y tecnológicas en los últimos años. Se observa que las chicas con notas superiores a las de los chicos no continúan con carreras científico-tecnológicas porque sus competencias tecnológicas han sido cuestionadas, a través de la presión social y familiar. La literatura identifica sesgos de género importantes, aumentados por características socioeconómicas y socioculturales, en el ámbito Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) (Grimalt-Alvaro & Couso 2021; 2022). La creencia de que las salidas profesionales en esta área son fundamentalmente masculinas, perpetúa los estereotipos de género e influye en la elección de carrera.

Por otro lado, las investigaciones relativas al pensamiento predominante (abstracto, holístico, etc.), las interacciones entre el profesorado y el alumnado (Espinoza, 2016), la capacidad de razonamiento formal y el desarrollo del trabajo experimental con perspectiva de género arrojan resultados diversos de las chicas respecto a los chicos, que no son tenidas en cuenta por parte del profesorado, tanto por mujeres como por hombres. La persistencia de estereotipos sexistas en el profesorado y de expectativas más bajas respecto a las chicas y otros grupos minoritarios, tanto por

parte de mujeres como de hombres, provoca sesgos en la evaluación. Breda & Ly (2012) han observado que la discriminación en la evaluación en educación superior depende del grado de identificación del profesor o profesora con la masculinidad hegemónica.

Dado que la realidad educativa y social es tan cambiante y tan diferente según los países, para conocer y poder implementar políticas públicas con perspectiva de género es necesario impulsar estudios de género en todos los países y niveles educativos, y replicar las investigaciones realizadas.

Mujeres y saberes

Los saberes científicos de las mujeres han sido de dos clases: unos que coincidían con las áreas de conocimiento desarrolladas por las tradiciones científicas o la ciencia, en cada momento histórico, y otros que se han desarrollado en las esferas de influencia femenina y han sido indispensables para el sostenimiento de la vida (Solsona, 2024a). Los saberes científicos de las mujeres, relacionados con el cuidado, son implícitos, a veces inconscientes; y son subjetivos, es decir, toman en consideración el punto de vista de las personas. Están referidos al mesocosmos y se articulan con relaciones no lógicas: utilizan un razonamiento de causalidad compleja y constituyen una trama de relaciones que dan significado a la acción. Dependen del contexto físico y en ellos los valores son centrales (Solsona, 2024b).

Me interesa analizar el caso de dos mujeres bien distintas, de dos épocas relevantes de la historia de la ciencia. Anne Marie Paulze-Lavoisier (1771-1836), fue una mujer fundamental en el nacimiento de lo que hoy se considera la química moderna, y Rosa Sensat i Vilà (1873-1961) fue una pedagoga y educadora que contribuyó a la educación científica de las amas de casa, relacionando los saberes del hogar con su fundamentación científica.

Francesca Antonelli (2022) señala que Anne Marie Paulze-Lavoisier realizó una labor imprescindible en los laboratorios del Arsenal de París, utilizando la campaña por la nueva química para aparecer como actriz visible en los círculos científicos de la época. Además del *Essai sur le Phlogistique*, traducción del original de Richard Kirwan, las publicaciones oficiales de Paulze-Lavoisier ascienden a un número bastante reducido. Siempre se mostró reacia a publicar bajo su propio nombre, probablemente consciente del riesgo de rechazo social para una autora en la Francia del siglo XVIII. De hecho, las ambiciones de las mujeres, en este terreno, fueron severamente castigadas, especialmente cuando tomaron la forma de publicación. Incluso se llegaba al extremo de considerar como antinatural para las mujeres el esfuerzo intelectual necesario para actividades científicas o filosóficas. Las llamadas “femmes savantes” (“damas cultas”), por ejemplo, eran típicamente vistas como

seres “ambiguos” o incluso “monstruosos”, cuya actividad subvertía peligrosamente los roles de género y, más ampliamente, el orden social.

El carácter modesto que Paulze-Lavoisier se atribuía a sí misma, coexistía con lo que hoy calificaríamos como un decidido deseo de ser reconocida por sus contemporáneos como protagonista crucial en los proyectos de Lavoisier. El doble retrato de los esposos Lavoisier, realizado por Jacques-Louis David en 1788, es un ejemplo revelador. Encargado por la pareja y, por tanto, realizado bajo su supervisión directa, este bello cuadro otorga a Paulze-Lavoisier un papel muy visible, casi dominante si se compara con el de su marido (Fig. 1). Estos detalles resultan aún más significativos si consideramos la versión final del cuadro, en la que los Lavoisier, tras ser dibujados inicialmente por David, simplemente como una pareja de la alta burguesía francesa, pasaron a ser representados, ante todo, como dos colaboradores casados, que trabajaban en el proyecto de la nueva química.



Figura 1. Doble retrato de los esposos Lavoisier.

La campaña de Lavoisier a favor de la nueva química fue apropiada por Paulze-Lavoisier para construir su propia reputación como asociada científica y aparecer como una actriz visible en el grupo de su marido. A pesar de su cautela a la hora de publicar, no actuó como uno de esos “ayudantes invisibles” y “técnicos” que, a principios de la modernidad, trabajaban junto a los sabios y los filósofos naturales sin recibir ningún crédito entre sus contemporáneos. Por el contrario, en más de una ocasión, el papel de Paulze-Lavoisier en los proyectos de Antonine Laurent Lavoisier fue reconocido y elogiado por su marido y sus colegas.

El conjunto de prácticas en las que participó incluye la traducción, la confección de los cuadernos de laboratorio y las ilustraciones de los textos químicos. Su contribución fue mucho más compleja, e incluyó un tipo particular de escritura cuyo objetivo principal no era necesariamente la publicación, sino el almacenamiento de información para su uso posterior. Estos registros, que acabaron produciendo una parte importante de lo que hoy consideramos como los trabajos científicos de Lavoisier, incluidos sus cuadernos de laboratorio, fueron en muchos aspectos el núcleo de su colaboración con el químico francés.

Por ejemplo, ella describe que “Las obras de diferentes autores [...] se me presentaron como porciones separadas de una gran cadena; se han unido algunos enlaces, pero quedan muchas experiencias a realizar para darle una continuidad”. AAS, Fondo Lavoisier, Registro de laboratorio” n. 1, f. 3r.

“Esta forma de considerar mi objeto me hizo sentir la necesidad de repetir primero y multiplicar las experiencias que absorben aire para conocer el origen de esta sustancia y poder seguir sus efectos en todas las diferentes combinaciones. Las operaciones mediante las cuales podemos lograr la fijación del aire son la vegetación, la respiración de los animales, la combustión, en algunas circunstancias la calcinación y finalmente algunas combinaciones químicas. Creo que debo empezar con estas experiencias”. Ivi, f. 4r (Antonelli, 2022).

En los catorce cuadernos de laboratorio realizados entre 1772 y 1788, un período de gran actividad de Lavoisier y Paulze-Lavoisier, hay una gran cantidad de experimentos caseros que formaban parte de un proyecto. Son muy variados, pero en los *Registres* escritos por Paulze hay una selección. Tienen la función de depósito de información progresiva para poder consultarlos posteriormente y para que duren mucho tiempo: papel y religado óptimos ex-libris, representando el escudo de Lavoisier, en la contraportada de algunos.

Un caso bien distinto de Anne-Marie Paulze-Lavoisier es Rosa Sensat i Vilà (1873-1961). Su libro más conocido de divulgación científica dirigido a las amas de casa lleva el título de “*Les ciències en la vida de la llar*” (1923), donde desarrolla un conjunto de lecciones de Ciencias (Física, Química, Biología y Geología) para dar fundamentación científica a las tareas desarrolladas por las mujeres en el hogar. Pero, anteriormente, en el año 1900, en sus programas para el 2º curso del Grado elemental de la Escuela Normal de Maestras de Alicante (España), ya demuestra un buen manejo de los modelos científicos *avant la lettre*. Se puede observar en la importancia que concede a los experimentos a realizar, las aplicaciones de los modelos que estudia y la comparación por ejemplo del modelo sólido-líquido-gas con el modelo de cambio químico (Solsona & Izquierdo, 1998). El programa de 1900 es el siguiente:

Física. Lección 1ª. Los tres estados de los cuerpos como resultado de la cohesión y el calórico. Estado sólido, estado líquido y estado gaseoso. Observar en un cuerpo cualquiera los cambios de estado. El hielo, el agua y el vapor acuoso... Constitución íntima de la materia.

Lección 3ª. Las máquinas transforman las fuerzas. Máquinas simples. Palanca, polea, torno, plano inclinado. Tornillo, cuña. Transmisión de la fuerza a distancia. Rozamiento. El freno de los carruajes. Las grasas, aceites y otras sustancias en las máquinas...

Química. Lección 11ª. Cuerpos simples y cuerpos compuestos. Probar por experimentos la diferencia entre una mezcla y una disolución. Por medio de una disolución y una reacción cualquiera, hacer notar la diferencia entre un fenómeno físico y un fenómeno químico. Descomposición del agua por medio de una pila y modo de recoger los gases que la forman. Observación de las propiedades del hidrógeno. Ligero, combustible y detonante...

Las recetas culinarias y farmacéuticas forman parte de la historia de las diferentes culturas y han sido una de las formas escritas privilegiadas por las mujeres para transmitir sus conocimientos (Solsona, 2013; Solsona & Izquierdo, 2003). Utilizar textos escritos de carácter científico, ya sea recetas, descripciones de experimentos, programas de aula de autoras femeninas, cartas y blocs de notas, contribuye a ampliar y modificar el modelo de ciencia en las aulas.

Genealogía y autoridad científica femeninas

La reflexión desde el feminismo sobre las aportaciones científicas de las mujeres a lo largo de la historia se apoya en dos conceptos básicos: la autoridad y la genealogía científicas femeninas. Si se profundiza un poco en la historia de la ciencia, se observa cómo existieron mujeres con autoridad científica en su época, cuyas contribuciones han sido canceladas por la historia. La autoridad no debe confundirse con el poder. La autoridad, entendida como mediación viva, capacidad de contratación, figura del intercambio y medida de sí en relación con el mundo (Muraro, 1984), como capacidad para hacer crecer es un concepto vital para escribir la historia de las ciencias.

Como propone Women's Legacy Project, es necesario no presentar a las científicas de forma aislada; hay que establecer una línea de continuidad siguiendo los contextos de creación femenina que se han producido a lo largo de la historia, citando sus antecesoras, las contemporáneas y las herederas de las aportaciones realizadas por una autora.

Por ejemplo, Marie Skłodowska Curie fue precedida por las alquimistas anteriores al siglo XVII, entre ellas Marie le Jars de Gournay (1565-1645) y Marie Meurdrac (1610-

1680); y por la inglesa Katherine Boyle Lady Ranelagh (1615-1691). Algunas contemporáneas fueron Laura Bassi (1711-1778), la salonnière Madame du Deffand (1687-1780) y Madame Claudine Picardet (1735-1820), pionera de la traducción científica; así como también Jane Marcet (1769-1858) y Elizabeth Fulhame, de la que solo se conoce su nombre y el libro que publicó en 1794. Otras importantes científicas de la época son la matemática y científica Mary Fairfax Sommerville (1780-1872), la astrónoma Caroline Herschel o la matemática Maria Gaetana Agnesi.

Algunas científicas herederas de esta época son las pioneras inglesas en la química Ida Freund (1863-1914), Rose Stern (1869-1953), Kathleen Culhane Lathbury (1900-1993) y Frances Buss (1827-1894). Marie-Sklodowska Curie (1867-1934) y la genealogía que trabajó con la radioactividad y los elementos de la tabla periódica. Su hija Irene Joliot-Curie (1897-1956), física, química, política, activista antifascista y feminista francesa, galardonada junto a su marido con el premio Nobel de Química en 1935 por descubrir la radioactividad inducida y la radioactividad artificial; Marguerite Perey (1909-1975), llamada "la hija de Marie Curie, física francesa, quien descubrió el elemento francio al purificar muestras de lantano que contenían actinio; Ida Noddack (1896-1978), cuyo nombre de soltera era Ida Eva Tacke, química y física alemana, primera científica en mencionar la idea de la fisión nuclear; Lise Meitner (1878-1968), científica austriaca que contribuyó a los descubrimientos del elemento protactinio y la fisión nuclear; Chien-Shiung Wu (1912-1997), física estadounidense nacida en China, experta en radioactividad. Rosalind Elsie Franklin (1920-1958), química y cristalógrafa británica, cuyo trabajo fue fundamental para la comprensión de las estructuras moleculares del ADN, el ARN, los virus, el carbón y el grafito. Igualmente, contemporánea de la ingeniera, matemática, física inglesa Hertha Ayrton (1854-1923).

Otras científicas herederas de esta época son Marietta Blau (1894-1970), Emmy Noether (1882-1935), Marie Goeppert-Mayer (1906-1972), Hilda Geiringer (1893-1973), Stefanie Horovitz (1877-1942), Ellen Gleditsch (1879-1968), Ada Florence Remfry Hitchins (1891-1972), Elizabeth Rona (1890-1981), Harriet Brooks (1876-1933) y Alice Hamilton (1869-1970), médica e investigadora estadounidense, conocida por su trabajo en el campo de salud ocupacional.

Conclusiones

No podemos seguir ofreciendo a nuestros estudiantes un modelo de ciencia que recoja sólo las aportaciones de los hombres a lo largo de la historia, porque corresponde a una visión dogmática y anticuada de la ciencia que no compartimos. Tampoco podemos seguir ignorando la existencia, en nuestras aulas, de mujeres y hombres estudiantes que llegan a las situaciones de aprendizaje con bagajes diferenciales, con experiencias previas y contextos de aprendizaje diversos en cada una de ellas y ellos. Estas estructuras previas diferentes, comportan perfiles

cognitivos diferenciales durante el aprendizaje, en algunos casos más holísticos y en otros predomina la capacidad de abstracción.

A la lectura del artículo sobre el calórico de Mercè Izquierdo (1988), que resitúa las aportaciones de Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), hoy podemos añadir a ellas el rol científico de su esposa Marie Anne Paulze-Lavoisier (1758-1836), investigado por Francesca Antonelli (2022), treinta cuatro años después. La historia de la ciencia con enfoque de género avanza lenta, pero decidida.

A partir de las enseñanzas de Mercè Izquierdo en la historia de la ciencia, he llegado a redefinir y resignificar la historia de la alquimia, con Marie Meurdrac y su *Chymie charitable et facile en faveur des dames* (1666); a Marie Fouquet (1590-1681) y sus *Obras Medico Chirurgicas* (Solsona, 2014), a profundizar en los *Libros de Secretos* de Isabella Cortese; a relacionar a Margaret Cavendish con Katherine Boyle (Solsona, 2021b); y tantas otras autoras, como Marie Sklodowska Curie (1867-1937), para saber qué hay detrás de la leyenda. Seguiremos investigando a Madame d'Arconville (1720-1805), a María Antonia Gutiérrez Bueno (1781-1874) y las tradiciones colectivas de mujeres.

Finalmente, quiero recordar mi último encuentro con Mercè, en enero de 2024, donde mostré mi extrañeza con el hecho de que Rosa Sensat hablara del calórico, en su Programa de Física, Química e Historia Natural de 1900, para la Escuela Normal de Maestros de Alicante. Una vez más me ayudó a entender que la sustancialización es una explicación útil para comprender los fenómenos del calor y la energía.

Me gusta recordar los inicios de mi formación en Didáctica de las Ciencias, en 1990, donde aprendí tanto con Mercè Izquierdo. Fue mi mentora y me gusta recordarlo. Las sesiones de trabajo en la Universidad Autónoma de Barcelona o en casa de Mercè para discutir la tesis no se borrarán de mi memoria. He sido inmensamente afortunada de coincidir con Mercè en tantos espacios didácticos que recuerdo con gratitud, y espero que ella también lo recuerde así. Fue mi primera profesora de Historia de la Ciencia y no ha cesado de enseñarme.

Referencias bibliográficas

- Antonelli, F. (2022). *Scrivere e sperimentare. Marie-Anne Paulze-Lavoisier, segretaria della "nuova chimica" (1771-1836)*. Roma, Viella doi:10.52056/9791254693018
- Bian, L.; Leslie, S.; Cimpiani, A. (2017). Gender stereotypes about intellectual ability emerge early and influence children's interests.
- Breda, T. &Thierry Ly, S. (2012). Do Professors Really Perpetuate the Gender Gap in Science? Evidence from a Natural Experiment in a French Higher Education Institution. London, Centre for the Economics of Education. London School of Economics.

- Espinoza, A. M. & Taut, S. (2016). El Rol del Género en las Interacciones Pedagógicas de Aulas de Matemática Chilenas. *Psykhé*, vol.25 (2) Santiago, 2016.
- Giere, R & Herebrt, F. (ed.). *Cognitive Models of Science*. University of Minnesota Pres.
- Haraway, D. J. (1995). *Ciencia, cyborgs y mujeres. La reinención de la naturaleza*. Madrid, Cátedra.
- Harding, S. (1996). *Ciencia y feminismo*. Madrid, Morata.
- Informe Everis (2012). Factores influyentes en la elección de estudios científicos, tecnológicos y matemáticos. Visión de los estudiantes de 3º y 4º de ESO y Bachillerato https://www.girlsgonna.com/embed/2c55074d76e7da295727eeb4e1aaf540fd393861651602413/estudiovocaciones_factores_influyentes.pdf (acceso 13/02/2024).
- Izquierdo, M. (1988). La contribución de la teoría del flogisto a l'estructuració actual de la ciencia química. *Implicacions didàctiques, Enseñanza de las Ciencias*, 67-74.
- Izquierdo, M. (1994). *Cognitive Models of Science and the Teaching of Science, History of Science and Curriculum*. Proceedings of Second European Summer School on Research in Science Education. The Art of Text, Thessaloniki.
- Izquierdo, M. & Solsona, N. (1999). The case of teaching and learning the concept of chemical change, in O. de Jong y otros (ed.) *Bridging the gap between theory and practice*, p. 111-126. Utrecht, CSME.
- Keller, E. (1985). *Reflexiones sobre género y ciencia*. Valencia, Alfons el Magnànim.
- Lerner, G. (1986). *La creación del patriarcado*. Barcelona, Crítica.
- Lerner, G. (1979). "Autobiographical notes, as a way to an Introduction". En: *The Majority Finds Its Past. Placing Women in History*. Oxford, Oxford University Press, pp.
- Muraro, L. (1994) "Autoridad sin monumentos". *Duoda: estudis de la diferència sexual*, 7, p. 86-100.
- Sensat i Vilà, R. (1923). *Les ciències en la vida de la llar*. Barcelona, Altafulla.
- Solsona Pairó, N. (2013). L'ús de textos de la història de la química d'autoria femenina a classe. *Educació Química*, 16, 38-46.
- Solsona Pairó, N. (2014). Las Mujeres en la Historia de la Ciencia, en Quintanilla, M (ed) *Historia y filosofía de la ciencia*. Santiago de Chile, Bellaterra, 155-177.
- Solsona Pairó, N. (2021). Vidas cruzadas: Margaret Cavendish y Katherine Boyle en el siglo XVII, en Pessina Itriago, María M, Castañeda Rentería, Liliana Ibeth (ed) *Análisis y reflexiones sobre la Ciencia, Tecnología y Género en Iberoamérica* Tomo 1, p. 133-145.
- Solsona Pairó, N. (2024a). *La coeducació des dels ajuntaments*. Barcelona. Diputació de Barcelona.
- Solsona Pairó, N. (2024b). Some culinary Preparations as a Suport to Work in the Chemistry Classroom, in Quintanilla & Aduriz (ed) *Science Teaching and a New Teacher Culture*, Suiza, Springer, <https://doi.org/10.1007/978-3-031-50004-6> p. 71-94
- Solsona, N. & Izquierdo, M. (1998). La construcción del concepto de cambio químico. Los modelos teóricos, un instrumento para su análisis, en Banet y de Pro (coords). *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*, 327 -335. Murcia.

Solsona, N. & Izquierdo, M. (2003). El uso de la explicación en una receta de cocina científica. *Investigación en la Escuela*, 49, 79 -88.

Solsona Pairó, N. & Quintanilla-Gatica, M. (2019). Presentación, en Quintanilla-Gatica, M. & Solsona Pairó, N. (ed). *Mujeres, Educación y Ciencia en América Latina*, Santiago de Chile, Bellaterra.

Women's Legacy Project <https://womenslegacyproject.eu/ca/recursos/index>

El sistema cognitivo humano y la retórica de los libros de texto universitarios

Edwin García

Universidad del Valle, Colombia
edwin.garcia@correounivalle.edu.co

Resumen

El presente capítulo recoge aspectos fundamentales del doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales, sobre la estructura retórica de los textos universitarios de enseñanza de la física, particularmente, los temas de electricidad estática y las formas de comunicación de la electricidad, bajo la dirección de la Doctora Mercè Izquierdo Aymerich. Se parte de la tesis sobre el sistema cognitivo humano y se integra con los trabajos sobre la estructura retórica, y se aplican en el análisis de los textos universitarios de física. Como resultado, se encuentra una clara tendencia de los textos hacia una retórica apodíctica que afecta negativamente los procesos de comprensión conceptual y experimental de la física en la formación de profesores de física.

Introducción

La Didáctica de las Ciencias considera importante que el docente debe reconocer una imagen de la ciencia que oriente los modos de ver y relacionarse con la realidad que enseña, ya que el concepto de realidad está inmerso en la cultura y las formas o modos de ver de los estudiantes que responden a ella. Arca, Mazzoli & Guidoni (1990) sugieren que el conocimiento científico es una actividad que, como todas las demás actividades, debe ser apropiado por la cultura de los pueblos para ser transformada por ellos. De allí que: “nada se puede transferir a una cultura sin que sea transformado por ella”.

En este sentido cuando se enseña ciencia, se debe reconocer la intencionalidad de quien enseña y el contexto de quien aprende; la mejor intencionalidad es la que tiene en cuenta tres aspectos fundamentales de la cognición: el conocimiento, el lenguaje y la experiencia. Al respecto, dichos autores mencionan que: *“Es preciso darse cuenta de que la “educación científica” significa el desarrollo de modos de observar la realidad y los modos de relacionarse con ella; esto implica y supone los*

modos de pensar, los modos de hablar y los modos de hacer, pero sobre todo la capacidad de juntar todos estos aspectos”.

Es importante para el docente formarse un concepto sobre la realidad, puesto que el conocimiento científico y su enseñanza están relacionados con la forma en cómo hacemos lectura de esa realidad. Esto, por supuesto, implica poner en juego esos modos de pensar, hablar y actuar, por parte del docente. Pensar la actividad científica es mucho más que dar información sobre ella, no basta con describir las leyes y fórmulas matemáticas, se requiere interpretar, analizar y cuestionar los fenómenos objeto de estudio y de enseñanza. Aquí, el lenguaje se vuelve fundamental, en tanto eje articulador de la comunicación entre el docente y el estudiante; los modos de hablar acercan o alejan al estudiante de la comprensión del conocimiento científico y pone al profesor con una determinada retórica positiva o negativa.

Los libros de texto suelen ser utilizados como apoyo para enseñar física, pero a veces desconocen la retórica que los autores utilizan en ellos. Es precisamente desde un análisis del sistema cognitivo, que avanzamos en caracterizar la retórica presente en los mensajes que expresan los libros de texto utilizados por los docentes, para la enseñanza de la física en el nivel universitario.

El sistema cognitivo humano

Los aportes que recibe la Didáctica de las Ciencias de otras disciplinas científicas le permiten replantear los problemas que usualmente aborda y darles nuevas interpretaciones y posibles soluciones. Si bien, el problema de la enseñanza de la física es considerado desde diferentes frentes, pocos son los trabajos que centran su atención en la estructura retórica de la enseñanza. En este sentido creemos junto con Arca, Mazzoli & Guidoni (1990), que un aspecto central de la enseñanza de las ciencias se ubica en la comunicabilidad del conocimiento. Los seres humanos nos comunicamos a través de gestos, palabras o escritos, es decir somos multimodales (Márquez, Izquierdo & Espinet 2003). Entonces una buena comunicación presupone una buena retórica que tenga en cuenta relaciones de coherencia entre el conocimiento (lo que se piensa), la experiencia (lo que se hace) y el lenguaje (lo que se dice) (Izquierdo & Rivera 1997). Al respecto, Arca, Mazzoli & Guidoni (1990) opinan que: *“A partir del nivel de la experiencia y a través de un lenguaje hecho de palabras y de representaciones, se puede construir lo que llamamos conocimiento. Tanto la experiencia como el lenguaje no se identifican solo con el hecho individual ni con las palabras que lo describen, también es comunicable a otras personas, que se puede extender a otros hechos y modificar como consecuencia de otras experiencias, que puede ponerse siempre en juego”.*

Una buena comunicación implica tener presente estos tres aspectos de forma integral; no se puede configurar un conocimiento si no se dispone de un lenguaje para hacerlo, no se puede hablar de algo de lo cual no tenemos ninguna experiencia y no se puede construir un lenguaje a partir de algo que desconocemos. Es importante considerar que dicha relación no corresponde a relaciones de jerarquía, es decir, uno más importante que otro, los tres se deben dar simultáneamente de una forma cíclica. En este sentido, Arca y Mazzoli & Guidoni (1990) afirman que: *“En cualquier nivel existen, en efecto, unos “lenguajes”; es decir existen unos “modos de representar según esquemas” (que luego sean palabras dibujos o imágenes es lo mismo, desde este punto de vista) y en cualquier nivel hay un plano de “experiencias” de por sí “indecibles” (hay cosas de las que se tiene experiencia y que no se consigue decir, describir o representar; hay cosas que se sabe decir y a las que no se consigue identificar con experiencias”*

En este sentido la tríada funciona simultáneamente en el sistema de cognición humana y es su carácter gradual el que permite avanzar en la construcción y organización del conocimiento. Sin embargo, debemos ser cuidadosos, ya que cada uno de los conceptos implicados tiene connotaciones filosóficas importantes, que en cierta medida los determinan y cuyas implicaciones en la enseñanza de la física son significativas.

Los libros de textos se apoyan en el uso del lenguaje científico para comunicar principios, leyes y teorías científicas, utilizan dibujos, gráficas, tablas y otros esquemas de representación, sugieren experimentos y demostraciones, todo con el interés de que los estudiantes aprendan física, pero los docentes que se apoyan en ellos dejan de lado la importancia de la experiencia, la vivencia o lo cotidiano de los estudiantes, para lograr una comprensión significativa de los fenómenos estudiados. Dejan por fuera el contexto.

Lenguaje y comunicación

Investigadores en historia, filosofía y enseñanza de las ciencias han venido demostrando que existen unos juegos de lenguaje (Wittgenstein, 2007) en la actividad científica (Granes, 1997). Para T. Kuhn (1962), por ejemplo, comprender el concepto de fuerza aristotélico desde la concepción newtoniana se hace insostenible, pues el concepto de fuerza dentro de la representación de Aristóteles del mundo físico se muestra articulado a otros conceptos en un juego de lenguaje que le da una estructura coherente y lo llena de sentido, acorde a los esquemas de pensamiento de la humanidad en dicho periodo histórico. En la didáctica de la física, los juegos de lenguaje se vuelven fundamentales, porque permiten comprender que el concepto está asociado a un contexto en un periodo histórico, por fuera del cual pierde su sentido y significado (García, E. G., 2011).

Para la enseñanza, debemos tener presente que el lenguaje científico surge inicialmente de formas asociadas al entorno de fenómenos cotidianos y que posteriormente se va transformado (Izquierdo & Aliberas, 2004). De hecho, los escritos y obras de muchos científicos parten de caracterizar situaciones cotidianas o entornos en los que los conceptos adquieren significado, de tal forma que el nivel de complejidad aumenta gradualmente. Un ejemplo claro lo presenta el tratado de electromagnetismo de Maxwell, que parte de situaciones familiares de la electrostática y elabora con experiencias una conceptualización sobre la carga eléctrica (García, E. G., 2011). Sin embargo, lo importante de la lectura no es la comprensión del texto en sí, sino la capacidad de los alumnos para establecer relaciones entre los conceptos que se expresan en el texto y los conocimientos adquiridos en otras situaciones (Márquez & Prat, 2005). Por lo tanto, un lenguaje asequible es fundamental. Para Izquierdo (2005a): *“el lenguaje es el mediador entre las representaciones y las acciones que constituyen la experiencia científica: desde el punto de vista de lo experimental, el lenguaje cambia el formato del mundo para hacerlo pensable, desde el punto de vista de lo representacional, el lenguaje cambia el formato de las representaciones para hacerlas comunicables, en un determinando contexto”*.

Los libros de texto ofrecen diferentes lenguajes para presentar los conceptos, los hay verbales, pero también visuales; algunos tienen intención dialógica, pero otros son discursos apodícticos. El maestro, como intermediario entre el conocimiento del experto (científico) y el conocimiento del estudiante (común), debe implicarse en el problema de la lingüística que encierran estos conocimientos (Márquez & Prat 2005), establecer puentes que acerquen uno a otro y permitan la apropiación y movilidad del conocimiento.

Retórica en libros de texto

Para muchos investigadores en Didáctica de las Ciencias, el estudio de los libros de texto (LT) se ha convertido actualmente en una disciplina autónoma (Calderero, 2003). Podemos identificar varios campos en los que la importancia de analizar los libros de texto se hace relevante. Algunos se orientan hacia el uso de ellos por parte de los potenciales lectores, esto es, alumnos o profesores, e identificar aspectos que impliquen mejorar la enseñanza-aprendizaje de las ciencias (Del Carmen & Jiménez, 1997), otros por su parte se centran más en el propio texto, ya sea en la comprensión y aprendizaje (Solaz – Portolés, 2009) y (Otero & Caldeira, 2005), en los errores conceptuales (Campanario, 2003), en las ilustraciones (Perales & Jiménez, 2002), en la estructura retórica (Izquierdo, 2005a), en cómo se introducen los conceptos científicos (Rodríguez & Niaz 2004) en la editorial y, en conjunto, a nivel de la educación escolar básica, secundaria o básica universitaria.

Al revisar en el contexto histórico el papel de los libros de texto, encontramos cómo la intención ha ido cambiando con el tiempo. Según Bachelard (1993): *“Anteriormente los libros de texto hablaban de la naturaleza, de la vida cotidiana y en un lenguaje de fácil acceso para el lector, pero parece ser que hoy en día eso ha cambiado”,* pues, dice Bachelard, *“los textos se han vuelto autosuficientes, ellos hacen las preguntas y ellos mismos las responden, presentan la ciencia como algo organizado y elevado, por encima de los conocimientos e intereses del lector”.* Y más adelante Bachelard (1993) afirma: *“Abrid un libro de enseñanza científica moderno: en él la ciencia se presenta referida a una teoría de conjunto. Su carácter es tan evidente que se hace muy difícil saltar capítulos. En cuanto se han transpuesto las primeras páginas, ya este deja hablar más al sentido común; ya no se atiende más, a las preguntas del lector. En él, el Amigo lector sería, con gusto, reemplazado por una severa advertencia: ¡Atención, alumno! El libro plantea sus propias preguntas. El libro manda”.*

Esto implica que el conocimiento está en la cotidianidad de la vida y no por fuera de ella. La ciencia no está en el libro o en la lección, sino en lo que el libro o la lección permiten pensar, hacer, comunicar a aquellos que lo leen o la escuchan, pues, al fin y al cabo, como dice Izquierdo (2005): *“Ningún conocimiento científico es un ‘retrato del mundo’ sino que siempre es el resultado de una intervención intencionada en determinados fenómenos, que ha sido interpretada y comunicada a personas que comparten valores y expectativas. Por ello, los conocimientos escolares no pueden ser ya ‘los programas’ de siempre, basados en conceptos que proporcionan una visión rígida y dogmática del mundo, sino que han de ser la ocasión para plantear preguntas que inciten a la intervención y a la reflexión sobre fenómenos y relaciones entre fenómenos que sean relevantes para comprender los temas científicos de actualidad.”*

Las investigaciones actuales en Didáctica de las Ciencias Naturales han orientado esfuerzos hacia el estudio de los LT (Alambique, 2001), llegando a la búsqueda de las intenciones que hay detrás por parte de los autores o de las editoriales (incluso de los ministerios de educación) y el mensaje que quieren transmitir a través del texto, esto es, la retórica. Es claro que en los LT hay estructuras retóricas cuya intención es la de persuadir al lector, influir en su forma de pensar la ciencia y en transformar su mundo, esto es, utilizan un lenguaje y unas estrategias para persuadir de maneras diferentes. Un estudio reciente realizado por Solaz-Portelés (2009), muestra cómo las investigaciones realizadas en distintos países sobre la importancia que tiene la naturaleza de la ciencia en sus páginas, es desalentador. Un caso interesante, es el auspiciado por la American Association for Advancement of Science (AAAS), en los que la calidad instruccional de los libros en Estados Unidos no satisfacía los mínimos exigibles.

Para nadie es desconocida la influencia que un libro puede llegar a ejercer en el lector. Pero, más aún si es un libro de ciencias. En los libros de ciencias escritos con intención didáctica, los enunciados se emiten con el propósito de transformar el mundo del lector, y lo consiguen. ¿Cómo puede identificarse, entonces, la intención que hay detrás de un libro de ciencias? ¿Qué mensajes se hacen explícitos y hacia dónde quiere el autor que el lector transforme su mundo? Una forma de averiguarlo es a través del estudio de la retórica del texto. Los libros de ciencias hablan del mundo de una manera diferente a la que es habitual, porque lo transforma para mostrar el orden y sentido que permite comprender cómo funciona y cómo se puede intervenir en él para mejorarlo. Esa “manera diferente” es precisamente la que considera el autor del libro, debe ser aquella de la que se apropie el lector; pero no todos los libros lo hacen igual, ni todos los autores tienen la misma intención. Algunos textos incluso transforman el mundo de tal manera que se alejan tanto y de una forma tan radical, que pareciera que ya no hablan del mundo real. Entre esos libros se encuentran los LT que se suelen utilizar en la formación de estudiantes, para los cuales sus pasajes están escritos en una forma abstracta y poco comprensible para los estudiantes (Solbes & Furió, 2005); cuanto más preciso y riguroso pretende ser un texto escrito, menos comunica y es más difícil de entender, tanto así, que para muchos autores la retórica relacionada con los libros de texto corresponde a un discurso vago y vacío, como “forma sin fondo” (Locke, 1997).

Retórica y enseñanza de la física

¿Cuál es la retórica que hay en los libros de física general de introducción a la universidad? Cuando se enseña electromagnetismo, el LT lo hace de una forma tal que busca convencer al lector de que piense la ciencia y la actividad científica de una cierta manera, la que el autor cree más pertinente. Identificar la retórica de los libros de texto es una necesidad en el ámbito de la investigación actual.

El estudio de la estructura del LT, de hecho, tiene también varias ramificaciones por las cuales los investigadores se han orientado; por ejemplo, estudio de la estructura semántica; sus formas de argumentar y presentar los contenidos, analogías, narrativas, retóricas, estructura sintáctica; la presentación de los conceptos y la secuencia utilizada; estructura simbólica; el tipo de ilustraciones, tablas y gráficos presentes, estructura curricular; el tipo de actividades propuestas y su organización y estructura evolutiva; el grado de dificultad con el que son presentados los contenidos (Perales & Jiménez, 2002).

¿Cuál es la retórica que hay en los LT de ciencias naturales? Los estudios realizados hasta el momento, que lo hacen para la enseñanza secundaria, coinciden en que la ciencia es presentada como verdadera, objetiva y autoritaria. Los estudiantes terminan por pensar que la ciencia es abstracta, ininteligible y, por tanto, aburrida (Driver, 1998) y el lenguaje excesivamente simbólico no relaciona los símbolos con

sus referentes. Este tipo de retórica frecuentemente tiene el éxito en convencer a los alumnos de que la ciencia es inherentemente más compleja y difícil que otras materias, de tal manera que terminan creyendo que nunca la entenderán.

M. Izquierdo (2005a), por ejemplo, considera que los textos transmiten una intención comunicativa o retórica del autor; esto es, una imagen o concepción de la ciencia, una didáctica o forma de presentar los contenidos y un nivel de desarrollo y profundidad de los conceptos. Avanzando hacia el primer decenio del siglo XXI, nos preguntamos si la retórica de los textos utilizados usualmente a nivel introductorio en la universidad, reconocen o tienen en cuenta los aportes en la enseñanza de las ciencias en los últimos 30 años, de teorías influyentes, como lo es el constructivismo y los enfoques culturales; esto es, por ejemplo, preguntarse: ¿Tienen en cuenta las ideas y explicaciones de los estudiantes? ¿Reconocen los aportes de la historia y la filosofía de las ciencias? ¿Consideran el proceso de construcción del conocimiento, más que sus resultados? Este estudio pone en evidencia que no lo hacen.

Los estudios realizados por Izquierdo y el grupo de LIEC, se concentraron en la estructura retórica presente en los LT de secundaria: la imagen de la ciencia que se comunica, las concepciones sobre el conocimiento científico y las formas de la enseñanza propuestas. En nuestro estudio avanzamos en identificar características similares, esta vez en LT universitarios de física general, para ello ubicamos el análisis en torno a la enseñanza de la electrostática, como referente fundamental para introducción del electromagnetismo y de la teoría de campos.

Metodología y resultados

Se hizo una consulta preliminar entre 100 profesores de física de Latinoamérica y España, sobre los LT más utilizados, o estudiados por ellos, en su formación universitaria y se registró 4 textos como los más influyentes; la Física Fundamental de Serway, la Física General de Alonso y Finn, la Física Fundamental de Sears y Zemansky y la Física general de Paul Tipler.

El análisis se hizo con base en la red sistémica para análisis de contenidos de textos, haciendo una selección de eventos que consideramos deben estar presentes en la retórica de los textos. Los eventos seleccionados son los siguientes:

Nombre	Descripción
Conocimiento de corte histórico.	Modelos teóricos o de explicación utilizados históricamente.
Conocimiento científico actualizado.	Modelos teóricos actuales para explicar situaciones.
Conocimiento cotidiano.	Considera las explicaciones del estudiante, del sentido común y popular.
Narraciones afirmativas.	Expresa definiciones, afirmaciones, explicaciones y analogías.
Narraciones problemáticas.	Se presentan situaciones que problematiza el conocimiento.
Ilustraciones y gráficas.	Tablas, dibujos, figuras y fotografías que encierran una información completa.
Expresiones matemáticas.	Ecuaciones, formulas, problemas matemáticos y demostraciones matemáticas.
Experiencias.	Recrea situaciones del entorno inmediato del estudiante o de la industria.
Demostraciones de laboratorio.	Describe, enuncia o demuestra un experimento.
Experiencias transformadas.	Expresa experiencias en formas simbólicas o mediante abstracción de ideas.

Tabla de eventos (elaboración propia).

Para este capítulo, sólo describimos los resultados del análisis del libro de Sears, aunque no hay diferencias significativas con relación a los otros textos analizados. Se hizo un análisis de la macro, micro y superestructura del texto de acuerdo con la propuesta de Van Dijk (1997), encontrando los siguientes resultados:

El libro se caracteriza por utilizar una retórica, principalmente, de una narrativa expositiva, en la que el 82,8% de los eventos son narraciones afirmativas y explicativas. El conocimiento expuesto en modelos y teorías explicativas es del 8,8% y la experiencia descrita no supera el 8%. Esto muestra el desequilibrio en la presentación retórica del texto. El recurso de la historia del conocimiento científico es completamente desapercibido, lo que muestra la poca importancia de este tema para los autores. La importancia del conocimiento científico actual es más relevante que el conocimiento cotidiano, lo que muestra la poca importancia que tiene para el texto la referencia a situaciones cotidianas o de aplicación industrial del contenido. Básicamente, se prioriza el conocimiento de física atómica, mecánica cuántica y el modelo estándar de partículas. Con relación al uso de situaciones problemáticas, se aprecia que no hay ninguna mencionada (0%), lo que, de entrada, muestra el carácter no problemático de la presentación del tema y por lo tanto presenta la ciencia de forma apodíctica, pues los conceptos se definen y las explicaciones se

hacen como afirmaciones, interpretaciones o analogías. Los eventos relacionados con experimentos o experiencias son muy escasos, solamente encontramos 7 eventos en todo el capítulo, lo que corresponde a menos del 5,3% de toda la presentación del tema. La mayoría de ellos son demostraciones de laboratorio, por lo cual no se aprecian experiencias nuevas o novedosas en el contexto de la presentación. Es necesario señalar que, al inicio del tema, se observa mayor intención de presentar experimentos, pero a medida que se avanza en la materia, estos se van agotando hasta llegar prácticamente a presentar los nuevos conceptos al margen de un sentido experimental. Se destaca la presentación simbólica que tiene el capítulo en términos de ilustraciones y representaciones matemáticas, lo que hace que su discurso sea fundamentalmente esquemático. Además, encontramos que más del 16% de los eventos son expresiones matemáticas que acompañan el discurso expositivo.

De acuerdo con lo anterior, podemos concluir que el texto corresponde a un modelo de ciencia dogmática apodíctica, con un modelo didáctico transmisivo, en el que los fenómenos que narra son hechos demostrativos de laboratorio, sin perspectiva histórica y con un carácter de verdad en la presentación del conocimiento actual.

Conclusión

En una nueva relación con el conocimiento científico desde enfoques culturales, este es considerado como actividad humana, donde se reconocen los procesos, más que los productos de la actividad científica, y donde se debe considerar las explicaciones y vivencias de los estudiantes, así como su contexto; entonces, la manera de abordar los LT debe cambiar, lo mismo la información que se tiene de ellos en general. Los LT universitarios no consideran en sus páginas cambios significativos, sólo de forma; no reconocen los avances y desarrollos de la Didáctica de la física y se quedan con los mismos contenidos y formas de enseñanza cuestionados desde la década de los 90. No todo lo que dicen los libros se asume como válido, los textos deben ser sometidos a análisis en un contexto muy particular, donde se posibilite un diálogo con el autor y se pueda construir conocimiento significativo a partir de ellos.

Referencias bibliográficas

- Alambique (2001). Monográfico sobre Libros de texto 11. Editorial Grao. Barcelona.
- Arca, Mazzoli & Guidoni (1990). Enseñar ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base. Editorial Paidós. Barcelona.
- Bachelard, G. (1993). La formación del espíritu científico. Editorial siglo XXI. 19ª edición. Buenos Aires, Argentina.
- Calderero, J. F. (2003). Estudio sobre libros de texto de ciencias de la naturaleza mediante análisis cuantitativo basado en la teoría de grafos. Tesis de doctorado. Universidad Complutense de Madrid. España.
- Campanario, J. M. (2003). De la necesidad, virtud: cómo aprovechar los errores y las imprecisiones de los libros de texto para enseñar física. Enseñanza de las ciencias 4 (3), pp. 266-268.
- Del Carmen, L. & Jiménez, M. (1997), Los libros de texto: un recurso flexible. Alambique 11, pp. 7-32.
- Driver, R. (1998). Un enfoque constructivista para el desarrollo de currículos en ciencias. Rev. Enseñanza de las ciencias, Vol. 6 No 2, Barcelona.
- García, E. G. (2011). Las prácticas experimentales en los textos y su influencia en el aprendizaje. Aporte histórico-filosófico en la física de campos. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.
- Granés, J. (1997). La educación como recontextualización. Revista Momento, Depto. de Física Universidad Nacional de Colombia, No 14-15, p. 25.
- Izquierdo, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. Revista Enseñanza de las Ciencias. 23 (1), pp. 111-122.
- Izquierdo, M. & Aliberas J. (2004). Pensar, actuar y hablar a la clase de ciencias. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Enseñanza de las Ciencias. Núm. Extra, VII congreso.
- Izquierdo, M. & Rivera, L. (1997). La estructura y la comprensión de los textos de ciencias. Alambique 11, 24-33.
- Kuhn, T. (1962). La estructura de las revoluciones científicas. Ediciones del Fondo de Cultura Económica, Breviarios. México.
- Locke, D. (1997). La ciencia como escritura. Ediciones Cátedra: Madrid.
- Lemke, J. (1997). Aprender a hablar ciencia. Editorial Paidós. Barcelona.
- Márquez, C. & Prat, A. (2005). Leer en clase de ciencias. Enseñanza de las ciencias, 23 (3), pp. 431-440.
- Márquez, C., Izquierdo, M. & Espinet, M. (2003). La comunicación multimodal en la clase de ciencias: el ciclo del agua. Enseñanza de las ciencias 21 (3), pp. 371 -386.
- Otero, J. & Caldeira, M. (2005). Introducción. La comprensión de los libros de texto de ciencias. Tarbinya, No 36, 5-8.
- Perales, F. & Jiménez, J. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza – aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. Enseñanza de las Ciencias 20(3), pp. 369-386.

- Rodríguez, M. A & Niaz, M. (2004). A reconstruction of structure of the atom and its implications for general physics textbooks. A history and philosophy of science perspective. *Journal of Science Education and Technology*, 13 (3), pp. 409 – 424.
- Solaz-Portolés, J. J. (2009). Aprender ciencias con textos. Bases teóricas y directrices. *Latin American Journal of Physics education* 3 (2), pp. 376 – 379.
- Solbes, J. & Furio, C. (2005). Visiones distorsionadas de la ciencia en los libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*. Núm. Extra, VII congreso.
- Van Dijk, T. A. (1997). *La ciencia del texto*. Editorial Paidós. Barcelona.
- Wittgenstein, L. (2007). *Los cuadernos azul y marrón*. Editorial Tecnos, 4ª ed. Madrid.

Desempaquetar los elementos químicos: oportunidades y retos para la ciencia escolar

Carlos Agudelo

Universitat de Barcelona, España

agudelocar@ub.edu

Resumen

En este capítulo, abordo una reflexión sobre el uso y la significación que se suele otorgar a la tabla periódica de los elementos (TP) en la educación secundaria, y planteo algunos desafíos para enriquecer su aprendizaje en la Ciencia Escolar (CE). Inicialmente, basándome en estudios sobre su tratamiento en los libros de texto, destaco que el uso de la TP está habitualmente constreñido a un carácter clasificatorio y centrado en la interpretación de los elementos como átomos compuestos por partículas. Argumento que, de restringirse a este enfoque, que es esencial en la disciplina química, deja de lado otras perspectivas valiosas para la CE y obstaculiza la comprensión del alumnado, porque se aleja de su realidad y dificulta la realización de actividad química genuina. Finalmente, con base en la triada virtuosa que forman la historia, la filosofía y la didáctica de la química, propongo algunas ideas sobre el sistema periódico que podrían aportar herramientas para el diseño de la CE, así como algunos retos que debemos enfrentar para incorporarlas.

Palabras clave: Tabla periódica, química escolar, historia de la química, filosofía de la química, elemento químico

Introducción

La TP es uno de los componentes de la ciencia contemporánea y es un constructo clave de la química profesional (Hoffman, 2009; Scerri, 2012), de la historia (Bensaude-Vincent, 1991), de la filosofía (Erduran, 2007; Labarca & Fortin, 2023; Tobin, 2013) y de la enseñanza de la química (Linares, 2004; Linares & Izquierdo-Aymerich, 2007). Concretamente, para la didáctica de la química y el diseño de la CE es clave porque, como dice Izquierdo-Aymerich (2013, 2014), su construcción y evolución, revisada desde la filosofía y la historia, señala algunos hitos científicos en los que se construyeron conceptos básicos de las ciencias. La TP ha sido fundamental en la historia del conocimiento, no sólo para ordenar los elementos químicos y estudiar las interacciones entre las sustancias elementales, sino también para

construir el significado de elemento y los modelos atómicos, que son entidades imprescindibles en la ciencia erudita y en la química de la educación secundaria.

En trabajos anteriores, que siguieron el legado de investigaciones como la de Linares (2004) y la de Camacho *et al.* (2007) sobre la enseñanza de la TP, señalábamos que, a pesar de la gran variedad de maneras de presentarla en los libros de texto, existe un relato habitual que se suele usar para explicarla (Agudelo-Carvajal, 2015, 2020; Agudelo-Carvajal & Izquierdo-Aymerich, 2020). Este relato, caracterizado por la secuencia de contenidos y la significación del elemento químico, suele posicionarse en un modelo determinado de átomo (regularmente uno de capas o uno cuántico), que se ordenará en la TP, unas páginas después, y cuyas propiedades justificarán la periodicidad basada en la configuración electrónica.

Como ampliaré más adelante, esta secuencia narrativa y el énfasis prioritario en la significación atómica, presentada con una retórica de las conclusiones, habla de un 'mundo' que no tiene sentido para el alumnado de secundaria, que no conoce el proceso que ha llevado a la construcción de esas entidades ni el lenguaje simbólico que les refiere (Izquierdo-Aymerich, 2015). Cuando se las presenta, el alumnado no ha tenido la oportunidad de hacerse preguntas que se puedan responder con ellas, ni ha visto la necesidad (ni la coherencia) de usar ese lenguaje para expresar un mundo que se ha elaborado en marmitas, debates y congresos, y que se ha empaquetado en formulas, definiciones e inscripciones durante siglos. Lo que el profesorado concibe como una herramienta idónea para transitar entre el mundo habitable y las abstracciones del mundo comunicable, el alumnado lo aborda como un sistema cerrado y, en el mejor de los casos, puede comprender su lógica de codificación interna como la de un juego de cartas o un sudoku, pero que no tiene nada que ver con el mundo en que vive.

Siguiendo este hilo, argumentaré que, si estamos de acuerdo en que la periodicidad de los elementos debe formar parte de la enseñanza obligatoria, es útil explorar otros caminos, otras perspectivas, para acercar a todas las personas este constructo, que ha tenido y sigue teniendo una funcionalidad dinámica en la intervención del mundo químico, y que también puede tenerla en el mundo global que compartimos los seres humanos. Sustentaré, apoyándome en el marco de la CE (Izquierdo-Aymerich *et al.*, 1999; Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003; Izquierdo-Aymerich & Aliberas, 2004), nutrida por la triada virtuosa de historia, filosofía y didáctica de las ciencias (Quintanilla-Gatica, 2023), que vale la pena ir más allá de la visión de una tabla que encasilla a átomos aislados, en posiciones determinadas únicamente por su configuración electrónica. En cambio, abogo por promover otras perspectivas y heurísticas más accesibles a todas las personas, que hablan de interacción entre materiales, de historia, de filosofía, de dinamismo, de complejidad, de provisionalidad; en definitiva, de actividad humana.

Finalmente, señalaré algunos desafíos que tenemos para favorecer esta mirada más cercana al alumnado, para que tenga sentido, en donde el lenguaje refiera el mundo que conoce; es decir, que el texto que lee y escribe, signifique y comunique contextos cercanos (Izquierdo-Aymerich, 2015, 2017). En el tema que nos ocupa, es un gran reto identificar aspectos del modelo de periodicidad y sus representaciones, que interpelen a todo el alumnado de secundaria. Es un desafío identificar contextos que puedan ser adecuados para modelizar la periodicidad, de manera que sea útil para la vida actual y futura de cualquier ciudadana o ciudadano, y no solo para futuros químicos. Se trata, pues, de dejar de lado algunas cosas y seleccionar con generosidad, junto con otras disciplinas, solo aquello que ayude al alumnado a dar sentido al mundo global y a progresar en cualquier especialidad a la que se dedique en el futuro (Izquierdo-Aymerich, 2015).

1. El relato habitual sobre la tabla periódica y las dificultades didácticas

En los libros de texto de química de secundaria que explican la TP, la suelen presentar en un capítulo dedicado a 'la estructura de la materia', o a 'la estructura atómica'. También se suele presentar en un capítulo separado, pero, generalmente, posterior a la explicación de la estructura atómica. Aunque algunos relatos se salen de lo habitual (Agudelo-Carvajal, 2020), la secuencia suele tratar los siguientes ítems (en algún orden similar): diversos modelos atómicos provisionales, el modelo atómico 'válido' que adoptará el libro, TP con la masa atómica como criterio provisional de ordenación, el número atómico como criterio 'válido' de ordenación identificado con el número protones, configuración electrónica, TP 'actual' (o 'moderna') y posición de los elementos según su configuración electrónica, propiedades periódicas de los elementos (sobre todo de sus átomos).

Si el relato se extiende un poco en el trabajo de Mendeleiev, su criterio de la 'masa atómica' para ordenar los elementos se suele presentar como una idea brillante pero incorrecta ('con irregularidades' o 'incoherencias'), que se corrige con el cambio de criterio a 'número atómico' adjudicado a Henry Moseley y su asociación con el número de protones. Posteriormente, se suele explicar que, con algunos ajustes, se obtiene la TP 'actual' (Agudelo-Carvajal, 2015, 2017). Algunos relatos señalan 'intentos' de ordenación anteriores de otros científicos como Johann Wolfgang Döbereiner, John Newlands y, con frecuencia, se presenta a Lothar Meyer, como codescubridor independiente de la TP.

Los rasgos comunes del relato habitual comunican la idea de un progreso lineal de la ciencia que, desde una mirada anacrónica y con una retórica de las conclusiones, valora como erróneos los modelos y explicaciones que fueron modificados en un contexto posterior a aquel en el que dieron respuesta a preguntas y problemas de su tiempo. También favorecen una idea hagiográfica de la ciencia que idolatra a un

héroe (hombre, que trabaja aislado en su laboratorio), que luego es derrotado por otro héroe superior, mediante un experimento o ‘descubrimiento’ que explica lo que su antecesor no explicaba. En el caso que nos ocupa, Mendeléiev ‘gana’ a sus sucesores y luego ‘cae’ ante Moseley por el número atómico.

Este tipo de relato no sólo enseña una ciencia deformada, sino que descuida la importancia de los hitos históricos en los cuales se construyeron nuevas entidades, estructuras y modelos que respondieron a preguntas y problemas en su contexto. De acuerdo con Izquierdo-Aymerich (2014), estos hitos son claves para la CE, porque inspiran el diseño de actividades en las que el alumnado podría hacerse preguntas y obtener respuestas cercanas y significativas, y le brindaría la oportunidad de construir su propia historia del conocimiento. En el caso de la TP, tendría más sentido para el alumnado abordar y comprender la periodicidad de sustancias materiales, que tienen masa apreciable, que tienen propiedades físicas y químicas, que interaccionan, etc., antes que la periodicidad de una estructura atómica de partículas, que no le interpela porque no se refiere a ningún aspecto del mundo conocido. La ley periódica y la inscripción construida por Mendeleiev, respondían a la pregunta sobre la interacción de las sustancias y la conservación del elemento en el cambio químico, concebido como una entidad que se debe a sus relaciones con los otros elementos y caracterizado por su masa atómica (Bensaude-Vincent, 2019). La TP no se obtuvo por deducción a partir de las estructuras atómicas (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2009), como se podría entender de los relatos habituales.

Independientemente de si dan algunas pinceladas históricas o no, estos relatos se acaban centrando en ‘La TP’, y el sistema periódico se reduce a una de sus representaciones. Pocas veces se hace referencia a las muchas otras que se han construido históricamente, y que se siguen construyendo y debatiendo en función de los criterios para su utilización (Labarca, 2023). Las profesoras y los profesores sabemos qué queremos decir cuando hablamos de la TP, del sistema periódico o de la ley periódica, aunque no lo hagamos de manera explícita; pero si el alumnado no conoce estas reflexiones, no solo tendrá problemas para ver la TP como una herramienta útil en el mundo en el que vive, sino que también le será más difícil comprender la naturaleza de las representaciones en ciencias y su carácter contextual, lo cual es clave para el aprendizaje competencial en la ciudadanía.

Las secuencias más habituales presentan un modelo atómico concreto (alguna variante del modelo de Bohr o del modelo cuántico) después de un breve recorrido por otros modelos, antes de presentar la TP. El criterio de masa atómica se presenta como un prelude incorrecto del número atómico identificado con el número de protones, y se encasilla a los elementos en su carácter atómico, aislado, y al sistema periódico en su carácter clasificador; todo esto, sin tener en cuenta la interacción ni la concepción relacional de los elementos, ni la heurística de esta herramienta para

el pensamiento químico. Esto se refuerza posteriormente cuando se hace énfasis en las propiedades atómicas para ‘demostrar’ la ley periódica. Al centrarse en ellas (electrones de valencia, afinidad electrónica, energía de ionización, etc.), parece que la ley periódica, además de ser electrónica, fuera exacta, lo cual está superado en la filosofía de la química (Labarca & Fortín, 2023). Si el alumnado logra entenderla, lo hará como un conjunto de reglas axiomáticas para ordenar números, pero no podrá conectar estas reglas con los materiales y sus interacciones.

2. Oportunidades y retos para la ciencia escolar

La CE es una ciencia especial, diseñada a partir de la selección de algunas herramientas de las disciplinas, para ponerlas al servicio de la comprensión e intervención del mundo global (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2003). Se trata de un proyecto que goza de gran acuerdo en la didáctica de las ciencias, pero que es más difícil de lo que parece (Izquierdo-Aymerich, 2017). Si queremos que la química, junto con otras disciplinas, aporte ideas, modelos, lenguajes para comprender el mundo que habita el alumnado, y consideramos que el sistema periódico forma parte de ello, tenemos que preguntarnos qué aporta a ese objetivo y cómo se puede integrar con las contribuciones de las otras disciplinas. Deben ser pocas ideas y compartir parte del lenguaje entre la disciplina y el mundo del alumnado.

A continuación, presentaré algunas reflexiones que pueden aportar para favorecer la actividad científica genuina en secundaria, así como algunos retos que tenemos para ello.

2.1 Construir la periodicidad y el concepto de elemento con el átomo químico

Quienes admiramos el sistema periódico, queremos contagiar a nuestro alumnado de esta admiración y enseñar todas sus virtudes en el poco tiempo que disponemos. Es comprensible que estemos tentados a abordar aquello que empaqueta el máximo de conocimiento. El problema es que el conocimiento empaquetado solo tiene sentido para quien conoce lo que empaqueta. Si queremos que el lenguaje tenga sentido, no solo hay que garantizar que el alumnado pueda hacer la decodificación, sino que vea la necesidad de hacerlo y la pertinencia de las entidades. Esto implica, necesariamente, haberse hecho preguntas desde lo que conoce y puede intervenir. Sin preguntas genuinas del alumnado, sin su intervención en el mundo que habita, no hay actividad científica, no hay CE (Izquierdo-Aymerich, 2015).

Tenemos que preguntarnos, pues, ¿qué del sistema periódico es importante para todas las personas? y ¿qué habla del mundo que habitamos todas y todos? Para responder, la CE apela a la triada virtuosa de la historia, la filosofía y la didáctica de la química, que sustenta la selección y estructuración de contenidos y procedimientos para un aprendizaje genuino mediante relatos, actividades,

secuencias y otras herramientas convincentes para el alumnado (Izquierdo-Aymerich, 2014; Quintanilla-Gatica, 2023). Se trata de poner la mirada filosófica a los hitos en los que se construyeron entidades como respuestas a preguntas que podrían ser cercanas a las del alumnado. En el caso que nos ocupa, cobra sentido el criterio de masa para ordenar los elementos, que se puede concebir como una respuesta adecuada a la pregunta por la interacción cuantificada, la conservación de la materia y la necesidad de sistematización.

Alrededor del año en el que se realizó el Congreso de Karlsruhe (1860), fundamental para los trabajos de clasificación de Mendeleiev y Meyer, se hizo un avance significativo en los acuerdos sobre la masa atómica, la molécula, el átomo (químico), el lenguaje y los símbolos. La mirada realista del átomo estaba muy cuestionada aún, pero su utilidad para caracterizar y cuantificar el cambio químico gozaba de gran acuerdo: el átomo era una masa de interacción que podía medirse y los elementos estaban definidos por esta masa que se conservaba en el cambio químico. Este hito fue fundamental para la construcción del sistema periódico y para la construcción de los modelos atómicos (Izquierdo-Aymerich & Adúriz-Bravo, 2009). Sería interesante, pues, presentar secuencias coherentes con este relato histórico-filosófico, en el cual la periodicidad sea una respuesta a la pregunta por el cambio químico y la conservación de los elementos. El reto es proporcionar contextos cercanos al alumnado para conocer materiales y sus interacciones, para generar preguntas que se respondan mediante la agrupación y ordenación de algunas sustancias elementales a partir de su forma de interactuar, sus semejanzas y diferencias, entre otros aspectos. De acuerdo con Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo (2009) la teoría atómica, sus símbolos y representaciones, fueron construidos para soportar el pensamiento químico, pero no lo pueden sustituir, y menos en una ciencia para todas las personas.

2.2 Valorar diversas inscripciones de (y para) el modelo ‘sistema periódico’

La CE (Izquierdo-Aymerich *et al.*, 1999; Izquierdo-Aymerich & Aliberas, 2004) está fundamentada en el enfoque de la concepción semántica de las teorías científicas de Ronal Giere (1988). Mediante la modelización, permite orientar al alumnado para realizar actividad científica de manera aproximada a como se desarrolla en el ámbito profesional. Teniendo en cuenta la triada virtuosa de la historia, la filosofía y la didáctica de la química (Quintanilla-Gatica, 2023), es importante diseñar secuencias de aprendizaje sobre el sistema periódico, fundamentadas en sus funciones, naturaleza y características modelo-teóricas, que ofrezcan una imagen de la ciencia sustentada en la filosofía y con valor para la educación científica (Ariza, 2022).

El sistema periódico ha sido representado de muchas maneras, entre las cuales la TP es la más conocida. Aunque en los libros de texto suelen encontrarse pocas representaciones, existe una multiplicidad de inscripciones bidimensionales y

tridimensionales con el mismo objetivo (Ariza, 2022; Mazurs, 1974; Scerri, 2007). Desde la concepción semántica contemporánea, estas inscripciones serían formas de representación de los modelos de la teoría si están en consonancia con la ley periódica. En este enfoque, la ley no estaría vinculada directamente con la realidad como en la concepción tradicional de las leyes, sino que su función sería la de vincular los modelos, que sí se relacionan con la realidad, mediante un cierto parecido o isomorfismo. El sistema periódico no reduce el modelo de periodicidad química a la enunciación lingüística y a la representación gráfica (Ariza, 2022), lo cual puede evitar el estatus realista ingenuo que suelen comunicar los relatos habituales. Dar importancia a las tablas y a otras inscripciones relacionadas como representaciones del modelo, está en coherencia con la naturaleza de la química como actividad humana que construye, evalúa y modifica modelos de (y para) grupos de fenómenos en un contexto, con unas funciones y con unos intereses determinados.

No propongo llevar a la secundaria todos los debates actuales sobre la representación del sistema periódico (el problema del grupo 3, la localización del hidrógeno, el problema del mejor formato, el criterio secundario, etc. (Labarca, 2023)). Pero sí se podría tratar algunos de ellos para poner en contexto la TP como una inscripción válida entre otras, que se ha instaurado como la más utilizada por razones que no necesariamente tienen que ver con que sea la ‘verdadera’, ni la ‘correcta’. Es importante que el alumnado conozca que se siguen discutiendo criterios, que se discute incluso la existencia o no de ‘la mejor’ manera de representar el sistema periódico. Así, las diferentes inscripciones como representaciones del modelo periódico, además de servir para explicar, describir e intervenir, también pueden jugar el papel de punto de partida para construir otras inscripciones que organicen la información química, teniendo en cuenta la periodicidad de los elementos (Ariza, 2022)

El reto, en este caso, sería delimitar criterios para seleccionar inscripciones que representen el modelo “sistema periódico” y que puedan ser útiles para el alumnado; es decir, que las pueda entender y razonar, antes de enfrentarse con inscripciones que reúnen a todos los elementos y a toda la información densamente empaquetada, tanto de átomos como de sustancias elementales. Sería interesante que dicha selección pudiera representar una historia del sistema periódico, que ayude al alumnado a vivir la aventura de preguntarse sobre la interacción y el control del cambio químico. Se podría comenzar con inscripciones previas a Mendeleiev y Meyer, con elementos cuyas sustancias elementales sean conocidas, pasando por la conceptualización mendeleieviana del elemento como entidad relacional y por las inscripciones que representan la ley periódica basada en la masa. Esto ayudaría a que todas las personas comprendieran mejor, no solo el modelo periódico sino también la importancia y utilidad de las inscripciones en el

desarrollo del conocimiento científico, y en su propia vida cotidiana, para comprender, empaquetar, desempaquetar y comunicar información abstracta.

2.3 Desempaquetar a los elementos químicos

Como he venido afirmando, en muchos libros de texto y artículos de innovación docente, la TP suele usarse para clasificar los átomos según su estructura atómica. Con una gran diversidad de enfoques, la mayoría se centra en ayudar al alumnado a entender la lógica de esta ordenación y aprender a relacionar la posición de un átomo en la tabla (fila y columna) con sus características electrónicas. En cambio, en las propuestas teóricas, históricas y filosóficas, no solo se trata una gran variedad de inscripciones, sino también otros aspectos: el debate de la concepción de elemento; el problema del formato de la TP; su carácter predictivo, descriptivo o explicativo y sus posibles limitaciones; la importancia de las mujeres en la construcción del sistema periódico; el estatus de la ley periódica; las diferentes relaciones entre elementos más allá de las de grupos y períodos, como las relaciones diagonales o en L; los usos de sustancias elementales específicas, la historia de su aislamiento y otros aspectos (Agudelo-Carvajal, 2015). En definitiva, se presenta un abanico de funciones didácticas que pocas veces se acaban desarrollando en las aulas de secundaria.

Al centrarnos en la función clasificadora de átomos, se pierden las sustancias, los materiales, las interacciones; en definitiva, se pierden muchas preguntas interesantes como: ¿Qué cambia y qué no cambia en la interacción química? ¿Qué queda del cloro y del sodio en la sal que comemos? ¿Cómo es que el hidrógeno está en un grupo de metales? ¿Qué tienen en común los metales preciosos? Mercurio, ¿qué fue primero, el nombre del planeta o el del elemento? ¿Qué mujeres han estado involucradas en la historia de la tabla periódica y cómo? ¿Por qué no representamos la ley periódica en forma de espiral? ¿La TP fue inventada o descubierta? ¿La ley periódica es una ley de la misma manera que lo son las leyes de Newton? ¿Algunos elementos se podrían agotar en la Tierra?

En los libros de texto y en artículos de innovación son más comunes otro tipo de preguntas, como, por ejemplo, ¿en qué fila y en qué columna está el Silicio? O, ¿qué elemento es el que tiene una configuración electrónica acabada en $3p^5$? ¿Qué elemento tiene más energía de ionización, el sodio o el potasio? Estas preguntas tienen respuestas concretas, cerradas y exactas, mientras que algunas de las anteriores ni siquiera la tienen, pero son más ricas, son más cercanas a todas las personas y todo el mundo puede aprender con ellas y comprender que el sistema periódico habla del mundo y para el mundo.

Conclusiones

Muchas de las reflexiones que recojo en este ensayo, se podrían resumir con una frase de Mercè (Izquierdo-Aymerich, 2015): ‘La química en la enseñanza obligatoria ha muerto de éxito. De tan bonito que es su lenguaje, de tan preciosas que son las explicaciones, las ponen en primer lugar y, claro, esto no hay quien lo entienda’.

Seguramente con la intención de enseñar lo máximo posible y lo más maravilloso del sistema periódico, que es la capacidad de abarcar tanto conocimiento en tan poco espacio y de una manera tan elegante, la química en secundaria se ha centrado en una TP con una densidad tan grande que ha quedado lejos del alumnado. Para apreciar esta densidad basta con mirar una casilla de un elemento, que incluye diversos ámbitos epistemológicos y ontológicos: configuración electrónica, temperatura de ebullición, electronegatividad, números de oxidación, etc. Los que nos dedicamos a la enseñanza de las ciencias tenemos el gran reto de inventar una ciencia nueva basada en estas maravillas, pero que no tenga la misma densidad, ni sea una simplificación ni un sucedáneo (Mercè Izquierdo-Aymerich, 2015). Esta ciencia, y en el caso que me ocupa en este ensayo, esta química, se debe diseñar seleccionando herramientas de la disciplina que se puedan complementar con las de otras disciplinas y que sirvan para hablar, pensar, sentir e intervenir en el mundo del alumnado.

El sistema periódico y las inscripciones que lo representan, incluyendo la TP con el criterio de masa, así como los conceptos de átomo y mol como unidades de interacción química y el elemento como referente de la conservación cuantificable de la materia, son claves para esta CE porque fueron respuestas a preguntas genuinas, construidas para rastrear y| averiguar, misterios primigenios, algunos de los cuales no están resueltos aún. No deberíamos pasar por alto estos ítems para encasillar los elementos en una estructura de partículas ordenada de manera axiomática. Vale la pena sacrificar la exactitud y pureza de la periodicidad atómica por la comprensión y cercanía de la interacción impura e inexacta de los materiales.

El compromiso de inventar esta CE tiene todavía mucho camino por recorrer, necesita mucha investigación, y este ensayo es una invitación para aunar esfuerzos en ese sentido. Propongo sacar a los elementos químicos de sus casillas atómicas, desempaquetarlos de esa cuadrícula monumental y petrificada que aprendimos y que estamos acostumbrados a enseñar. Hace falta mucho trabajo para buscar fenómenos paradigmáticos que sirvan para diseñar actividades y secuencias didácticas que pongan al alumnado y al profesorado con las manos en la masa; que sirvan para conocer materiales y sus interacciones, para jugar a hacer clasificaciones, a buscar semejanzas, relaciones y periodicidades, aunque sean flexibles y aproximadas, poco pretenciosas y provisionales. Saquemos a los elementos de sus cajones electrónicos y juguemos con los materiales.

Referencias bibliográficas

- Agudelo-Carvajal, C. (2015). La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química: Clasificar o aprender. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Agudelo-Carvajal, C. (2017). La función de la tabla periódica en la enseñanza de la química: ¿Un sistema de elementos o una clasificación de átomos? Propuesta de una herramienta para el análisis. En M. Quintanilla-Gatica (Ed.), *La historia de la ciencia en la investigación didáctica. Aporte a la formación y el desarrollo profesional del profesorado de ciencias* (pp. 185-197). Bellaterra. Sociedad Chilena de Didáctica: Historia y Filosofía de las Ciencias.
- Agudelo-Carvajal, C. (2020). La función de la tabla periódica en los libros de texto ¿Clasificación de los átomos o herramienta de pensamiento químico? En A. Caamaño (Ed.), *Enseñar química. De las sustancias a la reacción química* (pp. 145-142). Graó.
- Agudelo-Carvajal, C., & Izquierdo-Aymerich, M. (2020). La taula periòdica en l'ensenyament de la química, una invitació a pensar sobre els materials. *Educació Química*, 25, 41-47. <https://doi.org/10.2436/20.2003.02.189>
- Ariza, Y. (2022). La noción de «modelo teórico» en la enseñanza de la química: Representación y función del sistema periódico. *Educación Química*, 33(4), 97-110. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.4.0.81499>
- Bensaude-Vincent, B. (1991). Mendeleiev: Historia de un descubrimiento. En M. Serres, *Historia de las ciencias* (1a ed., p. 649). Cátedra.
- Bensaude-Vincent, B. (2019). Reconceptualizing chemical elements through the construction of the periodic system. *Centaurus*, 61(4), 299-310. <https://doi.org/10.1111/1600-0498.12228>
- Camacho, J. P., Gallego, R., & Pérez, R. (2007). La ley periódica. Un análisis histórico epistemológico y didáctico de algunos textos de enseñanza. *Educación Química*, 18(4), 278-288. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2007.4.65874>
- Erduran, S. (2007). Breaking the law: Promoting domain-specificity in chemical education in the context of arguing about the periodic law. *Foundations of Chemistry*, 9(3), 247-263. <https://doi.org/10.1007/s10698-007-9036-z>
- Giere, R. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. Univ. of Chicago Press.
- Hoffman, D. C. (2009). The periodic table. Key to past «elemental» discoveries-A new role in the future? *Journal of Chemical Education*, 86(10), 1122-1128. <https://doi-org.sire.ub.edu/10.1021/ed086p1122>
- Izquierdo-Aymerich, M. (2013). School Chemistry: An Historical and Philosophical Approach. *Science & Education*, 22, 1633-1653. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9457-5>
- Izquierdo-Aymerich, M. (2014). Pasado y presente de la química: Su función didáctica. En C. Merino-Rubilar, M. Arellano, & A. Adúriz-Bravo, *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguajes*. Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2015). Dándole vueltas al concepto de mol. X Jornadas Nacionales y VII Jornadas Internacionales de Enseñanza de la Química Universitaria, Superior, Secundaria y Técnica, Buenos Aires.

- Izquierdo-Aymerich, M. (2017). Atando cabos entre contexto, competencias y modelización ¿Es posible enseñar ciencias a todas las personas? *Modelling in Science Education and Learning*, 10(1), 309. <https://doi.org/10.4995/msel.2017.6637>
- Izquierdo-Aymerich, M., & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science and Education*, 12(1), 27-43. <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>
- Izquierdo-Aymerich, M., & Adúriz-Bravo, A. (2009). Physical construction of the chemical atom: Is it convenient to go all the way back? *Science & Education*, 18(3-4), 443-455. <https://doi.org/10.1007/s11191-008-9156-4>
- Izquierdo-Aymerich, M., & Aliberas, J. (2004). Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències: Per un ensenyament de les ciències racional i raonable. Universitat Autònoma de Barcelona, Servei de publicacions.
- Izquierdo-Aymerich, M., Sanmartí, N., & Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las ciencias*, 17(1), pp. 45-59.
- Labarca, M. (2023). Problemas en la tabla periódica de los elementos. En *Introducción a la filosofía de la química* (pp. 53-69). Bellaterra. Sociedad Chilena de Didáctica: Historia y Filosofía de las Ciencias.
- Labarca, M., & Fortin, S. (Eds.). (2023). *Introducción a la Filosofía de la Química*. Bellaterra Ltda.
- Linares, R. (2004). Elemento, átomo y sustancia simple. Una reflexión a partir de la enseñanza de la tabla periódica en los cursos generales de química. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Linares, R., & Izquierdo-Aymerich, M. (2007). La tabla periódica en el *Journal of Chemical Education* a través del siglo XX. *Tecné episteme y didaxis*, 21, pp. 7-23. <https://doi.org/10.17227/ted.num21-354>
- Mazurs, E. G. (1974). *Graphic Representations of the Periodic System During One Hundred Years* (2a ed.). University of Alabama.
- Quintanilla-Gatica, M. (2023). Historia de la química, filosofía de la química y didáctica de la química. Una triada virtuosa. En *Introducción a la Filosofía de la Química* (pp. 197-211). Bellaterra: Sociedad Chilena de Didáctica: Historia y filosofía de las Ciencias.
- Scerri, E. (2007). *The periodic table. Its story and its significance* (1.a ed.). Oxford: University press.
- Scerri, E. (2012). What is an element? What is the periodic table? And what does quantum mechanics contribute to the question? *Foundations of Chemistry*, 14(1), 69-81. <https://doi.org/10.1007/s10698-011-9124-y>
- Tobin, E. (2013). Chemical Laws, Idealization and Approximation. *Science & Education*, 22(7), 1581-1592. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9445-9>

Imatges històriques de la química: recursos per fer conèixer la seva història

Pere Grapí-Vilumara
Investigador independent
pgrapi@gmail.com

Resumen

La abundante iconografía que ha generado la química a lo largo de su historia puede reconvertirse en recursos para dar a conocer precisamente dicha historia. Bajo esta perspectiva, el presente artículo centra su atención en dos dibujos sepia realizados por Marie-Anne Pierrette Paulze, esposa de Lavoisier, alrededor de 1790. Ambos dibujos escenifican unos experimentos sobre la respiración humana realizados por Lavoisier en su laboratorio del Arsenal en París. Se describen con cierto detalle los actores que intervinieron en el experimento, el espacio del laboratorio, los diseños experimentales y sus objetivos, los aparatos utilizados y los materiales empleados. Además, se consideran los propósitos tanto de Lavoisier como de Marie-Anne en la ejecución de los dibujos. El artículo acaba valorando la idoneidad de ambos dibujos y, por extensión, de las imágenes históricas de la química para tratar temáticas que puedan facilitar una aproximación al conocimiento de su historia.

Palabras clave: imágenes históricas, recursos, Paulze-Lavoisier, instrumentos.

La imatge com a recurs didàctic

La idea d'aquest article neix de l'experiència adquirida per l'autor en la formació del professorat de ciències. El fet que la història de la ciència no acostumi a estar inclosa en el currículum universitari d'aquest professorat i el convenciment de la necessitat que el professorat de ciències disposi de cert coneixement sobre la història de la disciplina que ensenya van potenciar a Catalunya a partir de la dècada del 1980 l'oferta de cursos de formació que inclouen la història de la ciència.

En aquest context, l'any 1986 vaig tenir la sort de conèixer personalment la Mercè Izquierdo, aleshores professora dels cursos d'història de la química del Magister d'Història de les Ciències de la UAB. Aquest va ser el començament d'una bona amistat i d'un mestratge que va continuar durant la realització de la meva tesi doctoral que ella mateixa va dirigir. A partir d'aquell moment hi ha hagut

col·laboracions mútues tant en l'àmbit de la història de la química com en el de les interaccions entre la història de les ciències i l'ensenyament de les ciències.

La primera d'aquestes col·laboracions va ser en el *XVIIIth International Congress of History of Science* (Hamburg, 1989) on vàrem presentar una comunicació sobre l'evolució del significat del concepte d'afinitat química en les obres de Macquer, Bergman i Berthollet. La darrera col·laboració ha estat en el *VI International Conference of the European Society for the History of Science* (Lisboa, 2014) on vàrem tractar sobre una contribució de la història de la química en la comprensió de la naturalesa de la ciència. No vull deixar d'assenyalar dues publicacions conjuntes: una sobre les obres de Proust i Berthollet (Izquierdo & Grapí, 1994), i l'altra al voltant de les idees de Berthollet en relació al canvi químic (Grapí & Izquierdo, 1997). El text que segueix a continuació l'he escrit amb l'ànim de què fos una aportació al merescut homenatge a la Mercè com a formadora del professorat de ciències, historiadora de la química i, sobretot, com una persona entranyable.

L'ús de la inscripció com a recurs didàctic en aquest tipus de cursos ha demostrat ser força avantatjós. Il·lustracions com ara pintures, fotografies, taules, dibuixos, esquemes, fórmules, etc. ajuden a descobrir alguns aspectes de les imatges que poden servir per afavorir la participació en els debats i així poder compartir interpretacions (Mazzolini, 1993, p. viii-xi).¹ Les imatges històriques de temàtica científica poden facilitar la introducció i la discussió de qüestions generals com ara el marc mental d'un científic, la seva pràctica real de la ciència, la cultura material o els espais de pràctica científica d'una època. Es tracta, doncs, de fer accessible la història de la ciència mitjançant les seves imatges i no tant d'introduir-la a través dels seus continguts més acadèmics.

Tot i que les imatges es poden utilitzar de diferents maneres per facilitar que una audiència compregui allò que se li explica, les imatges en l'àmbit de les ciències no es consideren descripcions autosuficients. Cal distingir entre dos tipus d'imatges, les que acompanyen un text explicatiu i les imatges independents sense cap text de referència. En les primeres, com ara la cubeta pneumàtica de Priestley (vegeu la figura 1), qualsevol interpretació adequada de la imatge requereix la comprensió del text que l'acompanya. En aquest cas, la imatge resulta ser un bon recurs per immersir el professorat de ciències en alguns aspectes de la història dels gasos útils, necessaris per a la seva formació com a docents (Grapí, 2017).

1 A partir d'ara, el terme *imatge* s'utilitzarà en un sentit molt ampli com a sinònim de "recurs no verbal".

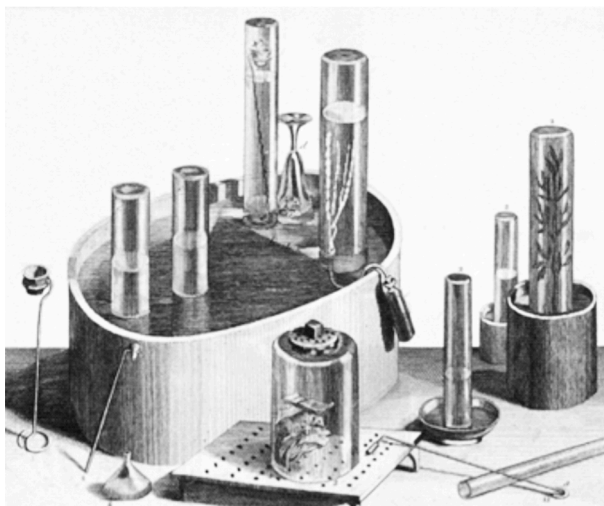


Fig. 1. Cubeta pneumàtica de Joseph Priestley

Nota: *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, làmina davant de la portada (1775).

En el segon tipus d'imatges, els autors de les il·lustracions utilitzen estratègies per convèncer, persuadir o dissuadir de la seva concepció sobre una determinada temàtica (Lynch, 1990). Així, l'autor-artista disposa de llibertat per seleccionar —fins i tot eliminar—, ordenar i ubicar objectes, persones i detalls de la composició de la imatge en funció de les idees que vol transmetre. A més, pot escollir una determinada perspectiva o uns efectes cromàtics concrets per enfocar l'atenció sobre unes zones, persones o objectes en preferència a d'altres (Myers, 1990). Un bon exemple d'aquest segon tipus d'imatges és el retrat d'Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) i la seva dona Marie-Anne Pierrette Paulze (1758-1836), pintat per Jacques-Louis David (1748-1825), i que és segurament la representació iconogràfica més famosa de la química moderna i dels Lavoisiers (vegeu la figura 2). Tot i que aquesta pintura elegant no és el nucli d'aquest article, ens serà útil per presentar els principals actors dels dos dibuixos sèpia de Paulze-Lavoisier que seran el centre d'interès de l'article.²

2 D'ara en endavant anomenarem Marie-Anne Pierrette Paulze Lavoisier amb el cognoms Paulze-Lavoisier.



Fig. 2. Retrat d'Antoine-Laurent i Marie-Anne Pierrette Paulze Lavoisier

Nota: *Portrait de Monsieur Lavoisier et de sa femme*, Jacques-Louis David, 1788, Metropolitan Museum of Art, Nova York. Imatge procedent de Wikimedia Commons, de domini públic.

David va pintar Paulze-Lavoisier com una dona que comparteix l'atenció tant del seu marit, que l'està mirant, com de l'artista a qui ella està mirant. Aquesta percepció ha dut a atorgar-li el rol de musa inspiradora tant per a David com per a Lavoisier. Un element del retrat que reforçaria aquest paper intermediari entre tots dos és la carpeta de dibuixos –al fons a mà esquerra–, que podria contenir els dibuixos i gravats de les tretze làmines que Paulze-Lavoisier hauria fet per il·lustrar el *Traité élémentaire de chimie*, publicat l'abril del 1789, poc després de finalitzar aquesta pintura (Beretta, 2001, p. 27-28). La justificació per aquesta connexió rau en el fet que ella era una alumna de David, del qual havia rebut classes de dibuix des del 1786 (Duveen, 1953, p. 17-19). Pel que fa a Lavoisier, cal destacar que està escrivint i no realitzant experiments, no apareix com un descobridor de fets sinó com un autor de noves teories. Què significa què Lavoisier aparegui escrivint? Aquesta zona del retrat captura la part final d'una recerca, just quan l'investigador ha arribat a unes conclusions prou fonamentades com per redactar una memòria que ha de permetre fer públics, replicables i contrastables tant uns nous coneixements com els experiments que els acompanyen (Donovan, 1996, p. 142-143). Tot i que el retrat de David conté elements que fan referència a la part experimental prèvia a la redacció

de les conclusions, com són els instruments que hi ha sobre la taula i al terra, no mostra la vida d'un laboratori en acció.³

Els dos dibuixos sèpia de Paulze-Lavoisier

A diferència del retrat dels Lavoisier, els dos dibuixos sèpia realitzats per Paulze-Lavoisier capturen dos instants de l'activitat experimental en un laboratori de química, certament privilegiat, de final del segle XVIII (vegeu la Figura 3).⁴ Ambdós dibuixos, datats al voltant del 1790, ens il·lustren la vida en un laboratori de química de l'època i el primer experiment conegut sobre la fisiologia de la respiració humana. En aquest aspecte, són uns documents excepcionals perquè no es disposa de cap evidència textual sobre la instrumentació utilitzada per Lavoisier per dur a terme aquests experiments. Però el fet que Lavoisier supervisés personalment l'elaboració dels dibuixos amb la idea de ser reproduïts en la publicació de les que serien les seves pòstumes *Mémoires de physique et de chimie* els hi atorga un valor afegit (Beretta, 2012, p. 186). Això és així perquè els dibuixos són quelcom més que l'exposició del punt de vista de Paulze-Lavoisier, també representen la percepció que el mateix Lavoisier volia transmetre de la seva manera de concebre la recerca experimental. Malauradament, no hi ha cap text que acompanyi els dibuixos, per la qual cosa la seva interpretació ha restat oberta.⁵

La ubicació del laboratori i els actors de l'experiment

Ambdós dibuixos mostren dues vistes d'un mateix espai ampli i ben il·luminat, amb unes parets arquejades que el situarien a l'àtic de l'edifici de dos pisos que des del 1776 acollia el laboratori de Lavoisier al Petit Arsenal de París (Beretta & Brenni, 2022, p. 62-69; Antonelli, 2022a, p. 126-143; Beretta, 2012, p. 185).⁶

-
- 3 El 2021 es van publicar dos articles que presentaven els resultats de les anàlisis realitzades durant la restauració del retrat dels Lavoisier, tot formulant-ne una nova interpretació. Aquesta situació va dur Marco Beretta a proposar una interpretació diferent, en què va mostrar dues maneres complementàries de representar les activitats científiques que duïen a terme els Lavoisier (Beretta, 2023).
 - 4 Cadascun té unes dimensions de 36 × 22 cm i varen ser reproduïts per primera vegada el 1888 en la biografia de Lavoisier que va escriure Edouard Grimaux (Grimaux 1896, p. 127-128).
 - 5 L'estudi més recent sobre la rellevància de Marie-Anne Paulze-Lavoisier en la promoció de la nova química de Lavoisier és Antonelli (2022 a, b).
 - 6 La ubicació d'aquest edifici es correspondria actualment a la cantonada entre el boulevard Bourdon i la rue Bassompierre, prop de la plaça de la Bastille.

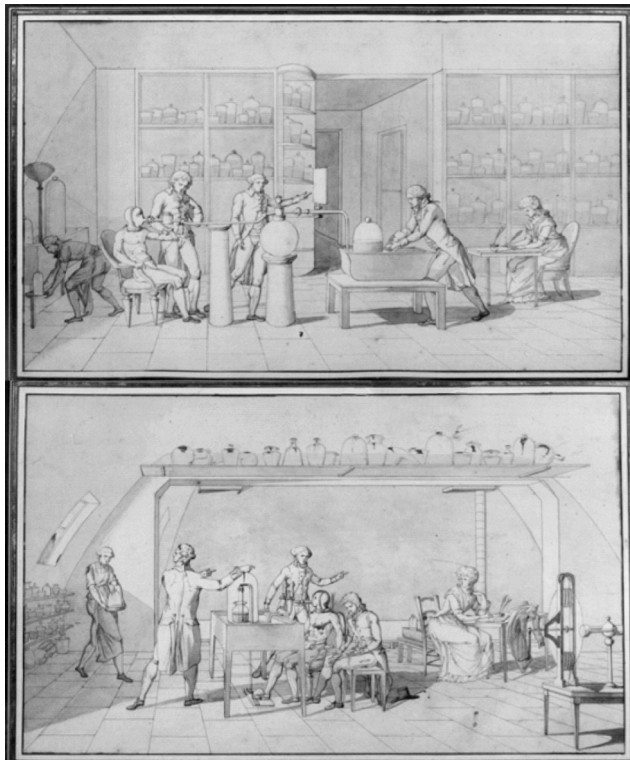


Fig. 3. Dibuixos sèpia de Paulze-Lavoisier dels experiments sobre la respiració humana
Nota: Aquests experiments varen ser duts a terme per Lavoisier al laboratori de l'Arsenal, circa 1790. Col·lecció privada. Cortesia de Panopticon Lavoisier.
<http://moro.imss.fi.it/lavoisier/compdetail.asp?compid=14769>

El primer d'aquests dibuixos permet iniciar un recorregut —d'esquerra a dreta— per identificar-ne els actors. Un ajudant de laboratori (un laborant o *garçon de laboratoire*) que tragina algun dispositiu experimental complint les ordres del director de l'experiment. Assegut i amb una màscara s'hi troba Armand Séguin (1767-1835), que hi participa com a subjecte de l'experiment. No es disposa de massa informació sobre Séguin i, en particular, de quan va començar a interessar-se per la química i a col·laborar amb Lavoisier. Aquesta col·laboració va començar a partir del 1785 com a ajudant de laboratori, va esdevenir més estreta abans del mes d'agost del 1788 i es va consolidar a partir del 1789 amb els primers treballs experimentals sobre la fisiologia de la respiració.

Al costat de Séguin, dempeus, hi ha un metge, probablement l'escocès Hugh Gillan (?-1798), del qual se sap que va participar en aquests experiments i que està prenent el pols a Séguin. A la seva esquerra, pràcticament en el centre del dibuix, hi hauria Lavoisier, que dirigeix l'experiment, dona ordres i dicta dades i observacions a Paulze-

Lavoisier, asseguda a la dreta del dibuix. Entremig de tots apareix un tercer col·laborador, que podria ser el químic Jean-Henri Hassenfratz (1755-1827) del qual es té constància de la seva participació en alguns d'aquests experiments i de la seva bona amistat amb Paulze-Lavoisier.⁷

En ambdós dibuixos, a diferència del retrat de David on Paulze-Lavoisier estava dempeus, ella és va dibuixar asseguda com una col·laboradora més del procés experimental, registrant dades i observacions de l'experiment que li dicta el seu marit. Probablement, conscient que aquest laboratori representava un espai privilegiat de la nova química, Paulze-Lavoisier s'hi va reservar un lloc com a part activa de l'esdeveniment, ben diferent de l'actitud contemplativa i passiva amb la qual David l'havia pintat (Vidal, 1995, p. 613-617). Les aportacions de Paulze-Lavoisier a la nova química van anar, no obstant, més enllà de les làmines dibuixades pel *Traité élémentaire de chimie* i d'aquests dos dibuixos. Ella va traduir de l'anglès i va escriure el prefaci de la versió francesa de l'obra del químic anglès Richard Kirwan *An Essay on Phlogiston*, traduïda com a *Essai sur le phlogistique* i publicada el setembre del 1788. Cal tenir present que Lavoisier, a diferència de Paulze-Lavoisier, no sabia anglès. L'edició d'aquesta traducció va permetre a Lavoisier i els seus col·laboradors —Guyton de Morveau, Laplace, Monge, Berthollet i Fourcroy— escriure l'aparell crític de l'obra per bastir tota una ofensiva contra la teoria del flogist. Val a dir, però, que Paulze-Lavoisier no hi apareix ni com a traductora ni com a autora del prefaci d'aquesta obra.

Experiments i instrumentació

Ambdós dibuixos representen els primer experiments sobre la fisiologia de la respiració humana. L'objectiu era mesurar el ritme de la respiració en diverses condicions fisiològiques, tot i que els primers experiments encara es van fer amb animals. Lavoisier va començar a considerar que el producte de la respiració no era tan sols l'aire fix (diòxid de carboni) sinó, també, l'aigua.⁸ Aquesta hipòtesi va plantejar, però, un problema, atès que mesurar la respiració en termes del consum d'oxigen, la part comuna a l'aire fix i a l'aigua, ja no es podia fer a partir de la pèrdua de volum de l'aire respirat un cop eliminat l'aire fix. La solució al problema va consistir en utilitzar mitjans eudiomètrics per determinar la quantitat d'oxigen abans i després de la respiració (Holmes, 1985, p. 441-443).

7 Marco Beretta ha proposat aquesta probable identificació de Lavoisier comparant ambdós dibuixos amb uns altres dos dibuixos que la mateixa Paulze-Lavoisier va fer sobre aquestes mateixes experiències i que estan custodiats a la biblioteca del Wellcome Institute de Londres (Beretta, 2012, p. 186-187).

8 De fet, Lavoisier creia que la finalitat de la respiració no era proporcionar oxigen al cos sinó calor.

En la composició dels dos dibuixos la part central està ocupada precisament pel disseny experimental, la qual cosa enfoca la visió de l'espectador tant en l'execució de l'experiment com en els experimentadors. En el primer dibuix es representa un experiment sobre la respiració d'una persona (Séguin) en repòs, asseguda i respirant a través d'una màscara de coure connectada a un aparell espiromètric —un metabolisme basal— mentre que en el segon dibuix es descriu la mateixa experiència però en una situació d'exercici físic. En aquest mateix dibuix es pot observar com el peu dret de Séguin està fixat a una planxa articulada que formaria part d'un artefacte dissenyat per mesurar l'esforç —el treball— realitzat.

Més enllà de l'experiment en particular, ambdós dibuixos mostren un conjunt d'estrís i flascons —la majoria de vidre— destinats a guardar, transferir, modificar i mesurar gasos. Es pot afirmar, doncs, que, a part de les figures humanes i dels instruments materials, en ambdues il·lustracions hi ha un protagonista ocult, imperceptible a la nostra visió, i que no és altre que l'estat gasós. En aquest sentit, els dibuixos també es poden considerar com una mena de postal de presentació de la nova química —la revolució química de final del segle XVIII— associada a la figura de Lavoisier. Aquesta revolució química es un episodi realment complex i polièdric en què la teoria de l'oxigen per interpretar combustions i calcinacions és, potser, la perspectiva més recurrent però no pas l'única. La revolució química de Lavoisier també es pot contemplar des de la perspectiva, entre d'altres i sobretot, d'una conceptualització de l'estat gasós. És aquesta visió la que Paulze-Lavoisier va voler capturar amb els seus dos dibuixos.

Si abans hem recorregut un d'aquests dibuixos per reconèixer els personatges que hi figuren, ara ho tornarem a fer però per descobrir la instrumentació que s'hi representa i que va ser essencial en la nova concepció de l'estat gasós. Al bell mig del primer dibuix, formant part de l'equip experimental, hi ha un dispositiu simple però que va resultar ser enormement versàtil a l'hora de recollir, guardar i transferir gasos. Es tracta de la cubeta pneumàtica que servia en l'experiment sobre la respiració per recollir l'aire exhalat per Séguin. Lavoisier va començar utilitzant cubetes ovalades —com la utilitzada per Priestley (vegeu la figura 1) fetes amb dogues unides amb cercols de ferro, però aviat va adonar-se del seu gran inconvenient: la manca d'estanquitat. Per això va decidir fer-se fer cubetes rectangulars de fusta folrades de plom o de coure, tot i ser més cares de construir (Lavoisier, 1789, vol. 2, p. 344-345).⁹

A part de l'estanquitat, les cubetes d'aigua tenien el greu inconvenient que alguns gasos eren absorbits per l'aigua sense que l'experimentador ho notés. Durant força temps la formació de diòxid de carboni i de vapor d'aigua no va ser percebuda per

9 D'acord amb l'inventari que es va fer del seu laboratori, Lavoisier disposava almenys de tres cubetes: dues folrades de plom (longitud: 80 cm; amplada: 48 cm; alçada: 48 cm, amb una gradeta de 27 cm de llargada fixada a 37 cm del fons) i una altra de folrada de coure envernissat (Daumas, 1955, p. 117).

aquest motiu. Priestley, primer, i Lavoisier, després, van solucionar d'entrada aquesta dificultat afegint una capa d'oli sobre la superfície de l'aigua. Més endavant, seguint les indicacions de Cavendish i Priestley, Lavoisier va substituir l'aigua per mercuri. Ara bé, les cubetes amb mercuri no podien estar fetes de fusta com les que contenien aigua. Per aquest cas, Lavoisier va trobar en el marbre el material més adient per fer servir el mercuri.¹⁰

Uns estris complementaris a les cubetes per a l'estudi dels gasos eren les campanes de vidre que es feien servir per recollir i guardar gasos i poder transferir-los d'un aparell a un altre. En ambdós dibuixos es poden visualitzar, a més de la cubeta, diverses campanes de vidre en les estanteries i en una operació de transport de gasos executada per l'ajudant de laboratori mitjançant una safata i una campana. En aquest mateix dibuix, s'hi pot veure també, connectat a la campana de la cubeta, un altre tipus de recipient que esdevindria essencial en les recerques de Lavoisier: es tracta del matràs de fons rodó o baló. Aquest recipient contenia una solució alcalina, probablement d'hidròxid de potassi, pensada com una trampa de gasos per absorbir el diòxid de carboni exhalat per Séguin. Lavoisier va considerar que aquest dispositiu era absolutament necessari per executar l'experiment, atès que atribuïa a la respiració d'un aire exhalat, i amb un contingut important de diòxid de carboni, efectes força nocius per a la salut (Prinz, 2005, p. 47).

L'electricitat entra en els laboratoris de química

A la dreta de la part inferior del segon dibuix s'hi pot veure un instrument que sovint s'ha considerat com un element merament decoratiu; es tracta d'una màquina elèctrica de Ramsden, que generava descàrregues per fricció. Aquest instrument, però, va ser quelcom més que un recurs artístic.

És prou conegut que el descobriment de la pila elèctrica per part de Volta al principi del segle XIX va obrir als químics les fronteres d'un nou territori que va resultar força fructífer en exploracions pràctiques, innovacions teòriques, descobriments de nous elements i disseny d'una nova instrumentació de laboratori. No obstant això, va ser durant el segle XVIII que l'electricitat en forma de guspises va entrar en les pràctiques químiques. L'electrificació de la química durant el segle XVIII va suposar un apropament de l'àmbit de la química al de la física experimental. Els instruments elèctrics (màquines elèctriques, ampolles de Leyden i electròfors) van començar a ser habituals en els laboratoris de química al costat d'altres instruments de la física experimental com la bomba de buit, el termòmetre o el baròmetre (Grapí, 2008).

10 Lavoisier disposava, aparentment, de dues cubetes de marbre (Lavoisier, 1789, 2, p. 345-346) que, a més, utilitzava com a recipient per guardar el mercuri. També disposava d'una quantitat molt considerable de mercuri en el seu laboratori, aparentment unes 250 lliures (uns 120 kg de mercuri!) (Young, 1792, p. 64-65).

La màquina elèctrica del segon dibuix l'havia utilitzat Lavoisier en el seu famós experiment a gran escala de febrer del 1785 per produir les descàrregues elèctriques necessàries per a la síntesi de l'aigua a partir d'una mescla d'oxigen i hidrogen. El laboratori de Lavoisier disposava d'altres instruments elèctrics, com ara dues màquines elèctriques més, un electròfor, quatre electroscopis i una bateria de seixanta ampolles de Leyden.¹¹ L'ampolla de Leyden era una instrument més portable que la màquina elèctrica i podia utilitzar-se per produir descarregues elèctriques d'una intensitat suficient per a determinats experiments. En particular s'utilitzava, un cop carregada amb una màquina elèctrica, per produir descàrregues elèctriques en un eudiòmetre de Volta per analitzar el contingut d'oxigen en una mescla gasosa.¹² Així doncs, el fet que el segon dibuix de Paulze-Lavoisier mostri una màquina elèctrica tindria el seu sentit en el context dels experiments sobre la respiració humana. La màquina hauria servit per carregar una ampolla de Leyden que al seu torn s'hauria descarregat en l'eudiòmetre de Volta per mesurar el contingut d'oxigen de l'aire respirat i exhalat per Séguin.

A manera de conclusió

Els dos dibuixos de Paulze-Lavoisier, que il·lustren experiments sobre respiració humana realitzats per Lavoisier i els seus col·legues en el seu laboratori de l'Arsenal, es poden utilitzar per debatre aspectes tan diversos com ara la interacció entre les visions teòriques i el disseny de dispositius experimentals, la versatilitat d'un determinat aparell de laboratori, les limitacions i els riscos dels materials utilitzats en els dissenys experimentals, els coneixements tàcits en la pràctica de la química i la divisió del treball en la vida d'un laboratori en l'època de Lavoisier. No cal dir que l'altre tema principal que suggereixen aquests dibuixos és el del paper de les dones en la recerca científica.

Les imatges són recursos potents perquè són capaços d'oferir visions i interpretacions sobre un tema, millorant i complementant les que sorgeixen només de fonts textuais. Un pot adonar-se fàcilment de la importància de les imatges quan les troba a faltar en actes comunicatius. És per totes aquestes raons que les imatges històriques de la química poden esdevenir un recurs didàctic amb el qual el professorat de ciències pot apropar-se a la història de les ciències. Afortunadament, la història de la química és prou rica com per proporcionar-nos imatges adients per assolir aquest objectiu.

11 Un inventari actualitzat dels instruments de Lavoisier es troba a Beretta & Brenni (2022, p. 153-161).

12 Hi ha constància que Lavoisier disposava d'un eudiòmetre i que l'havia utilitzat en les seves recerques relatives a la síntesi de l'aigua (Beretta, 2001, p. 46-47).

Referències

- Antonelli, F. (2022a). *Scrivere e sperimentare. Marie-Anne Paulze-Lavoisier, segretaria della "nuova chimica" (1771-1836)*. Viella. DOI:10.52056/9791254693018
- Antonelli, F. (2022b). "Becoming Visible. Marie-Anne Paulze-Lavoisier and the Campaign for the 'New Chemistry' (1770s-1790s)". *Ambix*, 69(3), 221-242. DOI: 10.1080/00026980.2022.2091352
- Beretta, M. (2001). *Imaging a Career in Science. The Iconography of Antoine Laurent Lavoisier*. Science History Publications.
- Beretta, M. (2012). "Imaging the Experiments on Respiration and Transpiration of Lavoisier and Séguin: Two Unknown Drawings by Madame Lavoisier". *Nuncius*, 27, 163-191. DOI: 10.1163/182539112X637200
- Beretta, M. & Brenni, P. (2022). *The Arsenal of Eighteenth-Century Chemistry. The laboratories of Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794)*. Brill.
- Beretta, M. (2023). "Rivoluzione Chimica o Antico Regime? Una Nuova Interpretazione del Ritratto di Jacques-Louis David dei Coniugi Lavoisier". *Scientia*, 1(1), 11-44. DOI: 10.53134/2974-9433-202301-011
- Daumas, M. (1955). *Lavoisier. Théoricien et expérimentateur*. Presses Universitaires de France.
- Donovan, A. (1996). "Lavoisier and David. Science, Art and Revolution". *Lavoisier i els orígens de la química moderna, 200 anys després, 1794-1994*, (133-146). Institut d'Estudis Catalans – Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica.
- Duveen, I. D. (1953). "Madame Lavoisier, 1758-1836". *Chymia*, 4, 13-19.
- Grapí, P. (2008). "L'electrificació de la química al segle XVIII. Una xarxa de guspies". *Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, (65-74). Institut d'Estudis Catalans – Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica. DOI: 10.2436/20.2006.01.7
- Grapí, P. & Izquierdo, M. (1997). "Berthollet's Conception of Chemical Change in Context". *Ambix*, 44, (3), 113-130.
- Grapí, P. (2017). "Approaching the History of Science Through its Images in Science Teacher Education". *L'actualité chimique*, 421, 52-55.
- Grimaux, E. (1896). *Lavoisier, 1743-1794. Sa correspondance, ses manuscrits, ses papiers de famille et d'autres documents inédits*. Félix Alcan.
- Holmes, F. L. (1985). *Lavoisier and the Chemistry of Life. An Exploration of Scientific Creativity*. The University of Wisconsin Press.
- Izquierdo, M. & Grapí, P. (1994). "Valoración de la obra de Proust y Berthollet en los textos de química general". *Llull*, 17(33), 325-342.
- Lavoisier, A. L. (1789). *Traité élémentaire de chimie*. 2 vols. Cuchet.
- Lynch, M. (1990). "The Externalized Retina: Selection and Mathematization in the Visual Documentation of Objects in the Life Sciences". *Representation in Scientific Practice*, (153-186) The MIT Press.
- Mazzolini, R. G. (ed.). (1993). *Non-Verbal Communication in Science Prior to 1900*. Leo S. Olschki.

- Myers, G. (1990). "Every Picture Tells a Story. Illustrations in E. O. Wilson's Sociobiology". *Representation in Scientific Practice*, (231-266). The MIT Press.
- Prinz, J. P. (2005). "Lavoisier Experimental Method of his Research of Human Respiration". *Lavoisier in Perspective*, (43-52). Deutsches Museum.
- Vidal, M. (1995). "David Among the Moderns: Art, Science, and the Lavoisiers". *Journal of the History of Ideas*, 56(4), 595-623.
- Young, A. (1792). *Travels During the Years 1787, 1788 and 1789*. W. Richardson.

TERCERA PARTE

Propuestas y desarrollos didácticos
del modelo cognitivo de ciencia escolar
a la enseñanza y la formación docente

Un recorrido hacia la modelización culturalmente sensible

Adrianna Gómez-Galindo
Cinvestav Monterrey, México
agomez@cinvestav.mx

Resumen

En este capítulo presento, a modo de narrativa, un recorrido de aprendizaje sobre modelos y modelización, que va desde desarrollar procesos de modelización sobre seres vivos en los incendios forestales y el análisis de la gestión de la conversación, al desarrollo de progresiones de aprendizaje basadas en modelización para la función relación y otras asociadas a los seres vivos y, finalmente, la propuesta de modelización culturalmente sensible que busca poner al centro las afiliaciones del alumnado, modelando hechos culturalmente relevantes. En esta historia se resaltó algunos aprendizajes significativos especialmente asociados al diseño de secuencias didácticas y al para qué modelizar en la escuela, en el contexto latinoamericano.

Palabras clave: Enseñanza de la biología, modelización, investigación social, educación y cultura.

Introducción: El camino andado

En este capítulo narro mi experiencia con los modelos y la modelización. En el tiempo que llevo trabajando con estos temas, desde mi paso por el doctorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales en la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) hasta el momento actual, he ido transitando por diversas formas de enfrentar su investigación. Describo tres etapas que surgen a partir de preguntas y preocupaciones derivadas de analizar el aprendizaje.

La primera etapa se sitúa durante mi trabajo en el doctorado en la UAB, donde la principal preocupación fue entender cómo desarrollar procesos de modelización en el aula. Trabajé el tema de incendios forestales con alumnos de primaria. Posteriormente, a mi regreso a México, diseño y aplico secuencias didácticas basadas en modelización, considerando las progresiones de aprendizaje del modelo ser vivo. La tercera etapa, aun en marcha, tiene como preocupación central el cómo lograr que los modelos construidos por el alumnado tengan para ellos significatividad personal y cultural.

Aunque escribo en primera persona, este camino lo he ido recorriendo al lado de maestras, compañeras y amigas que me han llevado de la mano. En la UAB, sin duda, fue primordial el acompañamiento de Neus Sanmartí, Mercè Izquierdo, Rosa María Pujol y Pilar García, así como el de mis compañeras y compañeros de doctorado. La primera vez que escuche a Mercè hablar de modelización quede “enganchada” para siempre. Me pareció fascinante la propuesta, aunque no la podía comprender cabalmente. Por todo ello entiendo cuando los alumnos, a los que ahora me toca acompañar, señalan que esto de los modelos y la modelización es muy complejo.

Se pensaría que primero hay que entender los modelos y luego emprender procesos de modelización. En la realidad del aprendizaje, sabemos que no es así. El aprendizaje no se da en forma lineal y no es necesario dominar un tema para pasar a la práctica, se trata de un camino en dónde, como nos ha enseñado Mercè Izquierdo (2007), pensamiento, lenguaje y acción se influyen mutuamente.

Aclaro desde este inicio, que estaré escribiendo desde el marco teórico y metodológico que hoy tengo, aunque relate acciones y decisiones del pasado, en el que mis marcos eran diferentes. Puntualizaré, en lo posible, las preguntas y, algunas veces, la forma en que entendía algunos procesos (o no entendía), cuando sea necesario para la comprensión de las etapas.

Desarrollo: caminando ando

1ª etapa. Aprendiendo a desarrollar procesos de modelización.

La idea de modelos me pareció muy sugestiva por la forma en que se recupera el conocimiento disciplinar, y dada mi formación como bióloga, vi una herramienta que invita a abordar la enseñanza de esta disciplina. Debido a que tuve formación como maestra de infantil y tenía trabajo docente también en bachillerato, me interesó aprender cómo realizar procesos de modelización en el aula y analizar los procesos de aprendizaje del alumnado.

Durante el doctorado (2000-2005), me propuse aprender a modelizar. Neus Sanmartí me apoyo para integrarme al trabajo en el aula en primaria con la profesora Teresa Pigrau, con quien estuve colaborando tres años. Los incendios forestales eran una temática de interés para Teresa, debido a su incidencia y afectación a la zona mediterránea. Para aprender a modelizar diseñé y apliqué una secuencia didáctica; tras analizarla, identifiqué elementos para su mejora y al año siguiente la volví a aplicar; repitiendo este proceso, la diseñé y apliqué una tercera vez. Fueron tres años de trabajo en el aula y análisis de resultados para lograr empezar a promover este proceso. El análisis de ello se encuentra en la tesis (Gómez Galindo, 2005) y en un trabajo de congreso (Gómez Galindo, 2007).

Algunos elementos clave para aprender a modelizar, fueron:

Determinar cuál es el modelo que se trabaja en el aula. Los incendios forestales, como otros fenómenos, pueden explicarse desde varios modelos teóricos (Buckley, Passmore, Svoboda & Giere, 2014). La falta de claridad sobre el modelo a trabajar generó, en la primera secuencia didáctica, poca distinción entre modelos asociados a ser vivo y a ecosistema. Agradezco a Rosa María Pujol haberme hecho notar esta confusión, que dio pie a la propuesta de integración de escalas de observación, que desarrollé en mi tesis y fue piedra angular de mi trabajo. Así, aprendí que es importante definir el modelo a trabajar y elaborar las ideas clave que se busca promover. Sin embargo, también he aprendido que la comprensión de las ideas científicas asociadas al modelo se va profundizando a medida que se planifica y aplica la secuencia didáctica. La explicación de muchos hechos del mundo es difícil de encontrar directamente en la bibliografía y, por lo general, hay que aprender también a reconstruir las explicaciones científicas sobre el tema, en particular acudir a la historia y filosofía de la ciencia.

Planificación de actividades. Para ello encontré valioso plantearse las preguntas guía de la secuencia y las explicaciones que tendrá que construir el alumnado. Primero, entenderlo bien desde las propuestas científicas para poder realizar los procesos de transposición didáctica. Una vez se definen las ideas clave del modelo, se re-elaboran pensando en los alumnos, en los recursos, tiempos, etc. Al mismo tiempo en que se piensa cómo se va a promover que el alumnado desarrolle estas ideas. Aquí, me fue útil parcializar ideas y generar progresiones, además de buscar antecedentes. Así también, pensamos una lógica en la construcción de las ideas centrales. Llegar a una idea central implica ir entendiendo algunos aspectos o relaciones básicas; un ejemplo podemos encontrarlo en el Cuadro 1.

Gestionar actividades y conversación. Esta gestión incluye usar mediadores, como en mi caso fue una maqueta, e incluir de forma razonable experimentos, analogías, simulaciones, etc. El alumnado irá construyendo ideas similares a las planteadas, pero no iguales, esto lo tenemos claro. Sin embargo, ir dando sentido a la diferencia entre enseñanza y aprendizaje no es tan intuitivo y tiene sus recovecos. La gestión de la conversación y de las actividades debe permitir a todos los alumnos sumarse al intercambio de ideas y a los ejercicios. Dado que vamos construyendo con cierta progresión, es necesario volver y retomar, puesto que sabemos que el aprendizaje no es un proceso lineal, aunque parezca que se considera así al realizar la progresión de ideas parciales. En la gestión de las actividades se integran la regulación y retroalimentación, para ello todas las propuestas de Neus Sanmartí (2007) son invaluable. La progresión de ideas se va adaptando y enriqueciendo constantemente.

Modelo	Idea central	Ideas parciales
<i>Niños y niñas de 10 años de edad trabajando con incendios forestales</i>		
Ser vivo, función relación.	Los seres vivos que huyen del incendio son capaces de captar estímulos del medio y reaccionar a estos.	<p>Identificar y caracterizar algunos estímulos, por ejemplo, cambios en la temperatura. Describir cómo es que las personas podemos identificar esos cambios (temperatura, por ejemplo).</p> <p>Explicar qué sucede dentro de nuestro cuerpo para sentir el calor o el frío, transporte y procesamiento de estímulos.</p> <p>Ampliar la idea de estímulo a otras sensaciones, como olores, ruido, etc.</p> <p>Identificar estímulo, procesamiento, respuesta (sistema nervioso).</p> <p>Ampliar a otros seres vivos, por ejemplo, las aves que huyen del incendio (idea que ya mencionaron los niños en la exploración). Qué estímulos pueden captar las aves.</p> <p>Aplicar estímulo, procesamiento, respuesta en aves.</p> <p>Ampliar a otros seres vivos, en el contexto del incendio</p> <p>Elaborar la idea de la diversidad de posibilidades de captar estímulos y responder en diferentes animales.</p>

Cuadro 1. Ejemplo de ideas parciales para planificar el proceso de modelización.

2ª etapa. Desarrollo de progresiones de aprendizaje.

Tal como señalé en la primera etapa, me ha sido útil, para el diseño de procesos de modelización, ir desglosando las ideas centrales, pensando en cuál puede ser la lógica de los y las alumnas y considerando las recomendaciones de la bibliografía. En esta segunda etapa la preocupación fue el logro de desarrollos curriculares basados en modelización. Es decir, los modelos deben también ir siendo más robustos, coherentes y complejos a lo largo del tránsito por la escuela. Así, con el financiamiento de un proyecto del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología de México (Conahcyt), trabajé con la función relación en educación infantil, primaria y secundaria (de 5 a 13 años). Tomando la idea de modelos intermediarios de Clement (2000), planifiqué y desarrollé cinco secuencias didácticas, pensando en una progresión del aprendizaje.

Si bien no me fue posible dar seguimiento a un grupo de niños desde sus 5 años hasta los 13, sí desarrollamos secuencias didácticas en grupos de alumnos de las edades

señaladas. Al lado de estas actividades se generó un proceso de formación docente, ya que el proyecto se implementó en una escuela incorporando a todos los alumnos y profesores. En cada secuencia didáctica analicé los procesos de modelización, considerando las conversaciones de la docente y los alumnos y las de los alumnos entre sí. Así, algo de lo aprendido en esta etapa fue:

El uso versátil de dibujos, maquetas y textos es importante para permitir la expresión de las ideas construidas. Cabe señalar que, en esta etapa, me adherí a la idea de que los modelos son abstractos y generan representaciones concretas. Así los dibujos, maquetas, palabras y textos son representaciones del modelo. Coincido aquí con la propuesta de Buckley (2000), Passmore, Svoboda & Giere (2014), entre otros.

En mi trabajo de investigación he identificado que los distintos soportes semióticos empleados por los alumnos (dibujos, maquetas, textos) iluminan diferentes aspectos del modelo que construyen y, usados de forma combinada, mejoran su comunicación. Para los alumnos no es lo mismo explicar con textos que con maquetas o dibujos. También he señalado las consecuencias asociadas a la planificación de las actividades en los procesos de modelización y en las evaluaciones (Gómez Galindo, 2008).

Promover que el alumnado se apropie del lenguaje científico dándole significado, implica la construcción de un lenguaje propio, que funciona como analogía para relaciones o entidades del modelo. Una vez que este tiene sentido para ellos, incorporándolo a sus explicaciones, entonces introducir la palabra científica. Podemos decir que la definición es lo último que se introduce; en términos de la planificación adoptada por Neus Sanmartí, se trata de la fase de síntesis.

En ese sentido, la integración de convenios y convencionalismos se maneja en la clase como formas de incorporar miradas y nombrar las “cosas” o ideas nuevas. Esta actividad, propia de la comunidad científica, se instaura en el proceso de modelización de forma natural cuando el docente no se apresura a integrar información abstracta que aún no es comprendida por los alumnos. Un ejemplo fue cuando los niños de infantil (4, 5 y 6 años) empezaron a nombrar como “cablecitos” a los tubitos que llevan la información desde los órganos de los sentidos al cerebro.

Al diseñar, aplicar y analizar estas cinco secuencias didácticas, y otras en esta etapa, lo que me quedó muy claro es que no es posible tener recetas para promover la modelización de un hecho del mundo. Al analizar cada secuencia didáctica, observé que las dinámicas, los procesos y finalmente las preguntas de investigación que surgen, son diversas. Por ello, hablar de investigación en modelos y en modelización, desde mi punto de vista, no es lo mismo.

Al mismo tiempo, comprender las teorías como conjunto de modelos organizados y jerarquizados (Giere, 1992) y los modelos como “realizaciones posibles” de la

teoría en el mundo (Adúriz-Bravo, 2010), son dos ideas clave que han guiado mi trabajo. Estas han dado pie a una larga reflexión que se ha venido desarrollando en la etapa 3.

3ª etapa. Modelización culturalmente sensible.

Al llegar a esta etapa, me considero capaz de desarrollar y analizar procesos de modelización en el aula, en el área de seres vivos. Entonces, la preocupación fue cómo lograr una mayor significatividad de esas construcciones para el alumnado. Un punto de inflexión importante ocurrió en mi estancia sabática con Alejandra García Franco, en la Universidad Autónoma de México, Cuajimalpa. Ella trabaja con educación científica intercultural. Apropiarme de estas propuestas ha sido un nuevo reto, e integrar modelización e interculturalidad más aún. Esto, aunado a mi trabajo con los grupos indígenas en México, ha resultado en propuestas asociadas a una modelización culturalmente sensible (MCS).

Algunas ideas centrales de la MCS tienen que ver con modificar los procesos de planificación. Anteriormente señalé la importancia de definir las ideas del modelo, desglosarlas y planificar actividades. Las ideas científicas son la base de la planificación en una modelización tradicional. Pero para la MCS partimos de los hechos del mundo que se pretende modelizar (ver Figura 1).

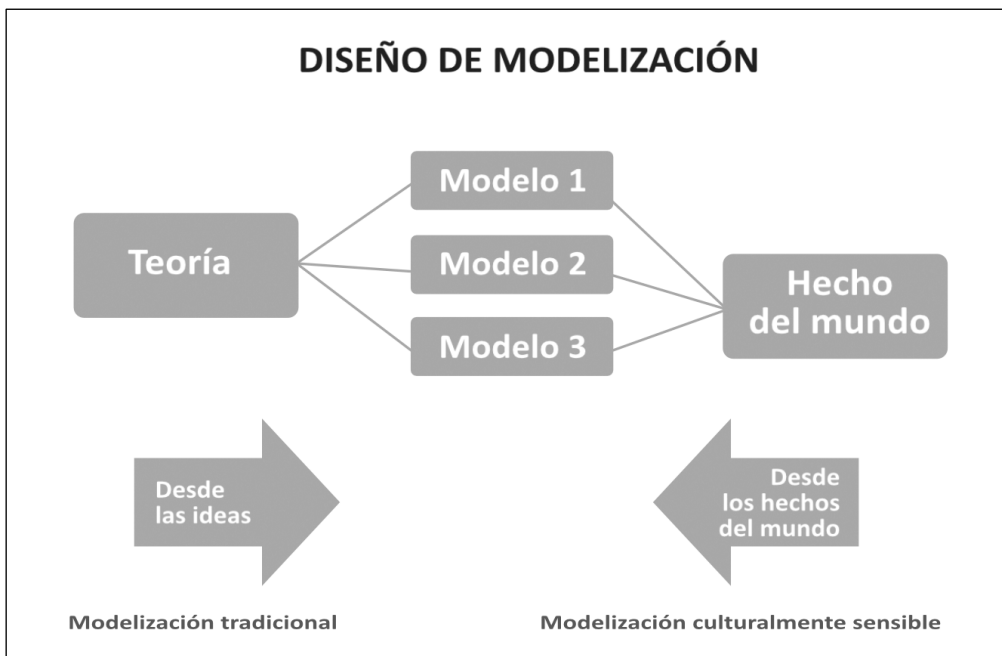


Figura 1. Formas de planificar en una modelización tradicional y en una modelización culturalmente sensible.

Afrontar la modelización, teniendo como elemento central el hecho del mundo, implica diversos retos. Entre ellos, definir cuáles son esos hechos relevantes para trabajar en la escuela. Identificar, elegir y entender el hecho del mundo resulta igual o más retador que identificar, elegir y entender el modelo (elemento clave para planificar la modelización tradicional). Los hechos del mundo relevantes para el alumnado y la comunidad son objeto de investigación. Aquí he retomado la idea de cultura de Geertz (1973) y, al lado de Alejandra, hemos elaborado la idea de diálogos interculturales emergentes, cuando ponemos a dialogar las ideas científicas y los saberes tradicionales.

Otro reto ha sido reconceptualizar el valor y poder explicativo de la ciencia, al lado del valor y poder explicativo de otros saberes, específicamente los saberes tradicionales de los pueblos originarios. El pluralismo epistémico (Olivé, 2007) nos permite entender la relevancia de diversas formas de construcción de conocimiento.

Asimismo, en esta etapa, la idea de aprendizaje se ha robustecido, emergido de las nociones de identidad y proyecto de vida (Gómez Galindo *et al.*, 2024). Por su parte, la idea de conocimiento, integrando la de diversidad biocultural. Ello ha dado nuevo sentido a la pregunta para qué modelizar en la escuela, claramente incorporando nociones como justicia social, decolonialidad, agencia y bienestar o buen vivir.

Reflexión final

Seguir avanzando

Trabajar con modelización en México, y en general en América Latina, impone miradas nuevas. Entre ellas, la necesidad de incorporar perspectivas decoloniales y de reconocer la diversidad lingüística y cultural de los pueblos que componen este territorio, además de integrarse a un amplio trabajo que se ha venido realizando desde hace 20 años en la zona, tanto en Colombia y Brasil, y recientemente en Argentina y Chile, con la influencia de pensadores como Freire (1970), Guirox (2003) y Walsh (2009). La MCS ha sido la alternativa que, en lo personal, me ha permitido dar continuidad a mi línea de investigación. Ha derivado de ello la integración de propuestas desde la multirreferencialidad (Bahamonde, 2009), del pluralismo epistémico (Olivé, 2007), de la perspectiva pragmática de modelización de Sensey *et al.* (2008), sin dejar de lado las raíces de ello, a partir de los trabajos del grupo de Barcelona (Izquierdo-Aymerich *et al.*, 1999).

Queda decir que me ha interesado narrar esta historia para mostrar que trabajar en investigación y desarrollo de modelos y modelización es un camino, más que un destino, y quienes ingresan a este sendero sepan que ahí vamos caminando muchas personas juntas, siguiendo a nuestras maestras de la UAB y siendo cada vez más fuertes.

Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A. (2010). Hacia una didáctica de las ciencias experimentales basada en modelos. *II Congreso Internacional de Didàctiques CiDd*. Girona, España.
- Bahamonde, N. (2009). Los modelos de conocimiento científico escolar de un grupo de docentes sobre la alimentación humana. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias. Barcelona, pp. 2900-2904.
- Buckley, B.C. (2000). Interactive multimedia and model-based learning in biology. *Int. J. Sci. Edu.* 22(9), 895-935.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041–1053. <https://doi.org/10.1080/095006900416901>
- Freire, P. (1970). *Pedagogía del oprimido [Pedagogy of the Oppressed]*. Tierra Nueva, Siglo XXI, Argentina.
- Geertz, C. (1973). Thick Description: Toward an Interpretive Theory of Culture. En *The Interpretation of Cultures: Selected Essays*. New York: Basic Books, pp. 3-30.
- Giere, R. (1992). *La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Giroux, H. (2003). *Pedagogía y Política de la Esperanza: teoría, cultura y enseñanza: Una Antología Crítica*. Amorrortu, Buenos Aires.
- Gómez Galindo, A.A. (2005). *Construcción de un modelo de ser vivo en la escuela primaria: una visión escalar*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Didáctica de las ciencias experimentales y matemáticas, España. <http://ddd.uab.cat/pub/tesis/2005/tdx-0809106-121708/aagg1de2.pdf>
- Gómez Galindo, A.A. (2008). Construcción de explicaciones multimodales: ¿Qué aportan los diversos registros semióticos? *Revista latinoamericana de estudios educativos*, 4(2), 83 – 99.
- Gómez Galindo, A.A., García Franco, A. & Koller Hernández, M. (2024). Intercultural Perspectives in Science Education. In: Marzabal, A., Merino, C. (Eds.) *Rethinking Science Education in Latin-America. Contemporary Trends and Issues in Science Education*, Vol 59. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-52830-9_8
- Izquierdo-Aymerich, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23 (1), pp. 111-122.
- Izquierdo-Aymerich, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol, R. M. & Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 79-91.
- Norris, S., et al. (2005). A theoretical framework for narrative explanation in science. *Sci. Ed.* 89, 535-563.
- Olivé, L. (2007) *La ciencia y la tecnología en la sociedad del conocimiento. Ética, política y epistemología*. Ciudad de México, México: Fondo de Cultura Económica.
- Passmore, C., Svoboda, J. & Giere, R. (2014). Models in Science and in Learning Science: Focusing scientific practice on Sense-making. M.R. Matthews (ed.) *International*

Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching. Springer Nature. Pp. 1171-1202. DOI: 10.1007/978-94-007-7654-8_36

Sanmartí, N. (2007). 10 ideas clave. Evaluar para aprender. Gró, España.

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.

Walsh, C. (2009). Interculturalidad crítica y pedagogía de-colonial: Apuestas (des)de el insurgir, re-existir y re-vivir. In Melgarejo, P. (Ed.) *Educación Intercultural en América Latina: Memorias, horizontes históricos y disyuntivas políticas*. Pp. 1-29. Ciudad de México, México: Plaza y Valdés.

Agradecimientos

A Mario Quintanilla y Agustín Adúriz, por este libro y por permitirme participar en él. A mis maestras Neus Sanmartí, Mercè Izquierdo, Rosa María Pujol, Teresa Pigrau y Pilar García. A mis compañeras y compañeros de doctorado, a la comunidad de REDLAD, y a mis compañeras de GRECIA.

Monterrey, Nuevo León México, mayo 2024.

El modelo de ciencia escolar en tiempos de emergencia climática

Una propuesta para el aula de ciencias

Beatriz Cantero Riveros

Universidad de Barcelona, España

beacanteror@gmail.com

Marta Guillaumes i Pibernat

Institut Vallvera, Salt – Girona, España

martaguillaumes@gmail.com

Introducción

La necesidad de enseñar ciencias es una cuestión reconocida en todo el mundo. Se valora la enseñanza de las ciencias como algo fundamental y necesario para la formación de todo el alumnado y no solo de quienes, en el futuro, puedan dedicarse a las ciencias. La generalización de la educación científica conlleva una selección de los fenómenos transformados en hechos científicos a enseñar y aprender, a una redefinición de los contenidos que se priorizan y a la generación de nuevos contextos en los que se enseñan, para conseguir la alfabetización científica de la población, como personas con capacidad crítica para intervenir en el mundo.

En el presente artículo se ejemplifica una actividad científica escolar que propone un enfoque que permite trabajar conceptos estructurantes muy generales como *cambio*, *equilibrio*, y *sistema*, que toman sentido gracias a lo que llamamos “meta” modelo teórico: un modelo teórico que conecta modelos teóricos fundamentales en la ciencia escolar: modelo *materia-partículas*, modelo *ser vivo*, modelo *Tierra* y modelo *cultura y valores*. Un meta modelo utilizado para enseñar y aprender sobre el cambio climático.

Nuestra propuesta se inspira y se fundamenta en el modelo de ciencia escolar de Mercè Izquierdo *et al.* (1999) que reflexiona sobre una enseñanza significativa mediante una transposición didáctica contextualizada, donde el alumnado se pueda conectar emocional y racional con el fenómeno, para que sea significativo. En América Latina, se utiliza el término “sentipensar” para dar cuenta de este vínculo, y nos parece pertinente recuperar estas conexiones y plasmarlas en nuestras propuestas didácticas.

Educar en tiempos de emergencia climática

Siguiendo a Freire (2005), nos educamos en comunidad, interactuando con un mundo que nos interroga y nos reta: en las relaciones con uno mismo, en las relaciones con los demás y en las relaciones con la naturaleza. El sistema educativo debería poner a la infancia, la juventud y adultez en contacto con personas muy diversas que abren la mirada hacia formas de pensar y ser, diferentes a las familiares. Los espacios educativos deberían ser espacios de crecimiento, diálogo, convivencia y reflexión. Deberían ser el pilar de cualquier sistema político democrático, porque son uno de los espacios, a partir de los cuales interpretamos y construimos nuestro mundo como personas libres. Pero no siempre "son". Y ahí radica gran parte del problema. Para Freire uno de los principales objetivos de la Educación es la desocultación de la realidad, la conexión con los contextos propios, lo que, por otra parte, en palabras de Vandana Shiva (2008), se traduce en evitar los "monocultivos de la mente", pues advierte que la tendencia a homogeneizar las zonas de cultivo, o las mentes, con un pensamiento/discurso único, son igual de perjudiciales para la vida. En "*Los monocultivos de la mente*", se apunta a que "únicamente se puede garantizar la protección de la diversidad biológica regenerando la diversidad, como base de la producción en la agricultura, la silvicultura y la ganadería. Practicar la diversidad es la clave para conservarla"; también ocurre esto en las maneras de pensar.

¿Cuál es la "realidad"?

Nuestra particular manera de mirar el mundo (siempre empañada por el corto plazo) actualmente nos dificulta ver una realidad importante: la grave disfunción ecológica humana. La realidad es que tenemos muchos signos (evidencias) de la grave disfunción ecológica humana: el crecimiento exponencial de la población humana; la estrecha relación entre pobreza, globalización y epidemias; el hecho de que cada año se llega al día de la sobrecapacidad (excepto 2020) con más antelación a lo largo del año; el fenómeno de la metropolización a nivel planetario; el crecimiento infinito, la tecnocracia y la economía neoliberal (contexto capitalista); el agotamiento de los recursos de origen fósil; el agotamiento de materiales, suelos y agua; la pérdida masiva de biodiversidad; las tareas de cuidados infra atendidos; el aumento de las desigualdades (más contestación social, más flujos migratorios); el aumento de los conflictos ambientales y de las tensiones militares y, por último, el cambio climático. El conjunto de estas evidencias nos indica que estamos claramente frente a una crisis multidimensional. Una crisis que refleja la ruptura de los lazos que nos conectan con la Naturaleza y la ruptura de los lazos que conectan a las personas entre sí. Ahora, más que nunca, es necesario trabajar para retejer estos lazos. En este artículo nos centramos en el uso del modelo de ciencia escolar en la enseñanza y aprendizaje del cambio climático como un aporte a esta.

¿Qué podemos hacer desde el ámbito educativo?

En este contexto de emergencia climática es necesario pensar y repensar la educación. Es necesario un cambio de mirada. En nuestro mundo presente la sociedad valora a las personas competitivas, contribuyentes y consumidoras (el mundo de las 3C). Quizás, la educación debería contribuir a revertir esta situación y formar a personas con conciencia ecológica/planetaria, conciencia de especie, capacidad crítica y capacidad de asumir el cambio (4C). Éstas serían las bases para la necesaria educación ecosocial y, en definitiva, para la vida. El modelo de ciencia escolar ofrece herramientas para avanzar en estos cuatro ejes.

El modelo de ciencia escolar en tiempos de emergencia climática

La ciencia escolar es como la ciencia de las personas expertas (científicas) en su aspecto esencial (el pensamiento teórico), siempre y cuando sea autónoma en los aspectos secundarios. Ni las experiencias, ni el lenguaje, ni los hechos que configuran la ciencia escolar han de pertenecer a las personas científicas para que, finalmente, el alumnado pueda adquirir los conocimientos; es fundamental la transposición didáctica.

De acuerdo a Izquierdo *et al.* (1999), una actividad escolar es considerada “ciencia escolar” cuando cumple con los siguientes aspectos:

- ES CIENCIA: porque piensa mediante modelos teóricos.
- ES EXPERIMENTAL: utiliza la experimentación y la argumentación para la construcción de los hechos del mundo.
- ES DISCURSIVA: utiliza el lenguaje como instrumento de comunicación y comprensión.
- PROPORCIONA AUTONOMÍA: genera un contexto adecuado para la reflexión sobre el propio aprendizaje.
- ES AUTÓNOMA: selecciona sus propios objetivos, modelos y acciones.
- ES APLICADA: la ciencia escolar ha de permitir a los alumnos hacer algo “con sentido”, no puede ser un conjunto de afirmaciones aprendidas de memoria.
- ES DIVERSA: pueden darse diversos enfoques y diversos resultados, pero en todos ellos se aprende a actuar y a pensar sobre algún aspecto del mundo real.

En este artículo se presenta una secuencia de aprendizaje que considera estos aspectos de ciencia escolar y en la cual se sigue el modelo de Jorba & Sanmartí (1996), que distingue entre:

- Actividades de exploración.
- Actividades de introducción de nuevos contenidos.
- Actividades de estructuración de conocimiento o síntesis.
- Actividades de aplicación.

En el diseño de esta secuencia de aprendizaje también hemos incorporado las ideas de David Bueno (2017). en relación a los tres aspectos imprescindibles en educación y en cualquier proceso vital transformador: las emociones y la racionalidad, la biología neuronal del cerebro y los aspectos grupales del aprendizaje.

El archipiélago de Vanuatu y la ciencia escolar

El objetivo de esta actividad científica escolar (ACE) es que el alumnado pueda reflexionar, a partir de una propuesta vivencial, sobre los efectos del cambio climático en la vida de las personas que habitan el archipiélago de Vanuatu, situado a 1.750 kilómetros al este de Australia, y compuesto por 83 islas, en el Océano Pacífico sur. Vanuatu está amenazado por el cambio climático y puede peligrar cuando el nivel de agua del océano comience a subir, generando migraciones climáticas de su población. A partir de este episodio vivencial concreto, se desarrolla una discusión que permite abordar un problema social relevante y multicausal del cambio climático.

1. EXPLORACIÓN

Teoría:

Partir de situaciones reales y concretas en las cuales se presentan los conceptos o procedimientos que se quiere enseñar, desde diversos puntos de vista, para que:

- a) El alumnado sepa cuál será el objeto del aprendizaje y cuál será su utilidad.
- b) Reconocer cuáles son los conocimientos previos del alumnado sobre el tema.

Práctica:

1.1. Selección de imágenes sobre la situación del AGUA en distintas partes del planeta. Se muestran imágenes que acompañan a las afirmaciones siguientes:

- *El Mar de Aral, en Asia Central, ha quedado reducido a una cuarta parte de su volumen, debido al uso de su agua para la irrigación de plantaciones de algodón.*

- *El lago Chad, en África Occidental, hace cincuenta años tenía 26.000 km² de superficie y hoy no alcanza los 900 km².*
- *El Mar Muerto, entre Palestina y Jordania, pierde un metro de altura cada año y en 2050 podría haber desaparecido.*
- *Del lago Urmia, uno de los mayores de Irán, queda el 5% del agua que tenía hace cincuenta años.*
- *El lago Chapala, en México, ha perdido el 80% de su volumen.*
- *El Poopó era el segundo mayor lago de Bolivia y hoy ya no existe*
- *El Poyang era el mayor lago de agua dulce de China y hoy está prácticamente seco.*

1.2. Discusión sobre las causas de estos fenómenos observados.

1.3. Simulación de cómo cambia la situación en el archipiélago de Vanuatu en distintas décadas (2090, 2030, 2024). Para ello se construye un archipiélago en el aula con papeles de distintos tamaños y se ubica a los alumnos en las distintas islas. La profesora anuncia el nivel del mar en las distintas décadas y el alumnado debe tomar decisiones sobre qué hacer en caso de que su isla sea cubierta por el agua.

2. INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO

Teoría:

Plantear situaciones progresivamente más abstractas, empezando por las más intuitivas y manipulativas, que faciliten la construcción del conocimiento por parte del alumnado.

Práctica:

- Introducción de la estructura del planeta (geosfera, biosfera, hidrosfera y atmósfera). Análisis del funcionamiento del sistema en relación al agua (macro, meso, micro). Estudio de los desequilibrios producidos debido a la actividad humana.
- Introducción al concepto de cambio climático. Causas y consecuencias, en relación a la dinámica planetaria del agua. Introducción del concepto de migrante climático.

3. ESTRUCTURACIÓN

Teoría:

Actividades de sistematización y estructuración lógica.

Análisis de la situación simulada, con la lógica del ciclo de preguntas productivas:

- ¿Qué tenemos?
- ¿Qué hacemos?
- ¿Qué pasa?
- ¿Por qué pasa?

Es especialmente interesante, en este momento de la secuencia didáctica, la sistematización de las ideas en relación a los distintos modelos que se ponen en juego y la construcción del “meta” modelo sobre el cambio climático.

4. APLICACIÓN

Teoría:

Aplicación del concepto, o procedimiento, a situaciones reales concretas, simples o complejas para:

- a) Interpretar la realidad.
- b) Saber utilizar el nuevo aprendizaje.
- c) Reconocer su utilidad.

Práctica:

Se realiza la lectura de una noticia sobre el efecto de una tormenta en la Costa Brava (Catalunya) y sus consecuencias en las playas. Se pide al alumnado que relacione esta noticia con la simulación realizada.

A modo de conclusión

El cambio climático es un hecho socio científico complejo, y el alumnado lo percibe como un fenómeno que no le afecta; o si lo hace, es de manera parcial (la subida de temperaturas, el cambio en las estaciones) y muy difícil de relacionar con su vida cotidiana. La propuesta busca crear un contexto real, la situación de las personas de Vanuatu, para que el alumnado “experimente” hipotéticamente las consecuencias de la subida del agua. Esta vivencia permite la discusión de los alumnos mediante

modelos teóricos, utiliza una “experimentación vivencial” y promueve la argumentación para la construcción de los hechos del mundo, genera un contexto adecuado para la reflexión sobre el propio aprendizaje en el mundo real, y plantearse cómo se puede intervenir en el mundo a consecuencia de estos aprendizajes, donde no hay una sola respuesta. Se establece un diálogo fructífero de saberes que configura nuevas maneras de pensar, hablar, sentir y actuar en el mundo que nos rodea, donde el aspecto valórico es relevante.

La secuencia didáctica, descrita en el presente artículo, es una evidencia de que es posible realizar el complejo proceso de recrear, en el aula, la ciencia de la comunidad científica para convertirla en ciencia escolar. Queda aún mucho camino para investigar sobre los modelos teóricos, los modelos metateóricos y su relación con analogías y metáforas y sobre el lenguaje y su contribución a la construcción de hechos paradigmáticos.

Esta secuencia didáctica es también una propuesta, que tiene la vocación de mostrar que es posible crear contextos en el aula donde el alumnado comprenda el momento en que vivimos, se hagan preguntas y puedan generar respuestas en el mundo real.

Por otra parte, esta propuesta posibilita la realización de un trabajo interdisciplinario en el aula, donde se puede proponer un diálogo con otras áreas de conocimiento, como las ciencias sociales, por ejemplo, en el caso de las migraciones climáticas, o las matemáticas, con los gráficos de pronósticos de subida del agua, entre otros.

La educación científica tiene al día de hoy un gran reto: trabajar para que el alumnado reconozca la ecodependencia y la interdependencia como relaciones básicas para garantizar la existencia de la vida. El modelo de ciencia escolar es una herramienta fundamental para conseguir este desafío.

Referencias bibliográficas

- Buades, J. (2019). “Educar, per a què?”. Animallibres editorial. Barcelona.
- Bueno, D. (2017). “Neurociencia per a educadors”. Associació de mestres Rosa Sensat. Barcelona.
- Freire, P. (2005). “Cartas a quién pretende enseñar”. Siglo veintiuno editores. Buenos Aires.
- Herrero, Yayo (2021). “Los cinco elementos: una cartilla de alfabetización ecológica”. Arcadia. Barcelona.
- Jorba, J. & Sanmartí, N. (1996). Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua: propuestas didácticas para las áreas de ciencias de la naturaleza y matemáticas.
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, P., Pujol, R.M. & Sanmartí, N. (1999). “Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar”. Enseñanza de las ciencias, Número extra. p. 79-91.

- Márquez, C., Roca, M., Gómez, A., Saeda, A. & Pujol, R.M. (2004). "La construcción de modelos explicativos complejos mediante preguntas mediadoras". *Investigación en la escuela*, 53, pp. 71-81.
- Roca, M. (2007). "Preguntas para favorecer el diálogo entre el alumnado". *Aula*, 159, pp. 10-12.
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Síntesis Educación. Madrid.
- Shiva, V. (2008). *Los monocultivos de la mente*. Editorial: Fineo (Colección Pensamiento).

Modelos pre-instruccionales sobre fuerza y movimiento

Un estudio exploratorio en estudiantes chilenos

Patricio Farfán

Universidad de Chile

patricio.farfan@ug.uchile.cl

Carla Hernández Silva

Universidad de Santiago de Chile

carla.hernandez.s@usach.cl

Resumen

El presente capítulo, presenta parte del trabajo realizado en Chile para la obtención del grado de Magíster en Didáctica de las Ciencias. El estudio propone un sistema de clasificación para identificar las ideas del estudiantado sobre las fuerzas, basado en la evolución histórica del conocimiento científico. Se aplicó un instrumento adaptado para estudiantes de entre 15 y 16 años, recolectando y analizando respuestas para categorizar sus modelos pre-instruccionales sobre fuerza y movimiento, en el contexto de una clase de física. Los resultados mostraron que la mayoría de los estudiantes se adhieren al Modelo de Fuerza Autoextinguible (MFA), una concepción intermedia entre las teorías aristotélicas y newtonianas. Estas ideas pre-instruccionales actúan como obstáculos para el aprendizaje científico y deben ser abordadas mediante actividades didácticas específicas que faciliten la transición hacia modelos científicos más avanzados, en coherencia con el modelo de actividad científica escolar.

Palabras clave: Enseñanza secundaria, física, aprendizaje, escuela.

Introducción

El modelo de Actividad Científica Escolar (ACE), propuesto por Mercè Izquierdo (*et al.*, 1999; Izquierdo & Aliberas, 2004) considera la ciencia como una actividad humana que puede ser adaptada a los intereses y capacidades del estudiantado y que los prepara no solo para comprender el mundo, sino también para actuar en él de manera informada y responsable. Lo anterior, implica una enseñanza de las ciencias que es participativa, contextualizada históricamente y que incorpora una visión crítica y ética del conocimiento científico.

Al comprender cómo se han desarrollado las teorías científicas a lo largo del tiempo y cómo las y los científicos han enfrentado y resuelto problemas, el estudiantado puede apreciar mejor la naturaleza dinámica y evolutiva del conocimiento científico. La propuesta de Izquierdo aboga por un realismo moderado, en el cual el conocimiento científico es visto como una aproximación a la realidad, pero no como una verdad absoluta. Este enfoque ayuda a los estudiantes a desarrollar una visión crítica y reflexiva sobre la ciencia, reconociendo sus limitaciones y la posibilidad de cambio y mejora continua (Izquierdo, *et al.*, 2016).

Con esta idea como base, en este capítulo se presenta parte de lo que fue un trabajo para optar al grado de Magíster en Didáctica de las Ciencias en una universidad chilena, que propone un sistema de clasificación e identificación de ideas del estudiantado sobre las fuerzas, considerando el desarrollo histórico del conocimiento desde una perspectiva epistemológica evolutiva, a partir de la interpretación de respuestas a preguntas abiertas. Se presentan a continuación los principales fundamentos teóricos y la descripción del instrumento desarrollado.

1. Desarrollo de la propuesta

La comprensión del movimiento basada en los conceptos de fuerza neta e interacciones, es una de las bases teóricas más importantes para las ciencias experimentales, ingenieriles y otras disciplinas (Liu & Fang, 2019). En el caso de Chile, el concepto de fuerza es abordado en asignaturas de ciencia, a través de diversos niveles educativos para estudiantes desde 9 a los 16 años de edad (Díaz-Delgado & Maringer-Durán, 2021) y se considera una de las diez grandes ideas que deberían estructurar la educación científica obligatoria a nivel escolar (Harlen, 2010; MINEDUC 2016).

A pesar de su fuerte presencia en los programas de estudio, el aprendizaje sobre fuerza y movimiento presenta dificultades conceptuales y persistencia de ideas del estudiantado que son resistentes al cambio, incluso después de procesos de instrucción formal (Fadaei & Mora, 2015; Liu & Fang, 2019). A nivel internacional, diversos estudios han caracterizado estas ideas, pero existe poca información acerca de las características de los modelos que utilizan las y los estudiantes para construir explicaciones de fenómenos del mundo en torno a las fuerzas, así como la evolución de dichos modelos en clases de física a nivel escolar.

En el aprendizaje de la mecánica newtoniana, las ideas del estudiantado suelen actuar como obstáculos para el aprendizaje de aquellas que son aceptadas por la comunidad científica (Prada *et al.*, 2022), por lo que deben tomarse en cuenta al diseñar actividades de enseñanza y aprendizaje orientadas a acortar la brecha entre los modelos pre-instruccionales del estudiantado y los modelos científicos escolares propuestos por el profesorado. En esta línea, se ha extendido el uso de instrumentos

como el Force Concept Inventory o FCI (Hestenes *et al.*, 1992) para estudiar estos conocimientos pre-instruccionales desde un enfoque cuantitativo. Al aplicarlo, se logra caracterizar las ideas del estudiantado en torno a las fuerzas, mediante una taxonomía de “preconceptos” que se detectan a partir de ítems de respuesta cerrada. Incluso en grupos de estudiantes donde el puntaje del FCI parece evidenciar, con gran coherencia, el dominio de las ideas newtonianas, el análisis de la justificación por escrito de las respuestas sugiere la existencia o persistencia de las ideas pre-instruccionales (Hernández & Tecpan, 2018). Por otra parte, un abordaje más cualitativo del estudio de estas ideas implica reconocer un paralelismo entre las concepciones históricas de fuerza y aquellas construidas por los estudiantes (Harres, 2002), las que también podrían servir de referente para guiar procesos de enseñanza y aprendizaje.

Actualmente, se concibe el aprendizaje como un proceso de construcción activo del conocimiento científico, donde las ideas previas del estudiantado son fundamentales para la comprensión de las teorías y modelos explicativos de la ciencia, así como de su método y naturaleza (Quintanilla, 2006, Izquierdo *et al.*, 2016). En coherencia con la concepción de teoría científica, propuesta por Adúriz-Bravo (2013), los modelos o hechos idealizados constituyen la estructura semántica de una teoría física y determinan la forma en que las clases de fenómenos vinculados a ellas deben ser percibidos. En este marco, el primer paso para entender un fenómeno o un proceso en física es construir estos modelos mediante un proceso cognitivo en el que interviene la manipulación, la representación mental de la intervención que se está haciendo y los lenguajes que permiten hablar de todo ello. Según Giere (2004), el modelo representa un vínculo entre los conceptos que surgen de la teoría y los fenómenos que provienen del mundo real, permitiendo que ambos adquieran sentido para el lector, a la luz de cada modelo.

Los modelos permiten a los estudiantes representar, interpretar y predecir fenómenos naturales, facilitando una comprensión más profunda de los conceptos científicos, porque permiten relacionar dichos conceptos con sus ideas previas y experiencias. En palabras de Adúriz-Bravo (2008) “la explicación científica se realiza en relación con un modelo que ‘carga’ de teoría las observaciones e intervenciones sobre el mundo” (p.73). En coherencia con ello, en este trabajo se analizaron las explicaciones de estudiantes al movimiento de cuerpos en situaciones familiares para ellos –ya sean procesos o fenómenos–, para inferir qué ideas previas y, sobre todo, qué modelos las ‘cargaban de teoría’. Poder reconocer y trabajar con estos modelos pre instruccionales del estudiantado, es crucial para diseñar secuencias didácticas efectivas que faciliten la construcción de nuevos modelos científicos (Izquierdo, *et al.*, 2016).

2. Metodología

Para recolectar información que permita caracterizar los modelos sobre fuerza y movimiento del estudiantado, se adaptaron, a partir de la literatura (Harres, 2002; Hestenes *et al.*, 1992), cuatro ítems de respuesta abierta, con un tiempo estimado de respuesta de 30 minutos. Estas fueron sometidas a validación por pares –profesores de física con experiencia enseñando la unidad de fuerza– y por juicio de expertos –profesoras con posgrado en didáctica de las ciencias o la física–, a través de una encuesta que evaluó constructo y contenido.

El instrumento se aplicó en estudiantes de entre 15 y 16 años, en un liceo municipal (administración pública) de la ciudad de Calama, del cual uno de los autores es profesor titular de la asignatura de física. Los datos recolectados fueron analizados mediante la estrategia de análisis de contenido adaptando una clasificación de modelos de fuerza propuesta previamente (Harres 2002; Harres & Kessler, 2018), que se detalla en la Tabla 1. Además, se adecuaron las preguntas durante el proceso considerando codificabilidad y neutralidad de género entre otras (Farfán, 2023).

Nombre del Modelo	Descripción	Ejemplo Codificado
Modelo Aristotélico (M1)	El reposo es considerado como el estado natural de los cuerpos. Sin que se aplique constantemente una fuerza, no se puede mantener el movimiento. Se usa la noción de estado natural o de gravedad para justificar el cese de movimiento.	“La fuerza de la gravedad le ganó a la fuerza de la pelota haciendo que se detenga en el punto C” (sujeto B1).
Modelo de fuerza impresa autoextinguible (M2)	La fuerza impresa es “almacenada” en el cuerpo, manteniendo el movimiento y disminuyendo naturalmente. Los cuerpos que se mueven en contacto con otros se detienen porque naturalmente se agota la fuerza que se aplicó. No se considera el roce.	“Porque la fuerza de la pelota va disminuyendo hasta que se detiene” (sujeto D1). “Se detuvo porque no tuvo la fuerza necesaria para llegar muy lejos” (sujeto C6). “Se detuvo ... porque perdió la fuerza que al principio la impulsaba” (sujeto C3).

<p>Modelo de fuerza impresa independiente del roce (M3)</p>	<p>La fuerza impresa es “almacenada” en el cuerpo, a la vez que el roce actúa sobre el mismo, sin que estas fuerzas se influyan mutuamente. Un objeto en movimiento se detiene porque la fuerza impresa disminuye, considerando la existencia de la fuerza de roce, pudiendo este variar, pero sin que estas se afecten mutuamente.</p>	<p>“La pelota en el punto C se detiene porque el impulso al tirarla va disminuyendo, al igual que la fuerza de roce” (sujeto B1).</p>
<p>Modelo de fuerza impresa extinguida por el roce (M4)</p>	<p>La fuerza impresa es “almacenada” en el cuerpo, siendo extinguida por el roce. Se usa la noción de roce como “extintor” de la fuerza almacenada para justificar el cese de movimiento.</p>	<p>“Porque el empuje le hizo ir a la derecha, pero la fuerza de roce le <<empujó>> a la izquierda y se detuvo porque se <<disolvió>> la fuerza a la derecha” (sujeto B4).</p>
<p>Modelo Científico Escolar - Newtoniano (M5)</p>	<p>Los cuerpos mantienen su estado de movimiento salvo que una fuerza neta no nula cause un cambio en estos. Se usa la actuación de una fuerza no equilibrada para explicar el cambio en el movimiento, en este caso, la fuerza de roce. La pelota se detiene exclusivamente por la actuación de esta fuerza en sentido contrario.</p>	<p>“Debido al roce con el camino, el balón pierde su velocidad y por eso se detuvo” (sujeto B5).</p>

Tabla 1. Modelos de cese de movimiento ordenados según desarrollo histórico, adaptado de Harres (2002).

3. Principales Resultados

A modo de ejemplo, se muestra la respuesta de un estudiante a una de las preguntas, la que requiere producciones gráficas y escritas para describir y explicar la causa de la detención de un objeto en movimiento:

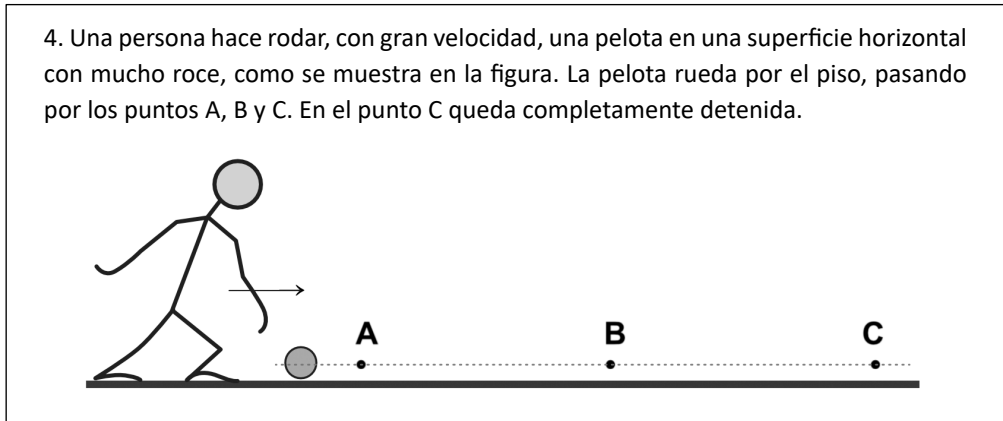


Figura 1: Imagen de referencia de la pregunta 4.

a) Representa la(s) fuerza(s) actuando sobre la pelota en los puntos A, B y C.

<p>Dibuja las fuerza(s) horizontal(es) sobre la pelota cuando pasa por el punto A</p>	<p>Dibuja las fuerza(s) horizontal(es) sobre la pelota cuando pasa por el punto B</p>	<p>Dibuja las fuerza(s) horizontal(es) sobre la pelota cuando pasa por el punto C</p>
---	---	---

b) Explica brevemente por qué crees que la pelota se detuvo en el punto C.

porque al rozar con el suelo perdió fuerza y velocidad

Figura 2: Respuesta de estudiante codificada como M4.

Al igual que con todas las respuestas obtenidas, el estudiante utiliza flechas como representación convencional para las fuerzas, pero no logra construir un diagrama de cuerpo libre ya que esta es una herramienta que se aprende durante la instrucción (Díaz-Delgado & Maringer-Durán, 2021). Sobre los modelos de fuerza inferidos, en la producción gráfica el estudiante intenta representar cuantitativamente una secuencia donde la fuerza de roce supera a la fuerza impresa en los dos primeros recuadros, decayendo hasta igualarse ambas en el valor cero. La explicación textual: “*porque al rozar con el suelo perdió fuerza y velocidad*”, permite inferir la causalidad

propuesta entre la fuerza de roce y el decrecimiento de cierta fuerza “impresa” sobre la pelota. Por lo tanto, de acuerdo a la categorización propuesta en la metodología, se codificó como Modelo de fuerza impresa extinguida por el roce (M4).

Como resultado de la aplicación del instrumento, se encontró que la clasificación propuesta por Harres (2002) y Harres & Kessler (2018), para estudiar las ideas de profesores de física brasileños en formación, es aplicable a estudiantes de enseñanza media chilenos. Es más, al igual que en la investigación citada, en general predominan ideas compatibles con un Modelo de Fuerza Autoextinguible (MFA), propuesto por Farfán (2023), contando con más de un 60% de las respuestas codificadas, como se muestra en la figura 2. Así, la mayoría de los estudiantes conciben la fuerza como algo que se “almacena” en un cuerpo y que se extingue de forma natural, usando el término en un sentido amplio y distinto al científicamente acordado, ya que en realidad están refiriéndose a lo que entendemos actualmente como velocidad, cantidad de movimiento o energía. Estas ideas tienden a coincidir con las reportadas en la revisión de la literatura y con estadios intermedios del desarrollo histórico del concepto entre la física aristotélica y newtoniana.

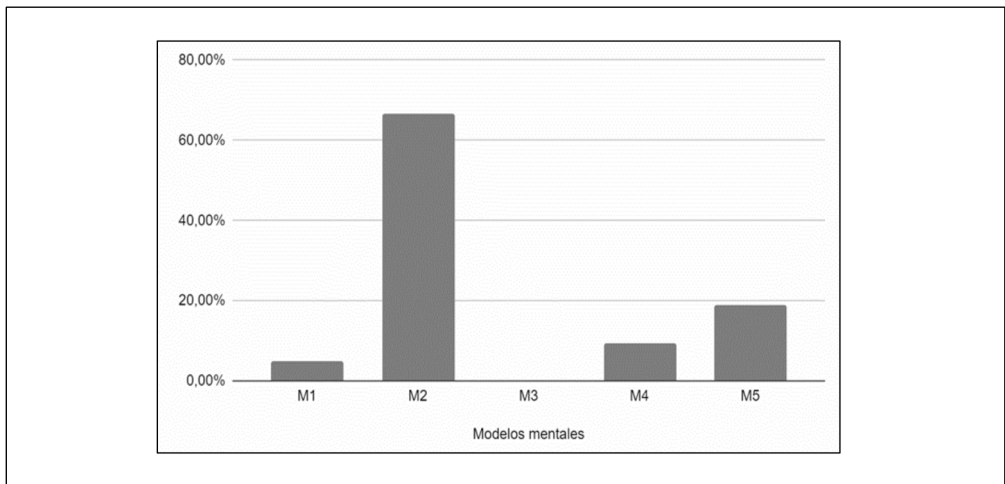


Figura 3: Frecuencia relativa de los modelos mentales inferidos por estudiantes.

4. Discusión y conclusiones

Una de las características de la Didáctica de la Ciencia como ciencia en sí misma es, entre otras, que permite orientar el diseño y evaluación de secuencias de enseñanza y aprendizaje (Izquierdo, 2007). En ese sentido, la aplicabilidad del sistema de categorización de los modelos de fuerza a estudiantes de educación secundaria constituye un aporte a la disciplina, ya que ofrece al profesorado una alternativa metodológica para realizar estudios de caso sobre las ideas pre-instruccionales; esto servirá como punto de partida para diseñar y evaluar secuencias didácticas

específicas para su estudiantado. En específico, la prevalencia de ideas asociadas a las “teorías del ímpetu” –incluyendo el MFA– se encuentra bien establecida en la literatura (Harres, 2002; Mora & Herrera, 2009; Bartelmebs & Harres, 2017), siendo esta una de las mayores predictoras del fracaso académico en un curso de mecánica, según una investigación con estudiantes universitarios, que aplicó una variante del FCI (Ramos *et al.*, 2024).

La perspectiva histórica en la que se enmarca la categorización, la hace compatible con el modelo de ACE propuesto (Izquierdo *et al.*, 1999; Izquierdo & Aliberas, 2004), siempre que se considere, dentro del diseño de la secuencia, otros aspectos como el desarrollo de actitudes científicas y la naturaleza de las ciencias, entre otras. Respecto a esta última, cabe destacar que en general un enfoque explícito-reflexivo tiene mayor eficacia que un abordaje implícito (Acevedo, 2009).

Considerando lo anterior, las sugerencias incluyen comenzar promoviendo el reconocimiento y la medición de la fuerza de roce como influencia en el movimiento de los cuerpos –dada la predominancia del modelo de fuerza impresa autoextinguible (M2)–, por ejemplo, comparando los tiempos o distancias de detención de un cuerpo que se desliza sobre dos superficies distintas. Junto a lo anterior, se debe proponer actividades donde el estudiantado ponga a prueba la idea de que las fuerzas de contacto se almacenan o mantienen en el cuerpo luego de finalizada la interacción. Justamente *durante* el abordaje de los modelos “de la ciencia” usados por estudiantes, es que se deben abordar *explícitamente* los modelos “acerca de la ciencia”. Por ejemplo, mediante un trabajo metacognitivo de los estudiantes, donde se reconozcan concienzudamente los paralelismos entre su propia evolución conceptual y la evolución histórica de los modelos, las limitaciones y aplicabilidad de cada uno y su susceptibilidad de cambio ante la aparición de nuevas evidencias. En palabras de Quintanilla *et al.* (2014), hemos de reconocer la finalidad educativa de la ACE, dando oportunidad a los y las estudiantes de “hacer ciencia”, viviendo su propia experiencia científica, sin aspirar a la reconstrucción inalterada y completa del conocimiento erudito.

La importancia de contar con un instrumento que permita caracterizar los modelos pre-instruccionales del estudiantado, es coherente con las ideas de Adúriz-Bravo & Izquierdo (2009) desde una perspectiva epistemológica de la enseñanza de las ciencias. Es necesario que el profesorado comprenda la naturaleza y función de los modelos en la ciencia, para poder guiar adecuadamente a sus estudiantes en su comprensión y uso, para construir explicaciones sobre el mundo. Lo anterior, favorece en los estudiantes el entendimiento sobre cómo se ha desarrollado el conocimiento científico, apreciando su carácter provisional y de constante cambio.

Referencias bibliográficas

- Acevedo, J. (2009). Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), pp. 355-386.
- Adúriz-Bravo, A. (2008). La naturaleza de la ciencia. En C. Merino, A. Gómez y A. Adúriz-Bravo (Coord.) *Área y Estrategias de Investigación en la Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 69-89). Barcelona, España: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Adúriz-Bravo, A., & Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, pp. 40-49.
- Adúriz-Bravo, A. (2013). A 'semantic' view of scientific models for science education. *Science & Education*, 22(7), 1593-1611. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9431-7>
- Badagnani, D., Terzzoli, M. C., Schlaps, E., & Petrucci, D. (2020). Patrón de respuestas a preguntas conceptuales sobre Mecánica Newtoniana: implicancias para el aprendizaje. *Revista de Enseñanza de la Física*, 32(no. extra), pp. 25–32.
- Bartelmebs, R. & Harres, J. (2017) As ideias dos alunos, as ideias dos professores e aprendizagem: uma revisão conceitual. En: Marraghello, G., Lindemann, R. (org.). *Ensino de ciências na região da campanha: contribuições na formação acadêmico-profissional de professores em astronomia*. Itajaí: Casa Aberta Editora. pp. 11-52.
- Díaz-Delgado, R., & Maringer-Duran, D. (2021). La enseñanza del concepto de fuerza: algunas reflexiones. *Lat. Am. J. Sci. Educ*, 8, 12006.
- Fadaei, A. & Mora, C. (2015). An Investigation About Misconceptions in Force and Motion in High School. *US-China Education Review*. 5.
- Farfán, P. (2023). Análisis del cambio en los modelos de fuerza en estudiantes de enseñanza media durante una secuencia de enseñanza y aprendizaje con énfasis en la modelización: Un estudio exploratorio. Tesis para optar al grado de Magíster en Didáctica de las Ciencias. Universidad Alberto Hurtado.
- Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71(5), 742-752. <https://doi.org/10.1086/425063>
- Harlen, W. (2010) Principios y grandes ideas de la educación en ciencias. Association for Science Education.
- Harres, J. (2002). Desenvolvimento histórico da dinâmica: referente para a evolução das concepções dos estudantes sobre força e movimento. *Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 2(2).
- Harres, J., & Kessler, M. (2018). Avaliação ampla de uma proposta didática inovadora para introdução à mecânica no ensino superior. *Pesquisa E Debate Em Educação*, 8(2), 243–274. Recuperado de <https://periodicos.ufjf.br/index.php/RPDE/article/view/31175>
- Hernández, C. & Tecpan, S. (2018). Correct answers with wrong justifications? Analysis of explanations in classical mechanics with FCI test. *Journal of Physics: Conference Series*. 1043. 012056. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1043/1/012056>
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*. 30. 141-158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>

- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol, R. M. & Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 45-59.
- Izquierdo, M. & Aliberas, J. (2004). Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències. Per un ensenyament de les ciències racional i razonable. Servei Publicacions de la Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra.
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar Ciencias: una nueva ciencia. *Enseñanza de las ciencias sociales*, 6, pp. 125-138.
- Izquierdo Aymerich, M., García Martínez, Á., Quintanilla Gatica, M. & Aduriz Bravo, A. (2016). Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: aportes para la formación del profesorado de ciencias.
- Liu, G. & Fang, N. (2019). Student Misconceptions about Force and Acceleration in Physics and Engineering Mechanics Education. *International Journal of Engineering Education*. 32. Pp. 19-29.
- MINEDUC. (2016). Programa de Estudio Ciencias Naturales, Segundo Medio. https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-34453_programa.pdf
- Mora, C. & Herrera, D. (2009). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3 (1), pp. 72-86.
- Prada R., Hernández-Suárez, C. y Gamboa, A. (2022) Newton's law learning assessment: an experience with high school students. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2153, No. 1, p. 012020). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2153/1/012020>
- Quintanilla, M. (2006). Identificación, caracterización y evaluación de competencias científicas desde una imagen naturalizada de la ciencia. En M. Quintanilla y A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Enseñar ciencias en el nuevo milenio. Retos y propuestas*, 1 (pp. 17-42). Santiago: Universidad Católica de Chile.
- Quintanilla, M., Izquierdo, M. & Adúriz-Bravo, A. (2014). Directrices epistemológicas para promover Competencias de Pensamiento Científico en las aulas de ciencias. En: Quintanilla (Ed.), *Las Competencias de Pensamiento Científico desde las 'emociones, sonidos y voces' del aula*, (pp. 15-30). Bellaterra.
- Ramos, M.; Quesada, M.; Peláez, J & Henares, J. (2024). The influence of force misconceptions on engineering students' performance in university introductory physics courses. *EDUCA International Journal*, 1 (4) 61-74, <https://doi.org/10.55040/educa.v4i1.88>

La obra de Mercè Izquierdo sobre el modelo de cambio químico escolar

Cristian Merino R.

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

cristian.merino@pucv.cl

Resumen

La obra de Mercè Izquierdo durante más de 25 años ha revolucionado la enseñanza de la química, tanto en niveles escolares como universitarios. Su enfoque se centra en la importancia de los modelos educativos en química, subrayando la actividad científica escolar como eje central para que los estudiantes desarrollen habilidades cognitivas necesarias en este campo. Izquierdo ha profundizado en el proceso de modelización para enseñar el cambio químico, integrando perspectivas epistemológicas y cognitivas que ayudan a los estudiantes a entender fenómenos químicos mediante experimentación, representaciones simbólicas y el uso del lenguaje. Este enfoque enfatiza la necesidad de coherencia entre las experiencias experimentales de los estudiantes, sus representaciones abstractas y los lenguajes utilizados, lo cual es esencial para aplicar el conocimiento químico en situaciones reales. Además, identifica una carencia en el enfoque modelizador de la enseñanza química en las escuelas, lo que podría explicar las dificultades de los estudiantes para interpretar estos fenómenos. Por ello, Izquierdo propone una nueva programación de enseñanza química basada en un modelo de cambio químico que oriente y dé coherencia al diseño de clases, ofreciendo una educación química paso a paso para todos, que en el presente capítulo pasamos a revisar.

Palabras clave: Enseñanza secundaria, Enseñanza de las Ciencias, Enseñanza de la Química, Ciencias Naturales.

1. Introducción

El Modelo de Cambio Químico Escolar, desarrollado por Mercè Izquierdo, ha transformado la enseñanza de la química en niveles escolares y universitarios, destacando la importancia de modelos didácticos y estrategias de enseñanza innovadoras. Este enfoque no solo busca el aprendizaje de la disciplina, sino también el desarrollo de habilidades cognitivas esenciales para pensar, actuar y comunicarse en química (Izquierdo, 2013).

Centrándose en la "actividad científica escolar", este modelo promueve un aprendizaje que va más allá de lo memorístico, alentando una comprensión intuitiva y aplicada de los conceptos químicos. La integración de enfoques epistemológicos y cognitivos permite a los estudiantes construir su comprensión de los fenómenos químicos a través de experimentaciones prácticas, representaciones simbólicas y un uso efectivo del lenguaje científico (Izquierdo & Adúriz-Bravo, 2003). Sin embargo, este enfoque también ha expuesto brechas significativas en la enseñanza tradicional de la química, especialmente en la falta de un enfoque modelizador coherente (Izquierdo, 2007). Izquierdo propone una reestructuración de la enseñanza de la química basada en un modelo de cambio químico que clarifica y cohesiona las clases, fomentando un aprendizaje más significativo.

El enfoque modelizador es esencial por varias razones: facilita la comprensión de conceptos abstractos de manera tangible y aplicada, promueve habilidades analíticas y de resolución de problemas, y fomenta un aprendizaje activo y participativo. Utilizando modelos, los estudiantes pueden visualizar y experimentar con estructuras atómicas y reacciones químicas, mejorando su capacidad para predecir y explicar estos fenómenos, lo cual enriquece la experiencia de aprendizaje y prepara mejor a los estudiantes para aplicar sus conocimientos en situaciones reales (Izquierdo & Aliberas, 2004).

2. Enfoque epistemológico y cognitivo en la educación química

Mercè Izquierdo implementa un enfoque epistemológico y cognitivo en la educación química que revoluciona la comprensión y enseñanza del conocimiento químico. Este enfoque epistemológico investiga cómo se construye y comunica el conocimiento químico, enfocándose en la naturaleza y estructura del conocimiento y su transmisión a los estudiantes. Izquierdo enfatiza que los estudiantes deben aprender no solo hechos y procesos, sino también las bases teóricas y prácticas subyacentes a esos hechos (Izquierdo, 2000).

Este enfoque no solo cuestiona y analiza la naturaleza del conocimiento químico, sino que también profundiza en cómo se desarrollan, justifican y aplican los conceptos químicos en el mundo real, a través de un proceso reflexivo que examina cómo y por qué conocemos lo que sabemos (Izquierdo, 2013). Un ejemplo claro de este enfoque es el análisis de la reacción de oxidación del hierro, donde se explora tanto el proceso químico como las bases conceptuales y teóricas de la reacción, incluyendo la evolución del concepto de oxidación y su relación con otros conceptos químicos.

Además, este enfoque epistemológico también se extiende a la comparación de conceptos en diferentes contextos, como la oxidación en el hierro versus en procesos biológicos, revelando cómo un mismo concepto se aplica y entiende de manera

diferente en distintos contextos, mostrando la interdisciplinariedad y evolución del conocimiento científico.

Desde la perspectiva cognitiva, Izquierdo examina cómo los estudiantes procesan, recuerdan y aplican información química. Se utilizan estrategias para mejorar la comprensión y retención de la información, aplicándola en nuevos contextos. Un ejemplo es el estudio de la tabla periódica, donde se enfoca en cómo los estudiantes integran esta información, explorando tendencias y relaciones entre elementos que facilitan una comprensión más profunda y la aplicación de estos conocimientos en situaciones nuevas, como la predicción del comportamiento químico de elementos desconocidos (Izquierdo *et al.*, 1999).

La combinación de estos enfoques epistemológico y cognitivo permite a Izquierdo desarrollar métodos de enseñanza que no solo transmiten conocimiento, sino que también fomentan habilidades de pensamiento crítico y comprensión profunda, mediante una metodología activa que involucra a los estudiantes en su propio proceso de aprendizaje. Este enfoque integral no solo eleva la calidad de la educación química, sino que también prepara a los estudiantes para aplicar sus conocimientos de manera efectiva y creativa en el mundo real.

3. La actividad científica escolar en la enseñanza de la química

Mercè Izquierdo, en su enfoque didáctico, pone un énfasis especial en la 'actividad científica escolar' en la enseñanza de la química (Izquierdo, 2014). Esta aproximación se centra en hacer que los estudiantes sean participantes activos en el aprendizaje, en lugar de meros receptores pasivos de información. Izquierdo, propone que los estudiantes se involucren directamente en experimentos y proyectos que reflejen, resuenen el trabajo de los químicos. Este método busca desarrollar no solo el conocimiento, sino también las habilidades de pensamiento crítico y análisis. La idea es moverse más allá de la teoría pura, permitiendo a los estudiantes experimentar y entender cómo los principios químicos se aplican en situaciones reales y prácticas. Este enfoque también incluye la discusión y el análisis crítico en clase, donde los estudiantes pueden explorar y cuestionar los conceptos, promoviendo así una comprensión más profunda. Al centrarse en la actividad científica, Izquierdo busca fomentar una mayor comprensión y entusiasmo por la química, preparando a los estudiantes para aplicar sus conocimientos de manera efectiva en el futuro. Sin embargo, existe una diferenciación entre las preguntas que se formulan en la ciencia escolar y las que se plantean en la ciencia pura. En la ciencia escolar, las preguntas suelen estar diseñadas para fomentar la comprensión de conceptos básicos y principios fundamentales, y a menudo son más estructuradas o guiadas. En cambio, en la ciencia pura, las preguntas tienden a ser más abiertas, exploratorias y orientadas a la investigación, buscando avanzar en el conocimiento y la comprensión

del campo. Esta distinción refleja las diferentes finalidades y contextos de estos dos ámbitos de la ciencia (Adúriz-Bravo *et al.*, 2012).

También Izquierdo sugiere realizar un análisis de las capacidades cognitivas en los alumnos para una comprensión coherente de la química. Las habilidades cognitivas incluyen el pensamiento crítico, la capacidad de análisis, la resolución de problemas y la aplicación de conocimientos en nuevos contextos. Ellas permiten a los estudiantes no solo entender los fundamentos de la química, sino también cuestionar, explorar y conectar conceptos, lo que lleva a una comprensión más significativa y duradera. Además, el desarrollo de estas capacidades cognitivas prepara a los estudiantes para futuros desafíos académicos y profesionales, donde el pensamiento crítico y la capacidad de adaptación son clave. En resumen, las habilidades cognitivas son cruciales para el aprendizaje efectivo de la química y para preparar a los estudiantes para el mundo real (Merino *et al.*, 2014).

4. Modelización del cambio químico en el aula

Mercè Izquierdo aborda de manera integral y reflexiva la modelización del cambio químico en la educación química, enfocándose en que los estudiantes no solo aprendan conceptos químicos, sino que también comprendan cómo y por qué ocurren los cambios a nivel molecular. Utiliza modelos para ilustrar estos cambios, facilitando la visualización y comprensión de procesos que no son directamente observables (Izquierdo *et al.*, 2021). Este enfoque incluye representar reacciones y estructuras moleculares de manera conceptualmente precisa y accesible, como se ve en el estudio de la oxidación, donde los estudiantes exploran interacciones atómicas y moleculares más allá de memorizar ecuaciones.

El trabajo de Izquierdo no se limita a lo visual o teórico; también involucra un enfoque práctico mediante experimentos que permiten a los estudiantes observar y analizar cambios químicos reales, vinculando modelos teóricos con experiencias prácticas y fomentando curiosidad y análisis crítico. Las representaciones simbólicas y el uso del lenguaje son esenciales en la enseñanza de la química. Las representaciones, como las fórmulas químicas y los modelos moleculares, permiten visualizar entidades microscópicas no observables directamente, facilitando la comprensión de propiedades y reacciones químicas (Órdenes *et al.*, 2013). Además, el lenguaje químico es crucial para comunicar ideas complejas de manera precisa y participar efectivamente en el discurso científico (Jara *et al.*, 2020).

En conjunto, estas herramientas no solo mejoran la comprensión conceptual de los estudiantes, sino que también desarrollan sus habilidades analíticas y de pensamiento crítico, preparándolos para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en química. Así, la modelización se revela como una herramienta indispensable para el desarrollo de una comprensión profunda y funcional de la

química, facilitando el aprendizaje significativo y la aplicación práctica de los conceptos.

5. Coherencia en el aprendizaje químico

Para Mercè Izquierdo, entre otros investigadores en educación química, la coherencia entre las experiencias experimentales, las representaciones abstractas y el lenguaje utilizado es crucial para un aprendizaje efectivo. Las experiencias experimentales permiten a los estudiantes observar directamente los fenómenos químicos, proporcionando una base empírica para su entendimiento; las representaciones abstractas, como fórmulas y modelos moleculares, ayudan a conceptualizar estos fenómenos a un nivel más profundo, facilitando la comprensión de conceptos que no son inmediatamente visibles; el lenguaje, por su parte, es esencial para articular y comunicar estas ideas de manera clara. La integración efectiva de estos tres elementos ayuda a los estudiantes a relacionar la teoría con la práctica, fomentando una comprensión más completa y aplicable de la química.

La mediación de modelos y narrativas en el proceso de aprendizaje, es una herramienta pedagógica fundamental, especialmente en la educación científica. En primer lugar, los modelos actúan como representaciones simplificadas de conceptos complejos, permitiendo a los estudiantes comprender mejor la materia. En la química, por ejemplo, los modelos moleculares brindan una forma visual y tangible de entender estructuras y reacciones que son demasiado pequeñas para ver. Estos modelos facilitan la abstracción de ideas complejas y ayudan a los estudiantes a formular hipótesis y predecir resultados, lo cual es crucial en el aprendizaje científico. Por otro lado, las narrativas ofrecen un marco contextual y relacional para el conocimiento. Las historias y ejemplos permiten a los estudiantes conectar nuevos conceptos con experiencias previas y conocimientos del mundo real, haciendo el aprendizaje más significativo y memorable. La narrativa puede ser particularmente efectiva para explicar el desarrollo histórico de teorías científicas, mostrando cómo se construye el conocimiento científico a lo largo del tiempo y en diferentes contextos (Jara *et al.*, 2020).

La combinación de modelos y narrativas crea una experiencia de aprendizaje rica y multidimensional. Los modelos ofrecen claridad y enfoque en los detalles, mientras que las narrativas proporcionan contexto y relevancia. Este enfoque holístico no solo mejora la retención de la información y la comprensión conceptual, sino que también fomenta habilidades críticas como el pensamiento analítico, la resolución de problemas y la capacidad de aplicar conocimientos en situaciones nuevas (Izquierdo *et al.*, 2011).

En resumen, la integración de modelos y narrativas en la educación enriquece el proceso de aprendizaje, proporcionando a los estudiantes herramientas poderosas

para entender y aplicar el conocimiento de manera efectiva. Este enfoque no solo facilita la comprensión de conceptos abstractos, sino que también prepara a los estudiantes para enfrentar desafíos reales y aplicar su aprendizaje en contextos prácticos.

6. Desafíos y carencias en la enseñanza actual de la química

La enseñanza actual de la química enfrenta desafíos significativos y presenta carencias notables, siendo uno de los aspectos más destacados la falta de un enfoque modelizador. Esta carencia se manifiesta en varios niveles y tiene consecuencias directas en la comprensión y aplicación del conocimiento químico por parte de los estudiantes. En primer lugar, la falta de un enfoque modelizador impide que los estudiantes desarrollen una comprensión profunda de los fenómenos químicos. La química es inherentemente abstracta y microscópica, y los modelos son herramientas esenciales para visualizar y comprender estas realidades a nivel molecular. La falta de modelos tridimensionales, representaciones visuales y experiencias prácticas limita la capacidad de los estudiantes para internalizar conceptos clave.

Además, la ausencia de un enfoque modelizador dificulta la conexión entre la teoría y la práctica. Los estudiantes pueden aprender ecuaciones y fórmulas químicas, pero si no tienen la oportunidad de ver cómo estos conceptos se aplican en situaciones reales, la comprensión se vuelve superficial y fragmentada. La química es una disciplina experimental y aplicada, y la enseñanza que no incorpora la experimentación y la modelización deja a los estudiantes con un conocimiento teórico desconectado de su aplicación práctica. Otro desafío es la falta de coherencia en las experiencias experimentales de los estudiantes, las representaciones abstractas y el lenguaje utilizado en el aula (Sanmartí & Izquierdo. M., 2002). La desconexión entre estas dimensiones del aprendizaje puede resultar en una comprensión fragmentada y desarticulada. Si las experiencias en el laboratorio no se reflejan en representaciones simbólicas o si el lenguaje utilizado no es consistente con las observaciones prácticas, se debilita la comprensión general de los estudiantes y la capacidad para aplicar sus conocimientos.

Estas carencias en la enseñanza de la química tienen implicaciones profundas en la formación de los estudiantes. Primero, afectan su motivación e interés en la materia. La química puede percibirse como abstracta y difícil de relacionar con la vida diaria, lo que puede generar desinterés y desmotivación entre los estudiantes. Por otra parte, la falta de un enfoque modelizador puede llevar a la memorización superficial en lugar de la comprensión significativa, lo que impacta negativamente en la retención a largo plazo del conocimiento químico.

En términos de aplicación del conocimiento, la carencia de un enfoque modelizador deja a los estudiantes mal equipados para enfrentar desafíos del mundo real. La incapacidad para conectar teoría y práctica limita su capacidad para abordar problemas químicos en entornos profesionales o incluso en situaciones cotidianas que requieren una comprensión profunda de los procesos químicos.

En conclusión, la falta de un enfoque modelizador en la enseñanza de la química plantea desafíos significativos y contribuye a carencias en la formación de los estudiantes. Superar estas limitaciones requiere una revisión y transformación de los métodos pedagógicos para incorporar de manera efectiva la modelización y la experimentación en el proceso educativo, promoviendo así una comprensión más profunda y aplicable de la química.

7. Propuestas para mejorar la enseñanza de la química

La obra de Mercè Izquierdo ofrece propuestas innovadoras y fundamentadas para mejorar la enseñanza de la química en las escuelas, destacando su modelo de cambio químico como una herramienta integral para orientar y dar coherencia a las clases de química. La autora nos invita a la búsqueda o creación de currículos nuevos, racionales y razonables, contextualizados y modelizadores (Izquierdo & Aliberas, 2004). Propone una reconsideración fundamental de cómo se aborda la enseñanza de la química. Su enfoque se centra en la integración de la modelización del cambio químico, destacando la necesidad de una mayor coherencia entre las experiencias experimentales de los estudiantes, las representaciones abstractas y los lenguajes utilizados en el aula.

La modelización del cambio químico, según Izquierdo, ofrece un marco teórico sólido para organizar y estructurar la enseñanza de la química. Propone que este modelo sirva como guía para diseñar experiencias educativas más coherentes y significativas, abordando las brechas identificadas en la enseñanza actual. Esta perspectiva se alinea con la idea de que los modelos no solo son representaciones visuales, sino herramientas cognitivas y didácticas para la construcción activa del conocimiento por parte de los estudiantes. Su enfoque destaca la importancia de incorporar la modelización en las experiencias experimentales, enfatizando que los estudiantes no solo deben realizar experimentos, sino también construir y utilizar modelos para comprender los procesos químicos subyacentes. Izquierdo, argumenta que esto promoverá una conexión más profunda y coherente entre las experiencias prácticas y la representación simbólica, mejorando así la comprensión general de los estudiantes.

En conjunto con Mercè Izquierdo, se diseñó una programación de la enseñanza de la química basada en el modelo de cambio químico para la formación de profesores (Merino & Izquierdo, 2011). Este enfoque guía el diseño de las clases de química paso

a paso, lo que brinda coherencia y significado al proceso de aprendizaje. La propuesta aborda la falta de estructura y orientación en la enseñanza actual, proponiendo un planteamiento que no solo enseña conceptos químicos, sino que también desarrolla habilidades cognitivas y la capacidad de aplicar el conocimiento en contextos reales. Se parte de la base de que todos los fenómenos que llegarán a ser Modelos de Cambio Químico han de compartir las siguientes 'reglas del juego' que van caracterizando lo que es el cambio químico, entre ellas. La Figura 1, permite representar lo que acabamos de señalar. Cada campo estructurante puede ser en sí mismo una Unidad de Aprendizaje o Secuencia de Enseñanza Aprendizaje. Al incorporar la obra de Izquierdo en la enseñanza de la química, los profesores pueden beneficiarse de un enfoque que va más allá de la mera transmisión de información, fomentando un aprendizaje activo y significativo. Este modelo ofrece una base sólida para abordar las carencias actuales en la enseñanza de la química, proporcionando una dirección clara para mejorar la coherencia y la efectividad del proceso educativo. La propuesta de Izquierdo destaca la necesidad de transformaciones y trasposiciones didácticas basadas en la investigación y la reflexión, contribuyendo, así, al avance de la educación química en el ámbito escolar.

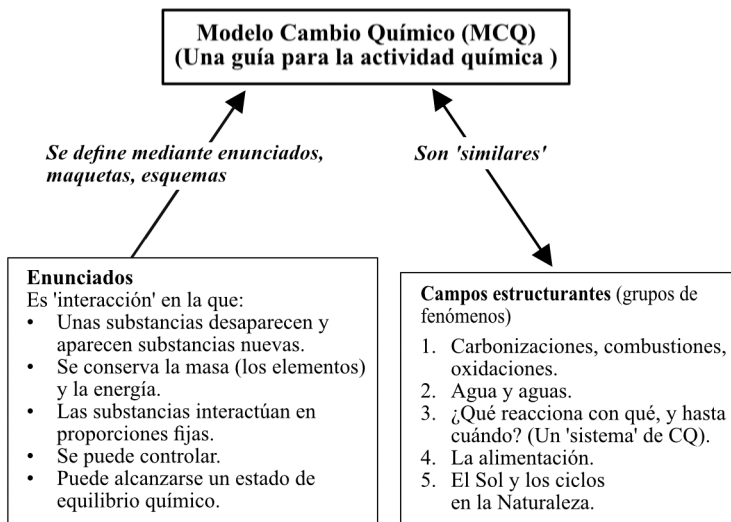


Figura 1. Los fenómenos del mundo pueden ser MCQ, lo cual puede definirse de la manera apropiada para que el acoplamiento sea posible. (Tomado de Merino & Izquierdo, 2011).

8. Contribuciones al modelo de cambio químico escolar

Basándose en el trabajo de Oliva (2019), sobre las distintas acepciones de la modelización en la enseñanza de las ciencias, el enfoque se alinea con la dimensión instrumental de la modelización en el modelo de cambio químico escolar. Esta dimensión instrumental se centra en el uso de modelos como herramientas prácticas para representar, simular y comprender fenómenos científicos complejos. Subraya la

importancia de la modelización para la representación de fenómenos complejos, la comprensión profunda de principios científicos, el desarrollo de habilidades de resolución de problemas y la integración de conocimientos matemáticos y computacionales. En la incorporación de tecnologías inmersivas como la realidad aumentada (RA) en la química, se ha observado un gran interés y múltiples investigaciones. Estos estudios han demostrado cómo la RA puede mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la química mediante la implementación de secuencias de enseñanza y aprendizaje (SEA) que incorporan estas tecnologías, como se ha visto en <https://specto.pucv.cl/> La RA potencia la comprensión de conceptos químicos, la visualización de fenómenos y la integración entre teoría y práctica en el proceso de aprendizaje.

Es fundamental diseñar SEA en química que integren la RA de manera efectiva. Un estudio de 2015 muestra cómo la incorporación de esta herramienta enriquece la experiencia de aprendizaje permitiendo la manipulación e interacción con información tridimensional (Merino *et al.*, 2015). Esto facilita una mejor conexión entre los aspectos teóricos y la experiencia práctica, lo que a su vez guía un proceso más efectivo de transformación de fenómenos científicos en el entendimiento del estudiante.

El diseño de actividades prototipo para la enseñanza de la química que integran RA permite a los estudiantes interactuar con modelos tridimensionales y visualizar conceptos de manera más concreta. Esto es relevante en la química, donde muchos conceptos abstractos son difíciles de comprender sin una representación visual adecuada.

La importancia de la visualización en el aprendizaje de la química es clave. Un estudio de 2019 explora cómo la RA puede promover la visualización del modelo atómico entre estudiantes de secundaria, permitiendo la exploración y manipulación de modelos atómicos tridimensionales, facilitando la comprensión de conceptos como la estructura del átomo y las interacciones entre partículas subatómicas (Merino & García, 2019).

Un estudio de 2022 destaca cómo la RA, utilizada como "artefacto visual dinámico", ayuda a los estudiantes universitarios a comprender procesos físico-cinéticos complejos. Al interactuar con modelos y simulaciones en RA, los estudiantes pueden visualizar los procesos cromatográficos y desarrollar representaciones mentales más sofisticadas, permitiendo explicar fenómenos de manera más detallada y fundamentada (Merino *et al.*, 2022).

Aunque existen desafíos asociados al uso de la RA en el contexto educativo, como cuestiones técnicas, accesibilidad, formación docente y la integración efectiva de esta tecnología en el currículo escolar, los resultados de los estudios son prometedores en

términos de mejora en la comprensión y visualización de conceptos químicos. En conclusión, las prácticas de modelización equipan a los estudiantes para comprender y participar en el mundo científico, preparándolos no solo para el éxito académico, sino también para ser ciudadanos informados y participativos en una sociedad tecnológica y basada en datos.

9. Conclusión

En este capítulo, se ha explorado las propuestas de Mercè Izquierdo para mejorar la enseñanza de la química en las escuelas, centrándose en su obra clave sobre el modelo de cambio químico. Mercè aborda desafíos fundamentales en la enseñanza actual, especialmente la falta de un enfoque modelizador, proponiendo un cambio sustancial en la forma en que se aborda la educación química.

La autora destaca la necesidad de integrar la modelización del cambio químico como un componente central en la enseñanza. Argumenta que la modelización no debe limitarse a representaciones visuales, sino que debe ser una herramienta cognitiva y didáctica que guíe activamente la construcción del conocimiento por parte de los estudiantes. Propone una mayor coherencia entre las experiencias experimentales, las representaciones abstractas y el lenguaje utilizado en el aula, destacando la importancia de vincular la teoría con la práctica.

El modelo de cambio químico escolar, según su propuesta, no solo sirve como una estructura teórica sólida, sino que también orienta la programación de la enseñanza de la química paso a paso. Esta programación busca dar coherencia y significado al diseño de las clases, abordando la falta de estructura y orientación en la enseñanza actual. Finalmente, la obra de Mercè ofrece un enfoque disciplinar, pedagógico y didáctico integral que aborda las carencias identificadas en la enseñanza de la química, proponiendo un cambio transformador en la forma en que los profesores diseñan y entregan sus clases, con el objetivo de mejorar la comprensión y aplicación del conocimiento químico por parte de los estudiantes.

Agradecimientos

La investigación sobre la enseñanza del cambio químico basado en modelos a través del diseño de secuencias con inclusión de tecnología inmersivas, fueron posible gracias al financiamiento de los Proyectos Fondecyt 1150659, 1180619, 13220048 y 1211092 (ANID). Gobierno de Chile.

Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A., Merino, C., & Izquierdo, M. (2012). An approach to the construction of chemistry curricula on the basis of structuring theoretical fields. *Journal of Science Education*, 13, pp. 42-44.
- Izquierdo, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 92(6), pp. 115-136.
- Izquierdo, M., Márquez, C., & Gouvêa, G. (2011). La función retórica de las narrativas experimentales en los libros de ciencia. Presentación de una agenda de análisis. *Revista Brasileña de Investigación en Educación Científica*, 6 (2). Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4049>
- Izquierdo, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En F. Perales & P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias* (pp. 35-64). Marfil.
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las ciencias sociales: revista de investigación*, 6, 125-138. <https://www.raco.cat/index.php/EnsenanzaCS/article/view/126338/190685>
- Izquierdo, M. (2014). Pasado y presente de la química: su función didáctica. En C. Merino, A. Arellano, & A. Adúriz-Bravo (Eds.), *Avances en Didáctica de la Química: Modelos y Lenguajes* (pp. 13-36). Ediciones Universitarias de Valparaíso.
- Izquierdo, M., & Aliberas, J. (2004). *Pensar, actuar i parlar a classe de ciències*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Izquierdo, M., Merino, C. & Marzábal, A. (2021). ¡La reacción química emocional!: La importancia del lenguaje en la modelización del cambio químico. *Alambique*, pp. 16-22.
- Izquierdo, M., Sanmartí, N. & Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 45-59.
- Izquierdo, M. (2013). School Chemistry: An Historical and Philosophical Approach. *Science & Education*, 22(7), 1633-1653. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9457-5>
- Izquierdo, M. & Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), pp. 27-43.
- Jara, R., Merino, C., Arellani, M., Inzunza, G., Satlov, M. & Adúriz-Bravo, A. (2020). Written Reconstruction of School Scientific Experiments: The Use of Narratives in Secondary Chemistry Education. En K. O. Villalba-Condori, A. Adúriz-Bravo, J. Lavonen, L.-H. Wong, & T.-H. Wang (Eds.), *Education and Technology in Sciences* (Vol. 1191, pp. 128-140). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-45344-2>
- Merino, C., & Izquierdo, M. (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación Química*, 22(3), 212-223. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30137-X](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30137-X)
- Merino, C., Pino, S., Meyar, E., Garrido, J.M. & Gallardo, F. (2015). Realidad aumentada para el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje en química. *Educación Química*, 26(2), pp. 94-99.
- Merino, C. & García, A. (2019). Incorporación de realidad aumentada en el desarrollo de la visualización. Un estudio con estudiantes de secundaria en torno al modelo atómico.

Pensamiento Educativo. Revista de Investigación Educativa Latinoamericana, 56(2), pp. 1-23.

- Merino, C., Marzábal, A., Quiroz, W., Pino, S., López-Cortés, F., Carrasco, X. & Miller, BG. (2022). Use of augmented reality in chromatography learning: How is this dynamic visual artifact fostering the visualization capacities of chemistry undergraduate students? *Frontiers in Education*, 7: 932713. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.932713>
- Ordenes, R., Arellano, M., Jara, R. & Merino, C. (2013). Representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas sobre la materia. *Educación Química*, 25(1), 46–55. [https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(14\)70523-3](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(14)70523-3)
- Oliva, J.M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 37(2), 5-24.
- Sanmartí, N. & Izquierdo, M. (2002). El lenguaje y la experimentación en las clases de Química. En Instituto de Ciencias de la Educación (Ed.), *Aspectos didácticos de física y química* (pp. 41–88). Universidad de Zaragoza.

Investigación y formación docente en la escuela

¿Cómo aportar al desarrollo profesional docente, desde las primeras prácticas de aula, a partir del diseño de la Actividad Científica Escolar?

Álvaro García Martínez

Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Bogotá, Colombia
alvaro.garcia@udistrital.edu.co

Resumen

En este documento, se presenta una experiencia investigativa de formación inicial de profesores de química soportada en la interacción de una comunidad de desarrollo profesional (CODEP) que centra la atención del diseño didáctico de la actividad científica escolar (ACE). Esta ACE se estructura en unidades didácticas (UD) que son construidas por la comunidad en la escuela, en donde se planifica su puesta en práctica, y se analizan los aprendizajes generados en los estudiantes de secundaria, y en los mismos profesores de química en formación, a través de la metareflexión sobre su práctica profesional docente. La UD se estructura mediante la interacción de varios tipos de prácticas científicas, pero en este documento se presenta el énfasis en el desarrollo de la comunicación en ciencias.

Palabras clave: Desarrollo profesional docente, formación inicial de profesores, práctica docente, actividad científica escolar, comunicación en ciencias.

1. Introducción

La formación del profesorado de ciencias se ha venido desarrollando desde hace varias décadas como una de las líneas prioritarias para la educación en ciencias, desde perspectivas teóricas y metodológicas diversas. La perspectiva que hemos venido trabajando, en la cual se han generado avances importantes, es el *desarrollo profesional docente*, generado a partir de la construcción e interacción en comunidades. Este grupo de profesores que se agrupan y organizan para desarrollar propuestas de innovación, a partir de la investigación en didáctica de las ciencias, lo hemos denominado comunidades de desarrollo profesional (CODEP).

Las CODEP se interpretan como un equipo de profesores que se reconocen como profesionales (en ejercicio o en formación) de la educación, los cuales participan en discusiones críticas y reflexivas para la toma de decisiones en torno a su objeto de estudio, generación de diseños para la enseñanza y el aprendizaje en su aula (e institución) y otros procesos que allí se desarrollan y que las condicionan, todo esto para contribuir a la formación ciudadana, desde el estudio de las ciencias naturales. Esta comunidad comparte poco a poco ciertas prácticas y referentes, teóricos y metodológicos, que se van construyendo como producto de esta dinámica, que la definen y retroalimentan. Estas prácticas y referentes se van construyendo y reconstruyendo producto del estudio de la implementación de lo diseñado, en los diferentes espacios de formación (aula de clase –presencial o virtual–, laboratorios, espacios de prácticas profesionales, salidas de campo especializadas, entre otras) . Cuando se habla que los profesores se reconozcan como profesionales, se hace referencia al reconocimiento que hacen ellos mismos como profesores (universitarios, de secundaria o primaria), que su objeto de estudio es la enseñanza de la química –en este caso– (que va relacionado al conocer cómo aprenden sus estudiantes) y todas las implicaciones de ésta en su aula y su institución; lo cual se va logrando poco a poco, a medida que se va consolidando la comunidad.

Uno de los elementos en los cuales se centra la formación inicial de los profesores de química desde esta perspectiva de construcción e interacción a través de CODEP, es el diseño microcurricular, que se ha realizado a través de la creación de secuencias de enseñanza aprendizaje o unidades didácticas, basadas en el diseño de *actividades científicas escolares*, para ser implementadas durante el proceso de las prácticas profesionales docentes en las instituciones educativas. La actividad científica escolar es un concepto de gran importancia en la didáctica las ciencias, y es por esto que se hace necesario que los profesores aprendan a diseñarlas, implementarlas y hacer un proceso de seguimiento para ir evaluando su efectividad, con base en los aprendizajes generados en los estudiantes.

En este contexto, es importante aclarar la interpretación que se tiene de la ACE y su papel en la formación en ciencias. Los estudios desde las ciencias cognitivas han proporcionado nuevos aportes a la didáctica de las ciencias (Echeverría, 1995), ya que muestran que hacer ciencia (por parte de los científicos) y aprender ciencias (por parte de los alumnos), son procesos de construcción de conocimiento, en los cuales se requiere la experimentación, el pensamiento teórico y el lenguaje. En la misma línea, hace un aporte a la consolidación de los referentes de la ACE, la cual consiste en la construcción de modelos a través de la representación, la acción y el discurso, aplicados a algunos fenómenos elegidos por su potencial, como ejemplares de las ideas a enseñar . Bajo este proceso de enseñanza, el modelo teórico se considera como “la unidad fundamental de la ciencia de los científicos y de la ciencia en la escuela” (Adúriz-Bravo *et al.*, 2005, p. 1).

Desde la perspectiva de Erdurán y Duschl (2004), la ciencia para todos ha de ser multidisciplinar, y en la misma línea, Izquierdo (2017) plantea que la actividad científica escolar también ha de serlo (porque se refiere a un mundo global), debe ser razonable (porque propone modelos creíbles sobre los cambios materiales que se relacionan entre sí) y educativa (porque desarrolla competencias que ayudan a vivir). Asimismo, la actividad científica escolar debe contemplar su propio contexto, la relación con otros fenómenos similares de otros contextos, y el diseño de actividades prácticas, en las que se incluyen las experimentales, en donde interviene el uso de instrumentos para el estudio de los fenómenos.

La actividad científica escolar contempla el desarrollo de la comprensión de los estudiantes de la base epistémica de la ciencia –cómo nosotros sabemos lo que sabemos– y requiere que los estudiantes estudien o se comprometan con las prácticas comunes de la ciencia (Duschl & Grandy, 2013). plantea que el conocimiento epistémico se presenta como un rasgo explícito; desde esta perspectiva, la actividad científica escolar incluye las llamadas por prácticas científicas; y son el centro de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, puesto que coloca las habilidades de pensamiento crítico y la evaluación como el eje del proceso de formación. Osborne resalta las siguientes ocho prácticas científicas: hacer preguntas y definir problemas, desarrollo y uso de modelos, planificar y llevar a cabo investigaciones, análisis e interpretación de los datos, uso del pensamiento matemático y computacional, construcción de explicaciones, diseño de soluciones, participar en la discusión a partir de la obtención de pruebas, y, finalmente, evaluar y comunicar la información.

En este sentido, consideramos que la ACE debe desarrollar diferentes tipos de prácticas científicas, mediadas todas ellas por la comunicación, de tal forma que debe construirse desde la formación en el discurso académico en la escuela. Esto implica que los docentes deben ser profesores de lenguaje de las ciencias, al ser este un nuevo mundo de aprendizajes a los que se enfrentan los estudiantes cuando comienzan el estudio de las ciencias en la escuela. Lo que se ha desarrollado en este proceso de formación es centrar la atención en la ACE, que forme parte del discurso académico en el aula, mediante el desarrollo de habilidades cognitivas lingüísticas, tales como la descripción, explicación y argumentación, entre otras, a partir del trabajo de sus habilidades cognitivas que las soportan. Como se ha mencionado la ACE no se centra en un solo tipo de práctica; hemos centrado la atención en la comunicación en ciencias, pero esta va correlacionada con la modelización, la práctica científica y el desarrollo de la naturaleza de la ciencia.

De esta forma, es importante recordar que en la formación para una adecuada comunicación se plantea que escribir y argumentar son actividades fundamentales para hacer ciencia (Lemke, 1990; Jetton & Shanahan, 2012). De hecho, como señalan , el sentido fundamental de la alfabetización en la ciencia es la capacidad de un

individuo de construir un significado mediante la interacción con las múltiples formas de comunicación semiótica que se utilizan en la disciplina de la ciencia. Uno de los principales objetivos de pedir a los estudiantes que desarrollen la argumentación, debe ser fortalecer el meta-conocimiento de la ciencia. De esta forma, desde una perspectiva educativa, el valor de pedir a los estudiantes que se dediquen a la argumentación es que exige las competencias cognitivas, tales como evaluación, síntesis, y comparación y contraste .

2. Construcción de la CODEP en torno al diseño didáctico de la ACE para implementar en el aula

La comunidad se construye con docentes en formación (de 5 a 8), el profesor titular del colegio (uno o dos) y el docente investigador. Se realizan seminarios semanales de dos horas como mínimo, pero se cuenta con otros espacios de trabajo entre el docente investigador y los docentes en formación.

Del proyecto de innovación. En cada colegio se desarrolla un proyecto de innovación, que ha sido concebido desde la investigación en didáctica de la química, y el cual dirige el profesor investigador de la universidad con su CODEP. Uno de los proyectos se denomina **Desarrollo de la comunicación en ciencias, mediante el fortalecimiento de las habilidades cognitivo lingüísticas (HCL)**; en este proyecto la actividad científica escolar que se trabaja con los estudiantes de secundaria, gira en torno al fortalecimiento de la comunicación en ciencias, desde el desarrollo de las HCL. Es decir, que los docentes en formación al diseñar sus unidades didácticas dan cuenta de la actividad científica escolar que trabajarán con los estudiantes de secundaria, diseñan actividades para la enseñanza de la química que promueven el desarrollo de las HCL en los adolescentes con los que trabaja en la escuela, en las asignaturas de química inorgánica y química orgánica. Para este caso, en el seminario de la práctica profesional se han estudiado textos sobre las HCL y su desarrollo a partir de las habilidades cognitivas, de tal manera que se han diseñado materiales didácticos y talleres para trabajar con los estudiantes de secundaria la descripción, explicación y argumentación en química.

De la formación en la CODEP. El seminario que se desarrolla semanalmente tiene una estructura y programación de acuerdo con el proyecto de innovación a desarrollar, que se correlaciona con el Proyecto Educativo Institucional del colegio; con esto se garantiza que haya una sintonía entre los procesos de formación desde la universidad y el colegio.

La construcción de la unidad didáctica base para desarrollar actividades científicas escolares. Este proceso inicia con una fundamentación teórica, con los documentos señalados, además con el estudio de artículos generados por el grupo de investigación, que fundamentan cómo se organiza y estructura una unidad didáctica.

Dado que cada estudiante para profesor ha sido asignado a un curso en particular de química, él analiza el programa curricular de la asignatura que orientará, y selecciona un tema, o un concepto o fenómeno de las ciencias para trabajarlo posteriormente con sus estudiantes. Con base en la selección de este concepto y con la fundamentación sobre unidad didáctica, el docente en formación comienza a generar la estructura de su unidad didáctica, contemplando los tiempos, el contexto, la profundidad del estudio, los temas, las edades de los estudiantes, el proyecto de innovación y su relación con el proyecto educativo institucional.

En primera instancia, tomando como referencia lo planteado, el profesor en formación diseña su mapa de diseño curricular (MDC) (ver anexo 1, pág. 204). Con base en este, identifica los niveles de complejidad que decidió trabajar con sus estudiantes, y, a partir de ellos, construye las ideas claves a desarrollar para cada nivel, y, desde ellas, genera las competencias a trabajar con los estudiantes. Cada nivel del MDC se identifica por un color diferente, que luego coincide con un cuadro que correlaciona el nivel, la idea clave y la competencia, al que hemos denominado Cuadro de correlación NIDECO (ver anexo 2, pág. 205).

Una vez organizadas y definidas las competencias a desarrollar en los estudiantes, las cuales incluyen no solo las conceptuales, sino también procedimentales, axiológicas, comunicativas y otras que se correlacionen con el proyecto institucional; el docente en formación crea un gran problema didáctico que será el orientador de toda la actividad científica escolar (ACE), que incluye todas las actividades que desarrollará en el aula. Ese problema general, se trabajará durante cuatro o cinco semanas, dependiendo de la intensidad horaria que tenga cada asignatura. A partir de dicho problema, que se relaciona con un fenómeno, y las ideas clave que se plantearon, el estudiante para profesor crea, para cada nivel del mapa de diseño curricular, un problema didáctico de menor grado, que orientará las actividades a desarrollar en cada uno de estos niveles.

Una vez se tiene el problema didáctico para el primer nivel, el docente en formación comienza a diseñar las actividades que contemplarán el abordaje y estudio de ese primer problema. Las diseña contemplando que tengan en cuenta el análisis de las ideas previas de los estudiantes, el desarrollo de las habilidades cognitivas lingüísticas que abordará con ellos, y los procesos de regulación y de autorregulación que generará con los estudiantes. En este punto, es importante que el docente en formación seleccione las habilidades cognitivas-lingüísticas a desarrollar; lo ideal sería desarrollar varias, pero por cuestiones de tiempo y de nivel de formación de los estudiantes de secundaria es pertinente seleccionar unas pocas.

Con esto, el docente en formación diseña el proceso de orientación didáctica que adelantará en el aula de clase, así como el proceso de seguimiento de cada una de las actividades y competencias a desarrollar. En este sentido, planteará los

instrumentos de evaluación, con sus respectivas rúbricas de valoración. En el diseño de los instrumentos de evaluación, el docente en formación tendrá en cuenta procesos de autoevaluación, coevaluación y heteroevaluación. Otro elemento importante que consideramos en el diseño de las unidades didácticas es el relacionado con la formación en la naturaleza de la ciencia, en algunos casos haciendo uso de casos históricos de la química. Consideramos pertinente el hacer explícito, con actividades especialmente diseñadas para tal fin, la formación de los estudiantes respecto del conocimiento científico y los aspectos relacionados con este.

De la observación desarrollada. Los estudiantes para profesor, en su interacción cotidiana con el docente en ejercicio, realizan una observación del trabajo que realizan en sus actividades diarias. Esta observación se hace de manera natural, y, normalmente no se sistematiza. Sin embargo, es de vital importancia, ya que los profesores en formación empiezan a reflexionar sobre la forma en que el profesor titular desarrolla sus actividades, realiza su planeación, desarrolla los procesos de evaluación y la forma de trabajo en el aula. Es decir, de manera natural realiza un análisis didáctico de la docencia, a partir de la observación directa del trabajo en el aula. Este ejercicio es de suma importancia para la formación de los estudiantes para profesor, ya que les permite ir aprendiendo sobre la acción docente, a partir de la observación directa, les ayuda a generar todo un ejercicio metacognitivo frente a lo que ellos harían en una situación determinada, cómo lo desarrollarían y qué es lo que ellos deben ir mejorando para ser mejores docentes de ciencias; les ayuda a reconocer modelos de docencia que pueden seguir y otros que no son pertinentes.

Las observaciones de aula que se realizan son de tres tipos: las que hace el docente investigador de los docentes en formación, las que realizan los docentes en formación entre sí y las que realizan los docentes en formación del profesor titular. En los tres tipos de observaciones se estudia el proceso didáctico de puesta en escena de lo planeado para desarrollar en el aula. La observación se orienta por: a) el proceso desarrollado *versus* lo planeado, b) la efectividad del trabajo, al momento de orientar a los estudiantes, c) el manejo del grupo clase (mantener la atención, estar pendiente de todos los estudiantes frente a lo que desarrollan, identificar los casos atípicos, etc.), d) regulación que realiza el docente, y e) la promoción de la autorregulación.

El docente investigador realiza una observación directa del trabajo del estudiante para profesor, la cual se programa con antelación. Dicha observación se hace en una sesión de clase, en donde el docente de la universidad se ubica en un sitio que no interrumpa la clase y toma nota de los aspectos más relevantes del desarrollo de la clase, con base en los indicadores mencionados. Otro proceso que hemos adelantado, con el fin de hacer un seguimiento del trabajo que realizan los docentes en información en el aula de clase, es la filmación de las clases y su estudio posterior.

De la retroalimentación y análisis del trabajo en el aula. Esos ejercicios de interacción de trabajo en el aula, que desarrollan los estudiantes para profesor junto con el titular, y que se realizan directamente en el aula de clases, se estudian en algunas sesiones de nuestro seminario en la CODEP. Se analizan diferentes aspectos sobre los elementos teóricos que aparecen en los artículos y demás fuentes bibliográficas, y se empiezan a relacionar con las experiencias que cada uno de ellos ha podido evidenciar en el trabajo en el aula.

Una forma de hacer los análisis del trabajo que se desarrolla en la sala de clases es basarse en las observaciones allí realizadas por el docente de la universidad, o el titular del colegio o de los mismos profesores en formación. El análisis de las observaciones se hace, en primer lugar, de manera individual y luego se seleccionan algunos aspectos de este para ser analizados en la CODEP. Estos aspectos se estudian desde la experiencia misma en el colegio, desde las experiencias vividas por los docentes y se refuerzan con el análisis de referentes teóricos que ayuden a profundizar y mejorar ciertos aspectos del trabajo en el aula de clase.

En cuanto a la filmación del trabajo de aula que hacen los mismos docentes en formación, una vez realizado el registro visual, quien lo ha hecho genera un análisis, teniendo en cuenta unos parámetros que se le han establecido de manera previa, los cuales estudia para emitir un concepto cualitativo en donde se identifican los aspectos más relevantes de lo observado; esta técnica de uso del video se ha empleado con regularidad en el estudio de la práctica docente (Riordan, 2023). Se finaliza con una retroalimentación, que resalta los aspectos para mejorar en la actividad docente; este ejercicio se constituye como una coevaluación a partir de la observación. El video, junto con el análisis que ha realizado el compañero, son entregados al docente en formación que fue grabado, para que este realice un ejercicio de autoevaluación frente a la coevaluación que le ha entregado su compañero.

Este ejercicio es de gran importancia, ya que se convierte en un espacio de aprendizaje para ambos docentes en formación, quien fue grabado y aquel que observó la clase. El docente en formación que observó la clase, al hacer un análisis del desempeño de su compañero, identifica diferentes aspectos que le ayudarán a reflexionar, a través de un proceso metacognitivo sobre cómo debería desarrollar sus propias clases, a partir de lo que hizo su compañero. Esta coevaluación es de gran relevancia, ya que es más sencillo para ellos hacer una evaluación del otro que de sí mismos. Son más detallistas en la descripción de la observación y más conscientes de su papel de observadores y evaluadores, lo que les ayudará posteriormente en su autoevaluación para desencadenar procesos de autorregulación.

El docente en formación realiza una autoevaluación que se dialoga en privado con el docente de la universidad, quien ha visto la observación, la coevaluación y la

autoevaluación de manera previa. A partir de ese diálogo, se generan unos acuerdos para fortalecer el trabajo en el aula de clase. Producto de esta coevaluación y autoevaluación sobre el video, se realiza un diálogo en la CODEP, en donde se analizan algunos aspectos de lo observado. Se comienza por la narración del docente que orientó la clase, lo que había previsto desarrollar, lo que se desarrolló y las situaciones particulares que se dieron en clase y que él desee mencionar, enfatizando en aspectos que se pueden fortalecer en la siguiente clase. Luego participa el docente que hizo la coevaluación, indicando los aspectos claves de esta. A continuación, los demás docentes participan y aportan, desde lo mencionado y desde su propia práctica desarrollada.

De la comunicación y divulgación científica. Como productos finales, los profesores en formación entregan un portafolio docente, la unidad didáctica con sus anexos y un artículo que va orientado hacia el análisis de los aprendizajes generados por los estudiantes de secundaria, producto de la implementación de la unidad didáctica. Otro proceso de divulgación del trabajo académico desarrollado, lo constituye la creación de comunicaciones o ponencias para congresos.

Técnicas e instrumentos empleados en el estudio de la práctica profesional docente. A continuación, se presentan unos referentes que orientan la investigación desde aspectos metodológicos, desde las técnicas y los instrumentos empleados en el estudio de la formación de profesores dentro y fuera del aula de clase. Estos referentes, técnicas e instrumentos orientan los procesos de formación y se han empleado de forma permanente en el desarrollo de CODEP.

En los procesos de investigación en educación, se asume el constructivismo como paradigma metodológico debido a que se construye el conocimiento a través de las experiencias vividas con otros miembros de la escuela; lo anterior implica que el investigador produzca conocimiento que refleje la realidad de lo que investiga (Lincoln *et al.*, 2011). Los mismos autores reconocen que la naturaleza del objeto de estudio no se puede entender completamente debido a las variables ocultas y a la falta de absolutos. En el estudio de las acciones y prácticas del ser humano, no hay absolutos. En este sentido, la realidad está sujeta al mayor examen crítico posible para buscar la aprehensión de los sucesos lo más fielmente posible, pero sin llegar a la perfección, ya que la realidad no se puede comprender en su totalidad por las personas, por la misma naturaleza humana de las explicaciones de los fenómenos (Guba & Lincoln, 2002). Asimismo, los supuestos metodológicos del paradigma constructivista abarcan la hermenéutica, en la interpretación de los datos, y la dialéctica, en la comparación y contraste para comprender la realidad de los participantes (Guba & Lincoln, 2002; Lincoln *et al.*, 2011).

Al tener como objeto de estudio la formación de profesores, una de las técnicas principales de investigación es la observación, en sus diferentes tipos; la observación

participante y no participante, por medios directos y presenciales, o por grabaciones visuales del trabajo de aula. En las investigaciones que hemos adelantado, se han realizado observaciones directas no participantes, principalmente, y se ha registrado a través de videos, como se ha mencionado. Es muy importante esta técnica, ya que posibilita la percepción directa, en la práctica docente, de los acontecimientos que se desarrollan en las clases de ciencias. Los diferentes procesos comunicativos en el aula no son fáciles de identificar por otros medios, pero con la observación se pueden ver diferentes formas de comunicación que salen de lo verbal y lo escrito en el aula. En la comunicación no verbal se encuentran factores asociados al habla, tales como el tono, el timbre, ritmo, volumen y los silencios, que son estudiados por la paralingüística. En los factores asociados al comportamiento se ubica el espacio personal, estudiado por la proxémica, y aquellos relacionados con la expresión facial, la mirada, postura, los gestos, que son estudiados por la kinesia. Muchos de estos factores se pasan por alto en los procesos de formación de profesores, pero son de vital importancia en el análisis de la práctica docente.

El *diario del profesor* es una herramienta fundamental para la organización, la programación de las actividades, y los diferentes procesos evolutivos que este desarrolla en el aula. Cuando un profesor ha creado su UD ya puede generar una programación de sus clases con base en los horarios de la institución. En dicha programación, el profesor determina los días, las fechas de las sesiones a desarrollar, los tiempos a emplear y los recursos, y, al mismo tiempo, las dinámicas, metodologías y procesos evaluativos que realizará, todo esto a partir de lo diseñado en las unidades didácticas.

Se resalta en dichas observaciones, la manera como fue acogida la actividad por parte de los estudiantes, los aspectos que se debe reforzar y las recomendaciones para llegar a aplicar dicha actividad en otro momento. Allí también se puede incluir aspectos propios del comportamiento de los alumnos. El diario del profesor permite hacer una reflexión sobre la docencia, de tal manera que genera reflexiones de naturaleza metacognitivas en cada uno de los participantes y se aprovechan algunos ejemplos para analizar en la CODEP.

El *portafolio docente* es una herramienta que le permite al profesor almacenar de manera ordenada la información referente a todo lo empleado en el aula de clase. Allí se incluyen las unidades didácticas, las rúbricas de evaluación, evaluaciones realizadas, formatos de evaluación, listado de estudiantes, talleres planeados y desarrollados, notas y demás adjuntos al seguimiento de los aprendizajes de los estudiantes, sus videos y evidencias de los aprendizajes de los estudiantes, entre otros.

La *unidad didáctica* es una herramienta que planifica la actividad docente en el aula. Se caracteriza por que incluye los elementos necesarios para planear el trabajo en el

aula, y se estructura con base en los referentes teóricos que orientan el trabajo docente, en nuestro caso, el constructivismo social. En ese sentido, incluye las competencias, el problema central para abordar con los estudiantes, las preguntas orientadoras y las actividades a desarrollar en el aula, que contemplan lo que hará el profesor y lo que hará el estudiante. Incluye también el proceso de seguimiento de los aprendizajes de los estudiantes, así como todas aquellas estrategias de regulación que empleará el profesor para orientar a los estudiantes. Para profundizar en el diseño de unidades didácticas se puede revisar el artículo de García-Martínez, Hernández & Abella-Peña (2018), relacionado con el diseño del trabajo en el aula, en donde se detallan las características de la unidad didáctica y su construcción.

3. Discusión y conclusiones

Los docentes de hoy en día deben esforzarse por generar propuestas innovadoras en el aula y estas deben basarse en una relación entre la investigación y la práctica docente. Así, se pueden producir resultados retomando estudios anteriores y desarrollando productos compartidos y consensos construidos en conjunto con los docentes que quieren las situaciones diversas de aula (Couso, *et. al.* 2020).

Se esperaría que los profesores en formación, al finalizar sus prácticas docentes en la escuela, sean capaces de identificar las posibilidades de emplear cada una de las ocho prácticas propuestas por Osborne y sus potencialidades de uso, solas o combinadas, en el contexto del diseño y desarrollo de la ACE. También deberían ser capaces de identificar los desafíos cognitivos de las prácticas científicas escolares y tener alguna idea de las dificultades comunes que manifiestan los estudiantes. Deberían estar en capacidad de sugerir formas de diagnosticar el conocimiento previo y generado, y la comprensión de los estudiantes. Hacer esto requiere que seamos reflexivos con nuestra propia práctica.

Al respecto, Osborne (2014), afirma:

Si queremos construir las capacidades de nuestros estudiantes para construir explicaciones, analizar e interpretar los datos, desarrollar modelos y participar en la argumentación a partir de las pruebas, entonces es necesario que el profesor tenga algún plan de la estructura que espera construir y sus elementos constitutivos. De lo contrario, la práctica sin objetivos claros y bien especificados es ciega, mientras que los objetivos amplios sin detalles proporcionan poca orientación sobre cómo deben ser ejemplificados en el aula (p 193).

Transformar la enseñanza de las ciencias y movilizarla hacia perspectivas contemporáneas requiere que la distancia entre los resultados de la investigación y la práctica docente cotidiana sea más estrecha. A través de investigaciones que estudien el ejercicio docente e incorporen en él aportes generados desde la didáctica de las ciencias, con docentes en formación y docentes en ejercicio en la escuela se

crean nuevas posibilidades de transformación de la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

Una de las principales dificultades en el éxito de este tipo de procesos de formación en la escuela, es que los docentes titulares del colegio participen de forma regular, lo cual se ha logrado, pero no totalmente, siendo una debilidad del trabajo en comunidades. Esta participación se ve afectada por diferentes circunstancias: la sobrecarga de actividades que tienen los profesores en la escuela, la cantidad de grupos clase bajo su responsabilidad, el alto número de proyectos que tienen las instituciones y la pérdida continua de clases, entre otras. La pérdida de clases es un problema complejo que pasa desapercibido por diferentes entes administrativos; esto hace que se requiera una organización de las actividades institucionales de una forma rigurosa, puesto que no hay una cultura del respeto y cumplimiento de la clase. Por diferentes razones se cancela, se aplaza o se interrumpe la clase; por citar un ejemplo, hay colegios que han ubicado parlantes en los salones a través de los cuales se da información de diferente tipo a profesores y estudiantes durante las clases, cortando el hilo de lo trabajado y generando desorden en el aula. *Es importante crear una cultura del respeto a la clase*, lo cual se ha logrado en algunos países, pero en otros no existe.

Solo puede generarse una práctica de calidad que aporte al desarrollo profesional del docente en la medida en que se realice un proceso de formación que promueva el desarrollo del pensamiento del estudiante y del mismo profesor. Una formación con una fundamentación adecuada como la que proponemos, por medio de la construcción de comunidades, que se desarrolle en el sitio de trabajo, que reflexione sobre los contenidos escolares y que centre la atención en el diseño de la ACE, genera aportes valiosos en los aprendizajes de los participantes –especialmente en aprender a aprender, aprender a enseñar, aprender de la observación, aprender del estudio de las clases–, que promueven la autorregulación metacognitiva permanente de profesores y estudiantes.

Referencias bibliográficas

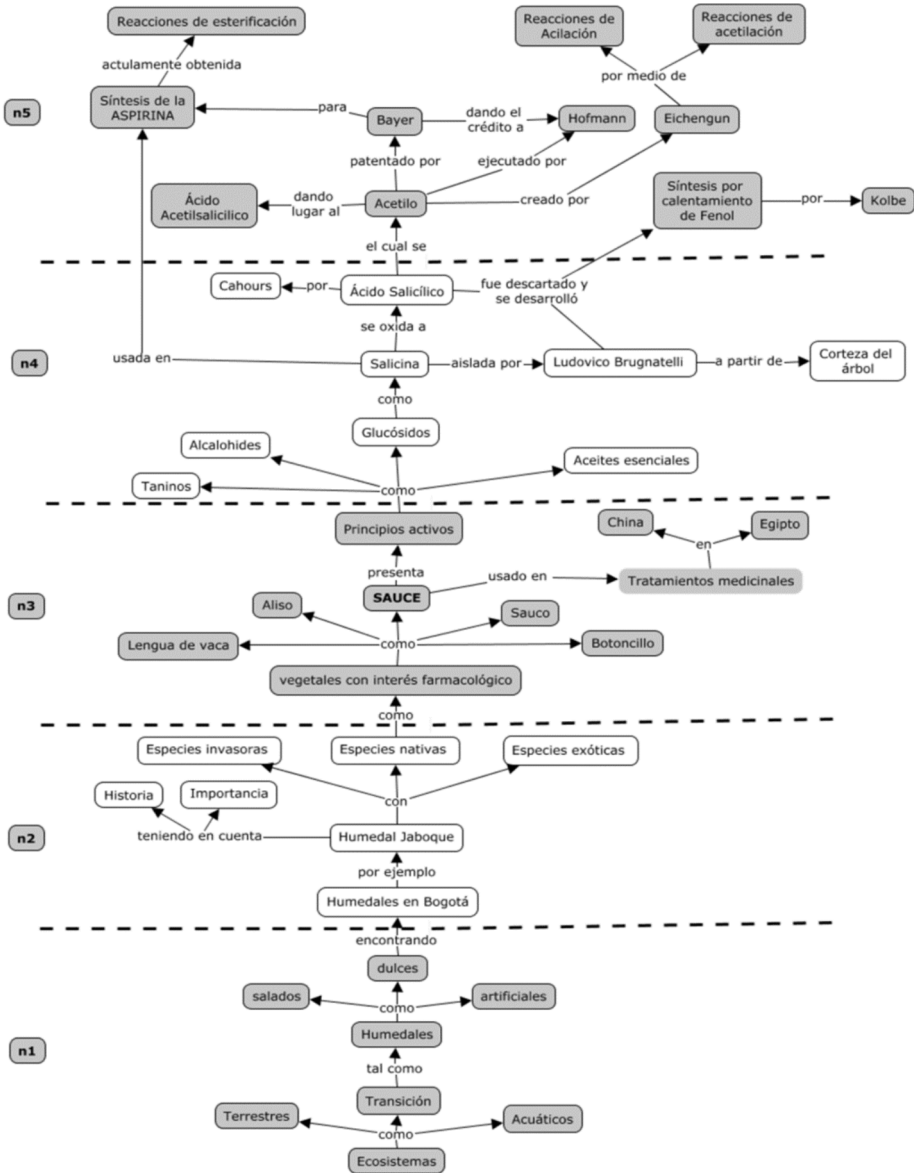
- Adúriz-Bravo, A. (2005). Una introducción a la naturaleza de la ciencia: la epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales. Buenos Aires, AR: Fondo de Cultura Económica.
- Couso, D., Jimenez-Liso, M.R., Refojo, C. & Sacristán, J.A. (Coords) (2020). *Enseñando Ciencia con Ciencia*. FECYT & Fundacion Lilly. Madrid: Penguin Random House.
- Cuadros M. & Álvarez J. (2023). Sistemas de organización de actividades para la enseñanza de las ciencias naturales: un estudio de construcción de un estado del arte y de estructuración conceptual. Trabajo de grado: Licenciatura en Química. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Duschl, R. A. & Grandy, R. (2013). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science & Education*, 22, 2109-2139.
- Echeverría, J. (1995). Filosofía de la ciencia (Vol. 7). Ediciones Akal.
- Erduran, S. y& Duschl, R. (2004). Interdisciplinary Characterization of Models and the Nature of Chemical Knowledge in the Classroom, *Studies in Science Education*, 40, pp. 111-144.
- Ford, M. J. & Wargo, B. M. (2012). Dialogic framing of scientific content for conceptual and epistemic understanding. *Science Education*, 96(3), 369–391. <https://doi.org/10.1002/sce.20482>
- García-Martínez, Á., Hernández, R. & Abella, L. (2018). Diseño del trabajo de aula: un proceso fundamental hacia la profesionalización de la acción docente. *Revista Científica*, 33(3), 316–331. <https://doi.org/10.14483/23448350.12623>
- García-Martínez, A. (2019). Formación de profesores en contextos variados, un análisis desde diferentes perspectivas teóricas. Documento de trabajo. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- García-Martínez, Á. (2021). Las comunidades de desarrollo profesional como vía de formación docente. Bogotá: Fondo de Publicaciones Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Guba, E. & Lincoln, Y. (2002). Paradigmas en competencia en la investigación cualitativa. En C. Denman & J.A Haro (Comps.)
- Izquierdo, M. (2017). Atando cabos entre contexto, competencias y modelización. ¿Es posible enseñar ciencias a todas las personas? *Modelling in Science Education and Learning*, 10 (1), 309-326.
- Izquierdo, M. & Adúriz, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education*, 12, 27–43. <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>
- Jetton, T. L. & Shanahan, C. (Eds.). (2012). Adolescent literacy in the academic disciplines: General principles and practical strategies. Guilford Press.
- Lemke, J. L. (1990). Talking science: Language, learning, and values. Ablex Publishing Corporation, 355 Chestnut Street, Norwood, NJ 07648 (hardback: ISBN-0-89391-565-3; paperback: ISBN-0-89391-566-1).
- Lincoln, Y., Lynham, S. & Guba, E. (2011). Paradigmatic controversies, contradictions, and emerging confluences. In N. Denzin & Y. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (4th ed., pp. 97-128).

- Norris, S. P. & Phillips, L. M. (2003). How Literacy in Its Fundamental Sense Is Central to Scientific Literacy. *Science Education*, 87(2), 224–240. <https://doi.org/10.1002/sce.10066>
- Osborne, J. F. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177–196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Riordan, J, Hardman M. & Cumbers, D. (2023). Pedagogy Analysis Framework: a video-based tool for combining teacher, pupil & researcher perspectives, *Research in Science & Technological Education*, 41:3, 906-927, DOI: 10.1080/02635143.2021.1972960

Anexos

Anexo 1

Mapa de diseño curricular (MDC). Adaptado de Cuadros y Álvarez (2023).



Anexo 2

Cuadro de correlación NIDECO (Nivel, idea clave, competencia). Adaptado de Cuadros y Álvarez (2023).

Nivel	Idea clave	Competencia
n1	Los humedales son ecosistemas de transición, pueden ser de agua dulce, salada o artificiales.	Reconoce los diversos tipos de humedales y su importancia para las comunidades en las cuales están presentes por medio de la creación de un folleto informativo.
n2	El humedal Jaboque se encuentra en la ciudad de Bogotá, siendo de gran importancia para la localidad de Engativá, teniendo presencia de especies endémicas, exóticas e invasoras.	Identifica los diferentes tipos de especies presentes en el humedal Jaboque y lo demuestra por medio de la realización de un friso.
n3	Algunas de las plantas presentes en el humedal Jaboque son de interés farmacológico, debido a que en su estructura contienen determinados compuestos químicos con efectos beneficiosos para la salud denominados “principios activos”.	Conoce los diferentes cambios del humedal Jaboque a lo largo del tiempo, por medio de un análisis visual y escrito. Diseña una guía para el uso de plantas de interés farmacológico presentes en el humedal Jaboque.
n4	El principio activo para la síntesis de la Aspirina es un glucósido obtenido del sauce blanco. El uso de la salicina ha evolucionado a lo largo de la historia hasta los métodos que conocemos actualmente.	Conoce la estructura de los glucósidos, así como sus características físicas y químicas analizándolas a través de organizadores gráficos. Reconoce el uso de la salicina a lo largo de la historia y su uso actual por medio de una línea de tiempo.
n5	Para la síntesis de la aspirina se han implementado diversas reacciones, las cuales se han visto permeadas por el contexto histórico y social de la época.	Propone una serie de reacciones para la síntesis del ácido acetilsalicílico (aspirina) a partir del ácido salicílico, haciendo uso de la plataforma chemdraw. Reconoce el contexto histórico y social en el cual se realizan síntesis de medicamentos por medio de una dramatización en grupo.

Aprendiendo de las controversias

Jordi Vallverdú

ICREA – UAB, Barcelona, España
jordi.vallverdu@uab.cat

Resumen

Este artículo narra la influencia de la Profesora Mercè Izquierdo en la carrera académica y personal del Prof. Vallverdú, iniciándose en un encuentro fortuito que se convirtió en una colaboración fructífera. La relación comenzó con el rechazo inicial del autor hacia la intervención de Izquierdo en su proyecto de tesis, que consideraba un desvío de su vocación filosófica. Sin embargo, esta colaboración resultó esencial para el desarrollo interdisciplinario del autor, fusionando filosofía y didáctica de la ciencia. La guía de Izquierdo no solo enriqueció la investigación del autor sobre controversias científicas, sino que también lo introdujo en el mundo de la educación científica, demostrando el valor del pensamiento crítico y la interdisciplinariedad. El legado de Mercè Izquierdo se manifiesta en el continuo impacto de sus enseñanzas y la formación de un número significativo de discípulos agradecidos.

Palabras clave: Interdisciplinariedad, controversias científicas, pensamiento crítico, didáctica de la ciencia, serendipia.

Introducción

Conocí a Mercè Izquierdo por casualidad, como todo lo que resulta interesante en la vida. En realidad, debería decir que, por serendipia, o como lo perfilé en mi trabajo de tesis doctoral, por “azar metódico” (Vallverdú, 2002: 190). La necesidad de este concepto se remonta al estudio de las situaciones de investigación científica en los que, por azar, se produce algún descubrimiento; si bien no es una casualidad absoluta, ni el resultado de arbitrariedades sin concierto, es un evento no contemplado dentro de un proceso sólido y continuado de investigación. Es por ello, por el contexto hacendosamente urdido, que no solo se posibilita el descubrimiento sino también su reconocimiento. Pienso, por ejemplo, en las fluorescencias observadas en los tubos catódicos que tantos físicos identificaron en sus prácticas experimentales, pero a las que tan sólo Röntgen identificó en 1898, como lo que después denominaron como “rayos X” (si bien él les dio su nombre, en entornos

germánicos todavía se llaman “Röntgenstrahlung” o “Röntgenstrahle”), abriendo un nuevo espacio para la reflexión de las propiedades físicas de la materia. De este modo confluyeron nuestros caminos. Por entonces yo tenía 22 años y había finalizado mis estudios universitarios de Filosofía, mi única y absoluta vocación. Si durante la carrera mis intereses habían seguido la estela de Friedrich Nietzsche, para lo cual había estudiado numerosos cursos de alemán, y todo parecía indicar que este sería mi destino, el de ser un experto en su obra, en el último año de carrera unos créditos obligatorios me obligaron a asistir a clases de Filosofía de la Ciencia. Por un lado, descubrí que todos los filósofos de la antigüedad habían sido lo que denominamos “científicos” (en el orden cronológico, el término fue creado por William Whewell, en 1834), y que toda verdadera filosofía debía ser un pensamiento de su tiempo. Por otro lado, me empecé a aburrir al verme atrapado entre las paredes muertas de un filósofo al que admiraba, pero que no daba de sí para explicar el mundo en el que vivía. Odio a los exégetas que muñen sin ética alguna a autores muertos. Creo que se les debería llamar en realidad “exéjetas”, por la jeta que tienen. La ciencia me parecía algo vivo, racional, abierto a discusión, audaz y valiente, por lo que dejé de repetir lecturas gastadas y me adentré en la excitación del conocimiento que se gesta. Esta actitud me costó discusiones con algunos docentes: “márchate a Biología”, me comentó un profesor, al decirle que yo pensaba que los datos antropológicos y etológicos sobre el ser humano y los primates habían cambiado mucho desde la fecha de la obra más actual que él trabajaba... de inicios de 1920.

En esas, y ya con el título en el bolsillo, mis más que aceptables notas me animaron a considerar la posibilidad de solicitar una beca predoctoral. Cansado de la universidad que había sido mi *alma mater*, me dirigí hacia la otra gran universidad catalana, la Universitat Autònoma de Barcelona. Allí contacté con una especialista en Filosofía de la Ciencia, la Dra. Anna Estany, a la cual expuse mi proyecto de tesis. A pesar de mi inherente inseguridad en muchas cosas, adornada con las dudas propias de la edad, tenía una idea muy clara sobre mi proyecto de investigación. Ya en el último año de la carrera me habían fascinado las controversias científicas. Eran momentos de fuerte carácter epistemológico, donde la racionalidad y sus fisuras o virtudes se mostraban con claridad. Todo ello me parecía oro puro, y tenía que devenir mi objeto de estudio. Incluso había identificado un estudio de caso, el de la sacarina y su supuesta toxicidad, que tenía una extensión temporal anormalmente longeva, y que permitía un estudio pormenorizado de máxima calidad y detalle. Era un caso muy interesante, incluso novelesco, porque su historia se adentraba en las guerras coloniales, las modas alimentarias, las enfermedades, el nacimiento de la epidemiología, el tráfico ilegal, la geopolítica del azúcar y sus impuestos. Por otro lado, su dilatación temporal me permitía hacer un estudio pormenorizado del proceso, de un proceso que mis contemporáneos estaban viviendo. Desde mi perspectiva actual, me imagino la sorpresa de la Dra. Estany (mi constante mentora

en los próximos años, y la causa de mi incorporación a la investigación y a docencia en la UAB) al ver cómo se presentaba aquel joven tan inseguro, pero de ideas claras y definidas. La Profesora Estany aceptó el reto. Con todo, había algo a contar: la dirección de una tesis becada tan sólo se podía hacer bajo el paraguas de un proyecto de investigación financiado y vigente, el cual ella, en aquel momento, no tenía. Además, había otro problema: la naturaleza y contenido químico de mi tesis estaba más allá de su conocimiento –y del mío, entonces–, y era necesario encontrar alguien que pudiera cumplir ambos requisitos. En ese momento, admito que me desanimé, puesto que... ¿dónde encontrar a alguien con una riqueza tal que aunara conocimiento químico e intereses filosóficos y humanísticos? Además, debía tener un grupo de investigación financiado. La respuesta: su colega la Profesora Mercè Izquierdo. Tenían un trato muy fluido, y era viable pedirle una codirección de tesis doctoral, con tal de poder acoger mi proyecto bajo el amparo de una beca en su grupo.

1. Mis directoras

En un arrebato de arrogancia juvenil, me predispose totalmente en contra de la sugerencia. Yo era un filósofo, y la Prof. Izquierdo trabajada en Didáctica de la Química. Me parecía un peaje, una contaminación a la naturaleza filosófica –mi única y pura vocación– el tener que aceptar tal injerencia, con tal de tener una beca. ¡Qué estúpido, como si existieran compartimentos estancos en el conocimiento! Está claro que no solo no había entendido nada sobre los procesos de generación de saberes, sino que tampoco había entendido la oportunidad que se me brindaba al poder trabajar con la Dra. Izquierdo. Por suerte para mí, ella aceptó. Era alguien muy especial, y ya desde nuestros primeros encuentros no solo aceptó mis condiciones, sino que supo entender que debía ser firme conmigo, pero, al mismo tiempo, darme espacios para la confluencia.

Me concedieron la beca, e inicié el camino de la codirección. Poco a poco, reunión a reunión, su visión no sólo ayudó a consolidar los elementos teóricos químicos presentes en la tesis, sino que me abrió los ojos al, para mí, ignoto mundo de la didáctica de la ciencia. Su rigor, entusiasmo y afabilidad fueron imponiéndose y derribando mis recelos. Además, vi en su despacho algo que no había identificado nunca antes en los de Filosofía: el tránsito constante de alumnos que, en realidad, eran discípulos. Estudiantes contentos por haber encontrado su vocación, tras haber cursado otros estudios que no los llenaron. Bajo la guía de Mercè, ya del todo próxima, por fin encontraban el sentido a las fórmulas, y lo hacían desde una perspectiva excitante: la de enseñar a pensar, a razonar, a argumentar científicamente a los infantes o adolescentes. Al fin y al cabo, de eso se trata: de reflexionar y enseñar cómo sabemos lo que sabemos. Ahora está de moda denominarlo “pensamiento crítico”, pero va incluso más allá. En realidad, descubrí...

¡que Mercè era filósofa! Tal vez desde la enseñanza de la química, pero filósofa. Todo empezaba a encajar: ella era mi aliada natural en el proyecto de tesis doctoral; pensábamos el mundo mediante la química.

Resultó muy saludable para mi formación crítica el tener que salir de la Facultad de Filosofía y tener que caminar hasta la de Educación. El Campus de la UAB es atípico en nuestro país: una isla alejada de las urbes, tapizado de una hierba verde que atempera la vista y llama a la conversación entre amigos. Cercano a su despacho, empezaba a ver estudiantes realizando sus prácticas, tan distintos, casi pueriles, desde la atalaya de monje de las letras, pero claramente felices en su compartir. Pensar en educar es pensar sobre cómo ayudar a pensar. Seguramente es la tarea más radical e importante en el mundo, algo que descubres por fuerza cuando te conviertes en padre. En esos encuentros de dirección, en los que los doctorandos llegan a los despachos de sus directores sembrados de dudas y sensación de poco avance, uno también aprende más sobre la propia naturaleza de la universidad. En mi caso, el constante ir y venir de estudiantes, muchos ellos de Latinoamérica. Empecé a entender que Mercè era mucho más que una directora, o una profesora: era un verdadero referente. Parecía que allí muchos sanaban heridas académicas (“¡el CV, el CV!”), para encontrar vocación y sentido. Para entonces, mi absolutismo filosófico se había debilitado y Mercè había sembrado en mí la simiente de la interdisciplinariedad. En esta habilidad tan básica he fundamentado mi carrera intelectual y académica. La incitación por transitar caminos desconocidos, acompañado de mentes que se esfuerzan por tender puentes. Continuó siendo mi tesis, mi proyecto, mi beca, pero ya guiado por Anna y Mercè.

2. Coautores

La tesis llegó a buen cauce y, como para cualquier otro investigador novel, se abrió un período a la par incierto que intenso. Mercè, siempre interesada por establecer puentes entre ámbitos, vio en mi proyecto no un mero resultado intelectual, sino una posibilidad de pensamiento educativo. Por ello, me alentó a usar mi modelo de análisis de controversias científicas en entornos educativos. Mi modelo, a diferencia de otras aproximaciones epistemológicas al análisis de controversias, partía de la necesidad de la identificación de los múltiples agentes participantes en las posibles controversias científicas, que incidían desde los propios científicos, técnicos, gestores políticos e, incluso, la sociedad civil. Este último agente, ahora está de moda a través de los estudios de “ciencia ciudadana”, pero en el año 2000 no se consideraba un agente con entidad propia. Mi modelo permitía visualizar geoméricamente los agentes, al tiempo que posibilitaba identificar sus encuentros con otros agentes, estableciendo una posible identificación taxonómica de todas las posibles combinaciones y sus roles empeñados. Y me habría quedado en el plano teórico meramente académico, pero Mercè pensó que sería una herramienta útil para formar tanto a niños como a formadores de niños. Mi modelo permitía describir

una herramienta conceptual para entender los matices de la ciencia y, por lo tanto, ayudar a entender su funcionamiento y transmisión. Teniendo en cuenta, además, valores no epistémicos, lo cual siempre pone un grado de realismo y conexión con el suceso estudiado. Además, las controversias científicas en química habían dado algunos de los mejores momentos de la historia de la ciencia Occidental: los debates Pasteur-Pouchet, el debate sobre el flogisto o la discusión sobre la simbolización química.

Con una gran generosidad, Mercè no solo me ayudó a adaptar mi modelo a un entorno educativo, sino que buscó colegas que permitieran la introducción de dicho modelo en el aula. Es fundamental tener en cuenta que las metodologías nuevas siempre tienen un reto doble: por un lado, demostrar entre la oferta existente que tiene sentido su presencia y, por otro, el recibir atención suficiente como para ser tenidas en cuenta cuando sus tasas de éxito no han sido claramente establecidas. Ello explica los recelos de los científicos ante las novedades epistémicas y, en algunos casos, su fobia (recordemos el caso de Golgi y Ramón y Cajal, en el cual Golgi continuó atacando el modelo de Cajal durante la ceremonia de la entrega de los premios Nobel, que compartieron, a su pesar (Golgi, 1906)). Tales esfuerzos dieron sus resultados y mi modelo fue adaptado con éxito, lo que dio lugar a diversas actividades educativas y a numerosas publicaciones (Izquierdo *et al.*, 2006; Vallverdú & Izquierdo, 2010; Izquierdo & Vallverdú, 2012), especialmente sobre el error (Estany, Camps & Izquierdo, 2012), lo que condujo a mi adaptación a este concepto (Vallverdú, 2012). La excitación por el diseño de estrategias docentes me había ya convencido y por ello publiqué, en el año 2007, mi primer capítulo de libro, dedicado a la enseñanza de las matemáticas a través de modelos computacionales bioinspirados (Vallverdú, 2007) y, más tarde, en 2009, 4 fichas docentes en Filosofía (escribir, programar robots, ...), dentro de la *Guia per a l'avaluació de competències en l'àrea d'Humanitats*, coordinada por Gemma Puigvert, BCN: AQU Catalunya [B-9.127-2009].

Nuestras reflexiones conjuntas continuaron en las consideraciones sobre la interrelación entre historia y filosofía de las ciencias y la enseñanza de las mismas (Izquierdo *et al.*, 2014). Mis colaboraciones y presencia en entornos educativos crearon espacios para nuevas reflexiones y equipos, de nuevo en torno al uso de las controversias científicas, para mejorar el aprendizaje de las ciencias en el aula (Pabón, Liz & Vallverdú, 2025).

3. Siguiendo la senda

Tras la estela de la tesis y sus corolarios, mi interés tanto por la enseñanza de las ciencias o la química no disminuyeron, y eso fue debido a la impronta dejada por Mercè. Tanto en mis intereses sobre modelización computacional química (Vallverdú, 2011), como en mis actuales intereses sobre computación biomimética

(inspirada en hormonas o neurotransmisores, Vallverdú *et al.*, 2023), la reflexión sobre lo químico en nuestra vida perdura vigente. Y el espíritu de la didáctica me ha acompañado mediante mis participaciones en el programa ARGÓ, de tutorización de investigaciones de estudiantes de secundaria, como recibiendo a doctorandos como Néstor Alexander Zambrano González (ya doctor), en sus estudios sobre controversias científicas aplicadas a la enseñanza de las ciencias.

Tengo muy claro que tuve la suerte de que el azar uniera los caminos de Mercè Izquierdo y los míos, y que de este proceso no sólo tuviera efectos académicos loables, sino también personales. Soy uno más de los miles de discípulos que ha tenido. Y me siento agradecido. ¡Gracias por todo, Mercè!

Referencias bibliográficas

- Estany, A., Camps, V. & Izquierdo, M. (Eds) (2012). *Error y conocimiento: la gestión de la ignorancia desde la didactología, la ética y la filosofía.*, Comares: Granada. ISBN: 84-9836-906-9.
- Golgi, C. (1906). *The neuron doctrine: Theory and facts* [Nobel lecture]. NobelPrize.org. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/golgi-lecture.pdf>
- Izquierdo, M. & Vallverdú, J. (2012). La función del error en la actividad científica de la escuela. Introducción, en Anna Estany, Victòria Camps & Mercè Izquierdo.
- Izquierdo, M., Vallverdú, J., Merino C. (2006). Relación entre la historia y la filosofía de las ciencias II, *Alambique*, 48: pp. 78-91.
- Izquierdo, M., Quintanilla, M., Vallverdú, J. & Merino, C. (2014). Una nueva reflexión sobre la historia y filosofía de las ciencias y la enseñanza de las ciencias, en Mario Quintanilla Gatica, Silvio Daza Rosales, Henry Giovany, Cabrera Castillo, (Compiladores y Autores) *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una "nueva aula de ciencias"*, promotora de ciudadanía y valores, Santiago de Chile: Editorial Bellaterra Ltda. ISBN: 978.956-332-719-9. pp. 30-51.
- Pabon, T., Muñoz, L. & Vallverdú, J. (2015). La controversia científica, un fundamento conceptual y metodológico en la formación inicial de docentes: una propuesta de enseñanza para la apropiación de habilidades argumentativas. *Educ. quim* [online]. 2015, vol.26, n.3, pp.224-232. ISSN 0187-893X. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.05.007>
- Vallverdú, J. & Izquierdo, M. (2010). Aprendiendo de los errores: la historia oculta de la ciencia, *Enseñanza de las ciencias*, 28(1); 47-60, ISSN:0212-4521.
- Vallverdú, J. (2002). *Marc teòric de les controvèrsies científiques: el cas de la sacarina* (Doctoral dissertation, Universitat Autònoma de Barcelona).
- Vallverdú, J. (2007). Introducing Alife in the classrooms: an Integrative Learning, a Nadia Nedjah (ed.) *Intelligent Educational Machines: Methodologies & Experiences*, 51-76, Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, USA.

- Vallverdú, J. (2011). "An Epistemological analysis of QSPR/QSAR models, in (2011) Castro, E.A. & Hagi, A.K. (eds), *Advanced Methods and Applications in Chemoinformatics: Research Progress and New Applications*, USA: IGI. ISBN13: 9781609608606.PP. 318-332.
- Vallverdú, J. (2012). Un modelo filosófico para el análisis del error en el espacio didáctico, en Anna Estany, Victòria Camps & Mercè Izquierdo (Eds.), *Error y Conocimiento: la Gestión de la Ignorancia*, Comares: Granada, pp.93-124. ISBN: 84-9836-906-9.
- Vallverdú. J., Talanov. M., Leukhin. A., Fatykhova, E. & Erokhin. V. (2023). Hormonal computing: a conceptual approach. *Frontiers in Chemistry*. 11:1232949. doi: 10.3389/fchem.2023.1232949

Narrativas didácticas

Nudos críticos al enseñar ITS en Ciencias para la Ciudadanía

Edith Herrera S.

Universidad del Bio-Bio. Chillán, Chile

eherrera@ubiobio.cl

Resumen

El estudio pone el foco en la indagación narrativa y aborda los relatos de una futura profesora de ciencias naturales, mención química de una Universidad Pública del centro-sur de Chile, durante la implementación de una secuencia didáctica sobre las infecciones de transmisión sexual en la asignatura de ciencias para la ciudadanía, en su práctica profesional. Para ello, se analiza los nudos críticos en las historias escritas en su diario biográfico sobre el desempeño de la profesora en formación, los que dan cuenta de las dificultades en la toma de decisiones, emociones negativas, cuestionamientos a su desempeño y déficit en la formación recibida. La visión narrativa didáctica en procesos formativos de ciencias favorece la comprensión de significados sobre situaciones complejas del aula; la construcción de saberes, enriquece la identidad y transformación de la acción docente.

Palabras clave: Educación superior; Enseñanza de la biología; Educación ciudadana; Educación sexual.

1. Introducción

Para acercar la biología al estudiantado, la didáctica ha de buscar relaciones entre el conocimiento biológico y sus principios con los intereses del alumnado y con su mundo, para aprender las complejidades de los sistemas vivos. En esta perspectiva, la propuesta de Ciencias para la Ciudadanía (Bases Curriculares, Mineduc, 2019) es desarrollar en los estudiantes habilidades científicas, capacidad de pensar de manera crítica, participar como ciudadano activo, responsable de su entorno, y tomar decisiones de manera informada basándose en el uso de evidencia. Según Izquierdo (2005), “Enseñar ciencias para la ciudadanía” va a ser muy diferente de lo que ha sido en los últimos cien años enseñar biología, física o química. El punto central del cambio va a ser que “*lo que se enseñe se aprenda y se pueda aplicar*”; así,

enseñar ciencias va a ser sinónimo de promover actividad científica que, como toda actividad humana, es tridimensional (requiere pensar, hacer y comunicar) y está sustentada por valores que dan sentido a la vida, lo que representa un cambio radical en la manera de concebir lo que ha de enseñar un profesor de ciencias.

Enseñanza de infecciones de transmisión sexual (ITS) en educación sexual integral

En el marco de la enseñanza de la biología, en las últimas décadas han surgido distintas inquietudes respecto a la enseñanza de las infecciones de transmisión sexual (ITS). Orozco (2020) señala que la enseñanza de las ITS se ubica en un punto neurálgico entre el campo disciplinar y las perspectivas políticas, las representaciones del mundo propias del profesorado de biología y los requerimientos de cada centro escolar. Según Rivera *et al.* (2016), la educación sexual ha tenido un enfoque reduccionista, orientado hacia lo informativo-preventivo y bajo una perspectiva conceptual biologizante, y se ha dejado de lado los aspectos sociales, culturales, valóricos y de sexo-género. Por su parte, Martínez *et al.* (2013) señala que la formación inicial del profesorado en educación sexual es heterogénea, ya que, durante esta se tratan aspectos puntuales de la sexualidad, por ejemplo: la anatomía, la psicología, los roles de género y la salud, pero sin lograr la necesaria integración de todo lo que se traduce en una comprensión subjetiva de quien la enseña.

Los adolescentes y jóvenes representan un grupo objetivo importante para la educación sobre las ITS y el VIH, particularmente en los países menos desarrollados. La falta de conocimiento sobre los patógenos, las vías de transmisión o las medidas preventivas, contribuye al hecho de que las personas jóvenes se vean afectadas con frecuencia por las ITS. Barría & Niebles (2020) señalan que un 70% la población estudiantil de Primaria manifiesta dudas y desconocimientos en cuanto a las temáticas de infecciones de transmisión sexual, homosexualidad y aborto; indicando que estos son los tópicos que más inquietan y solicitan que sean considerados en las clases. Rummel *et al.* (2022) señalan que las fuentes de información de las ITS del estudiantado en el 85% se obtienen de las lecciones en las escuelas; gran parte de la comunidad estudiantil también cita Internet (54,4 %) y la televisión (46,5 %). Esto refleja la enorme influencia de las escuelas y del importante rol del profesorado en términos de educación sexual integral. Para este mismo autor “todos los profesores deberían estar igualmente familiarizados con estos contenidos; así la educación sexual debe ser parte e integrarse en los planes de estudio en la formación de docentes de todas las universidades” (p.172).

La indagación narrativa en procesos de cambio del profesorado de ciencias

Según Mellado (2001), los procesos de cambio del profesorado de ciencias son de evolución lenta y gradual debido a obstáculos que, en buena medida, dependen del propio profesorado, de sus concepciones epistemológicas, mitos culturales o la propia experiencia de una enseñanza basada en la transmisión de contenidos. Los hallazgos de Herrera & Izquierdo (2017) señalan que en la formación inicial se requiere incorporar oportunidades de aprendizaje auténticas, que permitan reflexionar y cuestionar sus creencias o modelos de enseñanza. Para lo cual, el profesor inicial, al diseñar una SEA, se debe enfocar en a) identificar ideas claves de la ciencia en su U.D, ya delimitadas en el marco curricular, b) pensar sobre el modelo teórico que las incluye, c) buscar un buen problema o fenómeno que provoque el interés de los alumnos, d) consensuar con ellos la pregunta a investigar, e) diseñar un método para probarla y, finalmente, f) indagar en las relaciones entre los conceptos y el modelo científico escolar para llegar a comunicar explicaciones basadas en argumentos.

La escritura de las experiencias de práctica ofrece una oportunidad para el futuro profesorado de construir conocimiento profesional y repensar su disciplina al estudiar su acción en el aula. Leer lo que está escrito contribuye a tomar conciencia de las experiencias en los aspectos significativos de esa práctica, Para Amar-Rodríguez (2021), “La narrativa nos aporta dos reclamos de aproximación a una realidad: es decir, sobre la vida de quien narra su sentir de modo individual e, igualmente, muestra un reflejo de una vivencia colectiva, con los demás, que han configurado parte de su realidad” (p.13). De este modo, los dispositivos narrativos desempeñan un papel clave a la hora de facilitar la representación y la reasignación de significado a los acontecimientos de la propia vida (Freda & Martino 2015).

Según Chung & Kang (2012), “La característica única de este enfoque narrativo es que lleva a los futuros docentes a describir el proceso de microenseñanza que han experimentado personalmente, lo que les permite comprender sus percepciones y procesos de pensamiento” (p.1407). Poulou (2007) agrega que la narración es donde el profesorado en formación y en ejercicio expresa sus predicciones, expectativas e inquietudes, enfatizando que “la esencia de ayudar a los futuros docentes reside en la exploración de estas preocupaciones” (p.91).

2. Metodología

La investigación se enmarca en un enfoque interpretativo, de diseño cualitativo por estudio de caso. Se describe en profundidad la realidad, a partir de la recogida sistemática de datos en donde el investigador se identifica con el personaje que estudia para comprender su punto de vista (Ricoy, 2006). Sigue una investigación narrativa de un futuro profesor de ciencias naturales en su relato biográfico, durante

la práctica profesional. Este enfoque permite exponer y poner en tela de juicio aquellas prácticas que emplea el ejercicio de su profesión, permitiendo el acceso a un proceso de reflexión profunda, lo que conduce a mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje. (Delgado, 2019)

Este estudio forma parte de una investigación mayor, y en específico interpreta las narraciones del futuro profesor de ciencias para comprender la experiencia vivida al diseñar e implementar una secuencia de enseñanza-aprendizaje en Ciencias para la Ciudadanía. Desde esta perspectiva, busca responder a la siguiente pregunta: ¿Cuáles son los nudos críticos que se generan en las narrativas de un futuro profesor al implementar una secuencia didáctica sobre infecciones de transmisión sexual en Ciencias para la Ciudadanía?

2.1 Participantes

La selección de la muestra, en este estudio, se llevó a cabo de manera intencionada y corresponde a una estudiante de pedagogía en Ciencias Naturales, mención Química, de una universidad pública que cursa su quinto año y realiza su Práctica Profesional en la asignatura de Ciencias para la Ciudadanía, en establecimiento público de secundaria de una zona rural del centro-sur de Chile.

2.2 Instrumentos de recolección datos

Diario biográfico. Recoge el discurso escrito del caso estudiado del cual emergen registros etnográficos de cada clase. Las anotaciones después de un proceso de lectura y reescritura se transformaron en narrativas que identificaron aspectos importantes con nudos críticos sobre su desempeño en la práctica.

Conversaciones de tutorías. Entrevistas no estructuradas con la didacta, sobre las experiencias vividas durante el proceso de diseño, implementación y evaluación de la SEA.

Secuencia Enseñanza–Aprendizaje (SEA). Las actividades de aprendizaje realizadas por el estudiantado durante la implementación de la SEA por el futuro profesor entregan información sobre explicaciones de sus ideas, conceptos y mitos sobre ITS.

2.3 Análisis datos

En el estudio de caso de la futura profesora, “la investigación narrativa ha surgido como un enfoque holístico, una forma de entender la experiencia” (Connelly & Clandinin, 2006, p.479), por lo que abarca tanto una visión narrativa de los fenómenos de la experiencia como también una metodología para estudiarla. De las narraciones se seleccionaron aquellos episodios del discurso más importantes, que denominamos “nudos críticos”, y se levantaron, desde ahí, categorías de análisis en base al conocimiento didáctico del contenido (Shulman, 1986). En el estudio se consideraron los resguardos éticos de la futura docente y del estudiantado que participó en el tratamiento de los datos analizados.

2.4 Contexto

La secuencia de enseñanza–aprendizaje (SEA) denominada “*Desenmascarando las Infecciones de Transmisión Sexual*”, se diseñó para el módulo de Bienestar y Salud, en la unidad 2: Prevención de infecciones, considerando en particular la temática de Infecciones de Transmisión Sexual (ITS) en el objetivo de aprendizaje 3: “Analizar, a partir de evidencias, situaciones de transmisión de agentes infecciosos a nivel nacional y mundial (como virus de influenza, VIH-SIDA, hanta, hepatitis B, sarampión, entre otros)”. La elección de un curso científico-humanista y otro técnico profesional de tercer año de Secundaria para la implementación se hizo a conveniencia, por acceso de la futura profesora a la muestra donde realizó la práctica. Ambos cursos tienen 32 estudiantes y se caracterizan por ser autónomos en el desarrollo de actividades, participativos y curiosos durante el desarrollo de las clases. Cada curso cuenta con 3 horas pedagógicas de clases de Ciencias para la Ciudadanía.

La SEA consideró cuatro fases, según la propuesta de Educación Mesa Social Covid-19 (2020), como muestra la figura 1, en las que se detalla las actividades de aprendizaje que permitieran al estudiantado dar explicaciones y actuar frente a problemáticas científicas y sociales.

Fases de SEA “Desenmascarando las Infecciones de Transmisión Sexual”

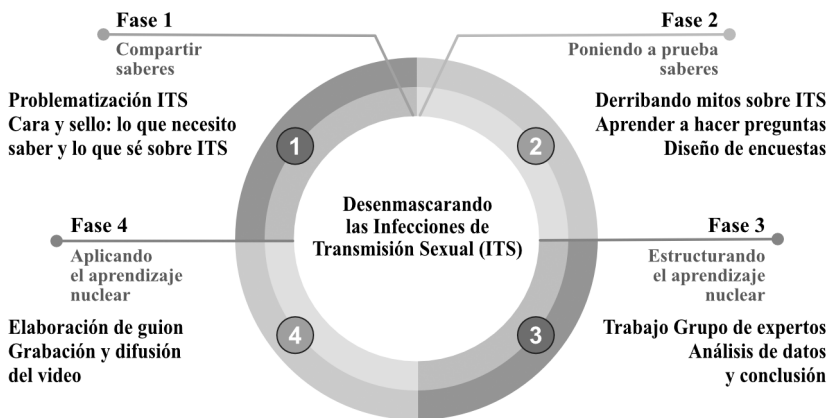


Figura 1. Fases ciclo aprendizaje del diseño de SEA según actividades aprendizaje.

El diseño de la secuencia basada en indagación y modelización (Windschitl *et al.*, 2008) se inicia al plantear la problemática al estudiantado sobre ITS, luego de ello exploran y expresan sus ideas previas frente a la problemática. La Tabla 1 presenta en detalle el diseño de las sesiones de clase de la SEA “Desenmascarando las Infecciones de Transmisión Sexual”, en dos meses de implementación. El Trabajo de grupos para realizar la indagación de la problemática de ITS fue guiada mediante el uso de andamios a modo de preguntas abiertas (Tena, 2021).

Tabla 1

Secuencia didáctica: “Desenmascarando las Infecciones de Transmisión Sexual”.

Fases	Sesión	Actividad	Conceptos	Evaluación
1. Compartir saberes <i>Explorando lo que sé</i>	0	El cara y sello de las ITS “¿Qué quiero saber de ITS? ¿Qué sé sobre las ITS?”	Detección de necesidades sobre ITS/Exploración de ideas previas.	Tarjetas personales. <i>Modelo inicial.</i>
2. Poniendo a prueba los saberes <i>Derribando mitos ITS</i>	1 y 2	Discusión en grupos para crear una pregunta de investigación y diseño de encuesta.	¿Cómo hacer preguntas investigables? Diseño preguntas.	Mitos ITS. Preguntas, entrevistas, encuestas.
3. Estructurando el aprendizaje nuclear <i>Organizo lo que aprendo</i>	3 y 4	Indagación para constituir grupo de expertos ITS.	Búsqueda de información sobre la ITS asignada al azar en los grupos.	Poster sobre ITS.
	5 y 6	Aplicación entrevista/encuesta y análisis de datos.	Organización de los datos en tablas y gráficos.	Interpretación de los datos y análisis con la literatura.
4. Aplicando el aprendizaje nuclear <i>Divulgación a la comunidad</i>	7	Diseño de video de divulgación Investigación.	Creación de guion video sobre ITS.	<i>Modelo final</i> Prototipo de video.
	8	Actividad final “Desenmascarando las Infecciones de Transmisión Sexual”.	Comunicación a la comunidad escolar sobre aprendizaje grupal de las ITS.	Presentación del video.

3. Resultados y discusión

Nudos críticos al enseñar ITS, narraciones de experiencia práctica

En este apartado se da respuesta a la pregunta de investigación del estudio, que analizó los nudos críticos de la narración de la futura profesora de Ciencias Naturales, durante el desarrollo de una SEA sobre ITS. De lo escrito emerge el conocimiento profesional que se representó en las categorías de: toma decisiones docentes, emociones y cuestionamientos en su modelo didáctico enseñanza y a su formación. En el relato da a conocer:

3.1 De estudiante en práctica a profesora

Mi llegada al aula de Ciencias para la Ciudadanía (CPC) se da en el contexto del inicio de mi práctica profesional, en el nivel de tercero medio, en el mes de abril de 2022. *Desde un principio sentí el agobio, ya que no tenía una experiencia previa realizando la asignatura.* Me propuse empoderarme y tomar las decisiones pedagógicas que guiarán el aprendizaje de estudiantes tanto de la formación humanista científico, como los técnicos profesionales, de las carreras de mecánica automotriz, administración de empresas y de forestal. Creo que *mi intranquilidad al planificar, es porque no conocía el currículum de la asignatura, mi mención es de química y no de biología,* por lo que me sentía a ciegas enfrentándome a esta situación. El único recurso al que recurrí fue al módulo del programa, no consideré el contexto de mis alumnos, sus especialidades y se me dificultó el diseño por el escaso tiempo disponible.

Comencé a aplicar la secuencia didáctica un 10 de mayo con la sesión 0; me sorprendí al darme cuenta de que mis estudiantes tenían muchas dudas con respecto a las ITS, esto generó una base para repensar el diseño de la secuencia que quería construir con ellos, pero, ahora, según sus necesidades e intereses por el tema. Tal vez, fue esto lo que disminuyó el miedo a equivocarme *frente a la aplicación de la secuencia y tener más seguridad en lo que estaba haciendo.* Le pedí a mis estudiantes agruparse, pero al ver que no existía una relación afín entre ellos, me tocó hacer de mediadora en la formación de los grupos. Así comenzaron a trabajar en *“Grupos de expertos”, seleccionaron una ITS y plantearon la pregunta de investigación de manera exitosa.* En una segunda sesión, derribaron los mitos sobre ITS y *mis estudiantes tomaron decisiones sobre cómo realizar la recolección de información.* En el curso de la modalidad científica, se motivaron con las actividades, no así en el curso Técnico-profesional, no querían hacer nada; al final logré que ellos *definieran qué ITS iban investigar, sus participantes y la forma en la que analizarían los datos obtenidos.*

En la tercera sesión, se comenzó la construcción del instrumento de indagación, y se iniciaron las dudas de mis estudiantes, ya que noté que estaban acostumbrados a buscar información directamente en internet y copiarla, cuando se les solicitaba realizar una investigación. Darme cuenta, me permitió entender la necesidad de contar con andamios en el aprendizaje, ir a la teoría, ya que estos permiten ir ayudándolos con preguntas en una indagación guiada. Durante la recopilación de datos, como docente me di cuenta de que es importante ser flexible con los procesos y dar tiempos según las necesidades de cada curso. Los grupos presentaban diferentes demandas, mientras algunos confeccionaban sus gráficos sin dificultad; otro grupo requería apoyo constante para la construcción de estos o para la organización de la información, yo los acompañé orientando y monitoreando en forma personal su trabajo. Al final de la secuencia didáctica, mis estudiantes tenían que presentar el video de divulgación con la finalidad de comunicar los resultados de su investigación, para generar discusión dentro del aula frente a una problemática científica. Luego, los videos entregados por mis estudiantes me causaron una grata sorpresa, por los resultados obtenidos en su investigación con las explicaciones biológicas de ITS; pocos grupos abordaron la responsabilidad con el otro por lo que estas infecciones provocan, algo que consideré importante, pero creo que no supe orientar a los alumnos al crear los videos.

Desde esta narración emerge el nudo crítico 1, que muestra la figura 2.

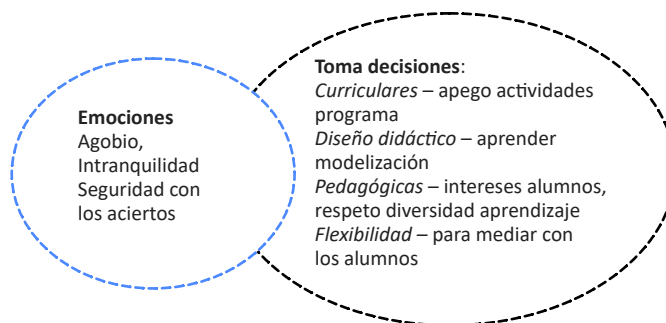


Figura 2. Nudo crítico 1: “De estudiante en práctica a profesora”

Del estudio de la narración coincidimos con Kang (2017) en que la selección y creación de tareas de aprendizaje pueden considerarse áreas centrales de la planificación de una clase, ya que permiten a los profesores integrar una variedad de decisiones adicionales que preceden al proceso de enseñanza y que no necesariamente puede llevarse a cabo durante la ejecución. El diseño de una clase representa la acción creativa y la reflexión de los profesores en la construcción de oportunidades de aprendizaje para sus alumnos (Schön, 1983). En esta toma de decisiones es fundamental, según numerosos autores, las emociones sobre la

enseñanza y el aprendizaje de cada materia de ciencias, y deben formar parte del CDC del docente (Garritz, 2010; Melo *et al.*, 2017; Zembylas, 2007). El propio Shulman (2012) ha reconocido que el olvido de la parte afectiva fue una de las debilidades de las formulaciones iniciales sobre el CDC y defiende que las emociones deberían incorporarse al mismo.

3.2 Abriendo los ojos

Realizar Ciencias para la Ciudadanía fue una experiencia desafiante, como profesora que está a cargo de esta signatura con otros sentidos; me costó tomar decisiones pedagógicas, enfrentarme a cursos que no querían tener la asignatura o cambiar las metodologías de trabajo constantemente; *muchas veces dudé de mi labor docente, como un guía del aprendizaje, y de mis estudiantes para que construyeran su conocimiento*; desprenderme de mi rol protagónico en el aula fue difícil, *en mi formación siempre tuve un rol pasivo de espectador y mi profesor un rol activo que imité*. En muchas ocasiones no sabía cómo adaptar los conceptos científicos al contexto y tampoco sabía cómo tener una mirada integradora para poder enseñar los contenidos y las habilidades científicas a la vez. Esto me hace reflexionar acerca del *cómo yo aprendí ciencias y cómo aprendí ahora, en práctica, mis dificultades para aprender modelización e indagación para usarla en clases con mis alumnos*, y lo que está claro para mí, es que ciencias naturales las aprendí por separado en tres disciplinas: biología, física y química, *con grandes vacíos por la pandemia*. El cómo hacer las conexiones entre estas disciplinas, o bien con otras que no están directamente relacionadas a ciencias y trabajarlas, es algo muy desconocido para mí. Sin embargo, reconozco que enseñar biología, una ciencia distinta a mi mención de química, me exigió integrar las ciencias, relacionar un concepto con varias disciplinas a la vez y me llevó a estudiar para buscar otras experiencias, para plantear actividades en el aula.

Realizando docencia aprendí a enseñar y a comprender los procesos y los tiempos de los estudiantes, adecuar las clases a las necesidades de cada curso, *a entender también que las planificaciones no funcionan siempre y que uno debe reflexionar constantemente sobre su desempeño en el aula*. Es por esto que, durante mi preparación como docente, siento que se me entregaron todas las herramientas acerca de la disciplina, pero, por otra parte, estas herramientas carecían de un contexto particular, algo fundamental en nuestra labor, *ya que un profesor no se hace leyendo un libro o aprendiendo un contenido de memoria, sino que se hace en el aula*. Al finalizar esta práctica profesional, me permito decir que, hoy por hoy, me siento preparada para enseñar tanto Ciencias para la Ciudadanía, como otras, *ya que la universidad me hizo profesional, pero el aula me hizo profesora de ciencias naturales*.

Desde la narración emerge el nudo crítico 2, que muestra la figura 3.

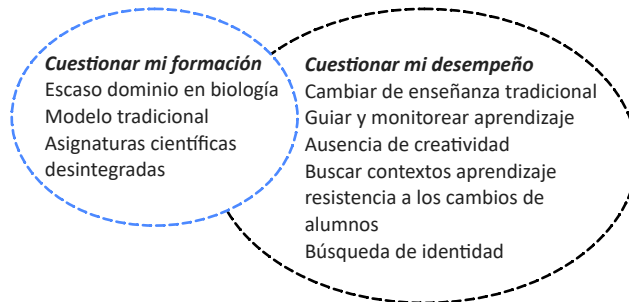


Figura 3. Nudo crítico 2: “Abriendo los ojos”

Los nudos críticos de esta parte de la narrativa expresan los cuestionamientos al reflexionar sobre su desempeño en el aula y el déficit en la formación recibida. Como señala Suárez *et al.*, (2019), el desempeño docente puede verse afectado por factores de distinta naturaleza, asociados a la propia personalidad, dominio de su disciplina, el rol en aula, rutinas de clase, necesidad de control, emociones, motivación del alumnado y conocimientos previos, entre otros. La falta de conocimiento de la materia que tiene que enseñar, genera en el profesorado inseguridad y falta de confianza, y le hace más dependiente del libro de texto y de la memorización de la información (Jarvis & Pell, 2004; Lee, 1995). Por tanto, en la formación inicial para enseñar Ciencias para la Ciudadanía, es importante señalar que “los maestros necesitan desarrollar sus habilidades de pensamiento, investigación, creatividad y resolución de problemas para que sus estudiantes puedan tomar decisiones como ciudadanos, cuando se enfrentan a problemas de la vida real en el mundo de rápido cambio del siglo XXI” (Dogan *et al.*, 2020, p.170).

Conclusiones

La visión narrativa didáctica, en la práctica de un futuro profesor de ciencias, posibilita la comprensión de significados ante el impacto de situaciones complejas en el aula. El análisis reflexivo–crítico de las experiencias vividas a través escritura–lectura de sus narraciones propició la vinculación entre teoría y práctica en un aprendizaje a partir de la acción, lo que favorece procesos de cuestionamiento en el desempeño y de transformación en la acción docente.

La investigación en narrativa evidenció brechas entre el diseño de la secuencia didáctica en Ciencias para la Ciudadanía y un diseño que se orientó a promover el autocuidado y responsabilidad social con el otro; partiendo de los intereses sobre las ITS del estudiantado y los aprendizajes, ellos manifestaron explicaciones asociadas a un modelo biológico-causal y focalizado en las formas de transmisión. El rol del profesorado, en términos de educación sexual integral, es relevante en el diseño de

intervenciones educativas, porque constituye uno de los elementos preventivos más útiles para abordar las ITS en las escuelas.

Para esta futura profesora de Ciencias Naturales, tomar consciencia de la propia vivencia en torno al diseño e implementación de la secuencia didáctica, describiendo las experiencias en sus narraciones y analizando sus “nudos críticos”, facilitó precisar aspectos significativos, detectar sus limitaciones, enriquecer sus procesos de identidad, reflexionar críticamente sobre sus decisiones en su acción práctica y avanzar en su conocimiento profesional. Por esta razón, la narración de un profesor de ciencias en formación inicial se convierte en una pieza clave para entender *qué piensa, qué hace y cómo lo comunica*, cuando en su práctica debe desarrollar una clase distinta a la tradicional. A través de lo escrito en sus relatos, se hacen visibles estos procesos, que no son evidentes durante la etapa de formación.

Agradecimientos

La autora agradece a la profesora en formación de Ciencias Naturales que participó en este estudio y el apoyo de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, a través del proyecto FONDECYT INICIACIÓN 11220596.

Referencias bibliográficas

- Amar-Rodríguez, V. (2021). El principio de la didáctica de la ciencia. Una investigación narrativa. *Revista Electrónica Educare*, 25(3), 530-547. <https://dx.doi.org/10.15359/ree.25-3.29>
- Barría, D. & Niebles, Á. (2020). Concepciones sobre la sexualidad en adolescentes de una escuela primaria en el sur de Chile. *Humanidades Médicas*, 20(1), pp.48-65.
- Connelly, F.M. & Clandinin, D.J. (2006). Indagación narrativa. En JL Green, G. Gamilli & PB Elmore Eds.), *Métodos complementarios para la investigación en educación* (3.ª ed., págs. 375 – 385). Mahwah, Nueva Jersey: Erlbaum.
- Chung, C. D. & Kang, K. H. (2012). A narrative inquiry into pre-service science teachers' reflective thinking as presented in microteaching lessons. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(9), 1405-1416. <https://doi.org/10.14697/jkase.2012.32.9.1405>
- Delgado García, M. (2019). La metodología biográfica narrativa y posibilidades en el ámbito del docente universitario. *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*, 8.
- Dogan, Y., Balta, N. & Dibek, M. (2020). El pensamiento creativo en estudiantes para profesores de ciencias: efectos del aprendizaje basado en problemas y en la historia de la ciencia. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 18(7), 1261-1277. <https://doi.org/10.17227/ted.num48-10926>
- Freda, M. & Martino, M. (2015). Health and writing: Meaning-making processes in the narratives of parents of children with leukemia. *Qualitative Health Research*, 25(3), 348-359. doi:10.1177/1049732314551059

- Garritz, A. (2010). Pedagogical Content Knowledge and the affective domain of Scholarship of Teaching and Learning, *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 4(2), 1-6. <https://doi.org/10.20429/ijstol.2010.040226>
- Herrera, E. & Izquierdo, M. (2017). Aprender a indagar y modelizar con el diagrama Uve de Gowin en la formación inicial del profesorado de ciencias de secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), pp. 145-152.
- Izquierdo, M. (2005). Nuevos contenidos para una nueva época: Aportaciones de la didáctica de las ciencias al diseño de las nuevas «ciencias para la ciudadanía». Anais do XVI SNEF.
- Jarvis, T. & Pell, A. (2004). Primary teachers' changing attitudes and cognition during a two-year science in-service programme and their effect on pupils. *International Journal of Science Education*, 26(14), 1787–1811. <https://doi.org/10.1080/0950069042000243763>
- Kang, H. (2017). Preservice teachers' learning to plan intellectually challenging tasks. *Journal of Teacher Education*, 68(1), 55–68. <https://doi.org/10.1177/0022487116676313>
- Lee, O. (1995). Subject matter knowledge, classroom management, and instructional practices in Middle School science classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(4), 423-440.
- Mellado Jiménez, V. (2001). ¿Por qué a los profesores de ciencias nos cuesta tanto cambiar nuestras concepciones y modelos didácticos? *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, (40), pp. 17-30.
- Melo, L., Cañada, F. & Mellado, V. (2017). Exploring the Emotions in Pedagogical Content Knowledge about the Electric Field. *International Journal of Science Education*, 39(8), 1025-1044. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2017.1313467>
- Ministerio de Educación, Bases Curriculares 3° y 4° medio. Unidad de Currículum y Evaluación. https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-91414_bases.pdf (2019).
- Orozco Marín, Y.A. (2019). Problematizando el discurso biológico sobre el cuerpo y género, y su influencia en las prácticas de enseñanza de la biología. *Revista Estudios Feministas*, 27 (3), 562-583. <https://doi.org/10.1590/1806-9584-2019v27n356283>
- Poulou, M. (2007). Student-teachers' concerns about teaching practice. *European Journal of Teacher Education*, 30(1), 91-110. <https://doi.org/10.1080/02619760600944993>
- Propuestas Educación Mesa Social Covid-19 (2020). *Didácticas para la proximidad: aprendiendo en tiempos de crisis*. Santiago de Chile.
- Ricoy, C. (2006). Contribución sobre los paradigmas de investigación. 31(01), p. 13.
- Rivera, M., Sepúlveda, P. & Camacho, J. (2016). Educación sexual más allá de lo biológico. *Biografía*. 9(16), 131-146. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.9num.16biografia131.146>
- Rummel, M., Clanner-Engelshofen, B. M., Nellesen, T., Zippel, S., Schuster, B., French, L. E. & Reinholz, M. (2022). Evaluation of the knowledge of students concerning sexually transmitted infections in Bavaria/Germany (a cross-sectional study). *Journal of the German Society of Dermatology*, 20(4), 169–176. <https://doi.org/10.1111/ddg.14653>
- Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner—How professionals think in action*. Basic Books.

- Shulman, L. S. (2012). Keynote at the PCK Summit. Colorado Springs, octubre 20-25 de 2012. <http://pcksummit.bsccs.org/>
- Suárez, N., Delgado, K., Pérez, I. & Barba, M. (2019). Desarrollo de la Creatividad y el Talento desde las Primeras Edades. Componentes Curriculares de un Programa de Maestría en Educación. *Formación universitaria*, 12(6), 115-126. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062019000600115>
- Tena, È. (2021). ¿Está contaminado el aire de la escuela? Una propuesta de indagación basada en la modelización para el aula de primaria. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 5(2). <https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7613>
- Windschitl, M., Thompson, J. & Braaten, M. (2008). Beyond the Scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations. *ScienceEducation*, 92(5), pp.941–967. 3302-15.
- Zembylas, M. (2007). Emotional ecology: The intersection of emotional knowledge and pedagogical content knowledge in teaching. *Teaching and Teacher Education*, 23(4), 355–367. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2006.12.002>

CUARTA PARTE

Reconocimientos a una vida compartida
en la Academia

Agradecimientos

EL MEU AGRAÏMENT



Vaig conèixer la Mercè al laboratori de la facultat fa molts anys, a principis dels 70. Jo era un dels estudiants que hi fèiem pràctiques de química i ella l'ajudant de laboratori que ens orientava a l'època que estava treballant en el seu doctorat.

No la vaig tornar a trobar fins que a mitjans dels 80 buscava algun tutor per fer una tesina de llicenciatura de contingut didàctic, una possibilitat que s'acabava de crear. Ella es va oferir amablement per dirigir el meu treball, sobre diversos models teòrics des dels quals s'orientava la recerca en didàctica de les ciències en aquell moment. Els seus coneixements de filosofia de la ciència van ser

especialment útils. Les trobades les fèiem al Col·legi de Llicenciats, ja que llavors n'era la degana. Fou ella qui em va posar en contacte amb la Rufina Gutiérrez, que codirigí el treball.

A principis dels 90 vaig assistir als seus cursos de doctorat, farcits d'idees. A mitjans de la dècada va dirigir el projecte "Ciència 12-16", per a la Secundària Obligatoria, que vam utilitzar a l'institut on jo treballava.

I a finals de la dècada, vam intentar escriure el que sabíem de didàctica: "Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències, per una ensenyament de les ciències racional i raonable", un llibre que va sortir a mitjans de la dècada del 2000.

A finals d'aquella dècada, la Mercè va dirigir el projecte "Competències de pensament científic, Ciències 12-15", on vaig participar. Des de llavors, tot l'equip hem fet un munt de cursos de presentació del projecte, per on han passat centenars de professors. Això ens ha portat a definir i concretar els esculls que el professorat ha de superar per entendre un projecte tan diferent del que és habitual als centres, poder fer-se'l seu i gaudir-lo amb els alumnes.

Durant molts de temps la Mercè va tenir la paciència d'intentar orientar-me per enfocar la meva tesi doctoral. Finalment va cristal·litzar en la seva presentació, a principis de la dècada dels 10, comptant, de nou, amb la doble direcció de la Mercè i de la Rufina. Tractava de l'Activitat Científica Escolar i els models mentals.

Amb tot plegat hem compartit molta feina, hores, reunions, articles, treballs acadèmics, cursos, llibres, projectes... Però també la seva permanent amabilitat, la seva poderosa creativitat i visió crítica, i sobretot una amistat de moltes dècades. Tot un luxe que he gaudit intensament i que li agreixo profundament.

Joan Aliberas

Universidad Autónoma de Barcelona, España

MERCÈ



Te escuche por primera ocasión en el VI Congreso Internacional sobre investigación en la didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas, en la Barcelona que iniciaba el siglo XXI. Lo que decías y cómo lo decías me causaron una gran emoción. Pude identificar, y no me equivoque, el rigor, la

calidez y el compromiso que debiera acompañar la práctica docente, pero que no todos practicaban ni practican. Pero más aún, reconocí una posición teórica ante la enseñanza de las ciencias en la cual la historia y la filosofía jugaban un papel central. Pocos meses después corroboré lo anterior cuando nos

encontramos en Denver en otro congreso, este especializado en la historia y la filosofía de las ciencias para la educación. Descubrí que todo aquello que había

leído desde mis estudios de doctorado, en química pura en la purísima Inglaterra, tenía cabida en una manera de abordar y entender el conocimiento científico y tecnológico que ejemplificaba, como me hiciste saber, el científico, historiador y filósofo, S. Toulmin. Empecé a leer tu trabajo, y apreciar tu didáctica manera de pensar la química. En un magnífico año sabático en la UAB, ampliamos y precisamos el tema de la enseñanza de las ciencias a partir de sus "problemas". Desde entonces nos hemos encontrado en diferentes lugares de Europa y América Latina, compartiendo congresos y reuniones de trabajo. Visitamos, en la Ciudad de México, mi Colegio Madrid fundado por los refugiados españoles, muchos de ellos catalanes, que en su obligado andar enriquecieron la educación mexicana, pero ha sido el pausado caminar por el barrio gótico, descubrir el petit Pati Llimona, desayunar al lado de la catedral, divisar el atardecer desde Sanmalus, aprender de ti y contigo sobre tu Cataluña, una de las más entrañables experiencias de mi vida.

José Antonio Chamizo

Universidad Autónoma de México

¡GRACIAS MERCÈ, POR TANTO!



La importancia y amplitud de las contribuciones de Mercè Izquierdo en el campo de la Didáctica de las Ciencias, la Educación Científica, y la docencia y gestión universitarias ha sido ampliamente reconocida. A parte de los premios recibidos como el Ramón Fuster 2012 otorgado por el Col.legi de Doctors i Llicenciats en Filosofia i Lletres, i Ciències de Catalunya, o la Creu de Sant Jordi 2020 otorgado por la Generalitat de Catalunya, la comunidad de la UAB realizó un acto de reconocimiento el 2012 en el cual participé muy activamente.

Mi trayectoria profesional empezó de la mano de Mercè Izquierdo cuando compartíamos investigación química en el departamento de Química Inorgánica de la UAB y enseñanza de la química en la Escola Sant Gregori de Barcelona. Allí se iniciaron nuestros caminos paralelos, aunque no iguales, que ya nunca más se separaron. No puedo imaginar mi vida profesional sin la influencia y participación de Mercè Izquierdo. Las innovaciones de la enseñanza de la química que inició en los años 70 y 80 del siglo XX en la Escuela Sant Gregori me permitieron tener experiencia directa con la Química de los fenómenos y de los proyectos internacionales más relevantes del momento. Ser un docente de ciencias de educación secundaria novel en el contexto tan innovador creado por Mercè Izquierdo fue un verdadero regalo que me permitió construir la convicción para una enseñanza de las ciencias que conectara de manera profunda la teoría y la práctica. Y eso hizo que en 1984 cogiera el avión hacia los USA con una beca bajo el brazo para realizar el doctorado en educación científica en la University of Georgia, Athens.

Al volver, en 1990, me incorporé al Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals de la UAB como docente compartiendo despacho con Mercè Izquierdo y así hasta la actualidad. De todas las vertientes y facetas de su trabajo me gustaría destacar dos: la invención del concepto de Ciencia Escolar y la investigación sobre el papel del lenguaje en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. La Ciencia Escolar constituye uno de los primeros intentos a nivel internacional de dotar a la ciencia que se realiza en la escuela de un estatus epistemológico auténtico. Esta influencia se ha visto reflejada en mi trabajo sobre Agroecología Escolar que se inició con la dirección de tesis doctoral de German Llerena. Por otro lado, la palabra y los símbolos en todas sus formas y contextos fueron una constante en la investigación de Mercè Izquierdo que tuvieron un gran impacto en el departamento y en mi investigación a través del grupo LIEC (Lenguaje y Enseñanza de las Ciencias) que luego fue evolucionando hacia LICEC (Lenguajes y contextos en la enseñanza de las ciencias) y finalmente en ACELEC (Actividad Científica Escolar: Lenguajes, herramientas y contextos). La siguiente publicación recoge bien estos dos aspectos de la trayectoria de investigación de Mercè Izquierdo que he querido destacar y en los que me he visto implicada ¡Gracias Mercè por tanto!

Mariona Espinet
UAB, Catalunya, España

A MI QUERIDA MEI: narraciones para re-significar el aula de ciencias.



La escritura nos permite contar historias que se entrelazan unas con otras. A través, de estas historias compartimos nuestras experiencias, conocimientos y emociones con otros, creando conexiones enriquecedoras a las cuales podemos regresar, para re-leer y encontrar nuevos significados. Además, en mi opinión, y esto es lo más importante, escribimos para alguien, incluso si ese alguien es un desconocido, ya que quien lee no solo utiliza la vista, sino que también involucra su memoria y su propia historia personal. Cuando leemos narraciones nos convertimos en creadores, intérpretes, recordamos, imaginamos y sentimos... nos

conectamos con el narrador. Encontrarme con las narraciones en mi tesis doctoral me abrió nuevos caminos en mi investigación.

Escribir relatos de experiencias pedagógicas resulta ser un proceso de formación en sí mismo, ya que implica llevar adelante tareas cognitivas complejas, como la de cuestionarse sobre las propias prácticas de aula, y cuando eso que escribimos nos impacta emocionalmente, nos sumerge en aquellos problemas del futuro docente que requieren nuestra atención, moviéndonos hacia la acción. Son estos “nudos críticos o cuestionamientos de la práctica” los que nos invitan a evaluar lo que se necesita cambiar, analizar posibles soluciones, tomar decisiones de esa realidad escolar y resignificar sus experiencias de práctica, en cuanto profesor de ciencias que comienza su formación.

Edith Herrera

Universidad del Bio-Bio, Chile

A MERCÉ



Nuestra querida y admirada Dra. Mercè Izquierdo Aymerich, pionera en el campo de la didáctica de las ciencias y en su investigación, ha generado en su trayectoria valiosísimas propuestas innovadoras. Mercè es un faro que, con amor, cordialidad, humildad e inmensa generosidad, ha formado a decenas de investigadores, iluminando nuestros caminos académicos y profesionales.

La luz de sabiduría que irradia Mercè nos convoca a consultar permanentemente sus trabajos, a añorar sus conferencias y a sentir que bajo su tutela hemos podido co-crear una comunidad hispanohablante de didactas de las ciencias, con ideales comunes, con esfuerzos mancomunados y con conciencia sobre la importancia de desarrollar el área en cada uno de nuestros países.

Solo cabe recordar algunas de sus múltiples ideas y conceptos fundantes, como muestra del potencial de sus propuestas: la visión cognitiva y contextualizada de ciencias; la ciencia y la actividad científica escolar; la importancia de los lenguajes en la enseñanza de las ciencias; la importancia de las buenas preguntas que despiertan la motivación de los estudiantes; y la concepción de ciencia basada en la modelización.

Como homenaje a Mercè he escrito para este libro un capítulo un tanto extraño... Es que Mercè es altamente inspiradora: su mente abierta, despierta, inquieta, poética, siempre nos ha invitado a mirar más allá de lo tradicional.

Lydia Galagovsky

Universidad de Buenos Aires, Argentina

MI QUERIDA MAESTRA MERCÈ



Mi querida maestra Mercè es todo un personaje, no solo en mi vida, sino en la de toda mi familia.

Supe de ella desde antes de llegar a la UAB, por las buenas referencias que daban de ella otros profesores de UNIVALLE, que ya la conocían.

Así es que, cuando llegué a Barcelona, e octubre de 2000, no dudé en buscarla para pedirle que fuera “mi Maestra”.

Trabajar junto a ella fue una oportunidad excepcional para aprender muchas cosas de química, de historia, de didáctica y, sobre todo, de su calidad y calidez humana presente en todas las facetas de su vida.

Valoro y agradezco las horas que me dedicó para conversar sobre analogías, símiles y metáfora, y luego reflexionar sobre el uso que le dan los profesores y las profesoras al enseñar la Tabla Periódica; y, a la vez, la libertad que siempre me dio para reafirmar lo aprendido a través de poesías, cartas a mi ‘nietomás’ amado o sobre mi “amante ruso”, sin permitirme apartarme de la rigurosidad que una tesina o una tesis doctoral requieren.

Y más allá de esta relación maestra/alumna se fue tejiendo una estrecha relación de ‘yayas’, mientras mi ‘nietomás’ amado jugaba con sus nietos mayores.

Mi familia se arraigaba en Barcelona con el apoyo invaluable de la suya.

Hoy, veinte años después de haber leído mi tesis y regresado a Colombia a compartir con otros lo aprendido con ella en la UAB, me uno a este merecido homenaje a esta mujer maravillosa, de quien tanto he aprendido y a quien tanto debo, y que siempre será “mi Maestra”.

Con gratitud y cariño,

Rita Linares – Ritik

Universidad del Valle, Colombia

GRÀCIES PER TOT MERCÈ



HOLA MERCÈ. T'escric aquestes paraules des de l'Institut d'Història de la Ciència de la UAB. Qui ho havia de dir que aquella llavor pionera que vas plantar junt amb altres col·legues i amics ara fa trenta anys donaria aquest fruit tan madur i aquest reconeixement institucional. Només unes breus paraules per agrair-te tot el que has fet al llarg dels anys per promocionar la història de la ciència a la UAB i arreu, i per buscar complicitats amb altres disciplines com la teva. Obrir nous espais transversals, interdisciplinaris, ha estat sempre la teva vocació i crec que ha significat una contribució molt important a la nostra cultura

acadèmica, de vegades tan rígida i tancada en àmbits de coneixement separats. El tema de valor de la història per a l'ensenyament de la ciència continuarà obert per a les noves generacions, segurament amb debats encesos, però sempre present. Tu has estat pionera en aquest tipus de diàlegs. Gràcies per tot Mercè.

Agustí Nieto-Galan

Universitat Autònoma de Barcelona

MERCÈ IZQUIERDO, UNA MUJER SABIA, COMPROMETIDA, GENEROSA Y MUY QUERIDA



Con este texto quiero agradecer a Mercè Izquierdo el acompañamiento sabio que me ha hecho a largo de mi vida profesional. Ella ha sido mi iniciadora en la investigación y en la participación en congresos internacionales, entre otras muchas cosas.

Mi iniciadora en la investigación. *Mercè Izquierdo fue co-directora de mi tesis doctoral, conjuntamente con Mariona Espinet. En la tesis profundizamos en la caracterización del discurso docente desde una perspectiva de comunicación multimodal en un aula de ciencias de una escuela secundaria que*

trataba el tema del "ciclo del agua". En la tesis desarrollamos un marco teórico basado en tres vertientes: comunicación multimodal, enseñanza y aprendizaje de las ciencias como modelación, y semiótica social y gramática funcional de Halliday. A partir de este marco teórico diseñamos un esquema analítico que permite el análisis del discurso de los docentes. Los resultados de la tesis fueron publicados en revista de impacto y así aprendí la dificultad del proceso de publicación. Mis codirectoras me ayudaron a gestionar el malestar que te generan los comentarios críticos, a identificar las sugerencias que ayudan a mejorar la calidad y la comunicabilidad del texto inicial, a dar respuesta de manera argumentada a los revisores.

Años más tarde, cuando con Mercè Izquierdo coincidimos en el equipo editorial de la revista "Enseñanza de las Ciencias", tuvimos ocasión de seguir reflexionando sobre la importancia de las buenas revisiones y el compromiso, como revisores, de dedicarles tiempo para poder colaborar con los investigadores en la mejora de sus producciones.

Mi iniciadora en la participación en congresos internacionales. *En el año 1992, Mercè Izquierdo era la Investigadora Principal del proyecto financiado por DGICYT, titulado "La*

Elaboración y aplicación de instrumentos de evaluación diagnóstica de los conocimientos de ciencias y matemáticas en alumnos no universitarios". Yo en ese momento era profesora de alumnos de 14 años y estudiante del Máster en Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales organizado por el Departamento de Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales de la UAB. Participé en el proyecto de investigación con el diseño de un mapa conceptual sobre las concepciones de los alumnos sobre el sonido. En sus representaciones identificamos, entre otras, una visión sustancializadora del sonido. Mercè me animó a presentar conjuntamente con ella y con Neus Sanmartí una comunicación al congreso "Second International Conference on the History and Philosophy of Science and Science Teaching" en Kingston en Canadá. Mercè con su característico espíritu creativo y generoso animó a los participantes en el proyecto a asistir al congreso. Así que mi primera participación en un congreso internacional fue en inglés, en Canadá, rodeada de excelentes compañeros y gracias a Mercè Izquierdo.

Conxita Márquez

Universidad Autónoma de Barcelona, España

UNA VIDA COMPARTIDA AYUDANDO A CRECER LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS



Mercè y yo nacimos casi el mismo día -13 y 14 de septiembre-, pero con dos años de diferencia. Las dos estudiamos la licenciatura de Ciencias Químicas en la Universidad de Barcelona, y hace 40 años que empezamos a colaborar en el marco de la UAB. Co-dirigió mi tesis doctoral que leí en el año 1990. Hemos participado conjuntamente en muchos congresos, hemos escrito artículos sobre distintos temas relacionados con la enseñanza de las ciencias (modelos de ciencia escolar, lenguaje y enseñanza de las ciencias...). Actualmente, aunque aparentemente jubiladas, continuamos compartiendo ideas y reflexiones en el marco de

grupo de investigación LIEC de la UAB.

Neus Sanmartí

Universidad Autónoma de Barcelona, España

Semblanzas



Agustín Adúriz-Bravo. Dr. En Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona. Académico de la Universidad de Buenos Aires con numerosas publicaciones y presentaciones en congresos nacionales e internacionales en el área de epistemología y didáctica de las ciencias. Universidad de Buenos Aires. Argentina.



Carlos Agudelo Carvajal. Ingeniero Químico por la Universidad Nacional de Colombia y doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universitat Autònoma de Barcelona. Actualmente, es profesor de la Universitat de Barcelona, donde imparte asignaturas de didáctica de las ciencias para profesorado en formación inicial de Educación Infantil y Educación Primaria. Sus centros de interés han sido el uso del lenguaje en la enseñanza de la química y el estudio de las emociones del profesorado en formación inicial hacia la física y la química. Universitat Autònoma de Barcelona, España.



María Álvarez-Lires. Doctora en Química por la Universidad de Vigo, España. Fue profesora de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte de Pontevedra. Sus líneas de investigación son: ciencia, tecnología y género; formación del profesorado, didáctica e historia de las ciencias; educación y género; mujeres y TIC, mujeres y poder; educación para la sustentabilidad y género. Universidad de Vigo, España.



Tamara Amorín de Abreu. Profesora interina, Universidad de Vigo, Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte, España. Graduada en Educación Infantil. Máster en Investigación e Innovación en Didácticas Específicas para Educación Infantil y Primaria. Doctora en Equidad e Innovación en Educación, por la Universidad de Vigo. Profesora interina en la Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte de Pontevedra, con docencia en las materias de Aprendizaje de las Ciencias de la Naturaleza y Didáctica de las ciencias experimentales. Universidad de Vigo, España.



Azucena Arias Correa. Profesora asociada. Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte de Pontevedra, Universidad de Vigo, España. Diplomada en Profesorado de Educación Primaria en la especialidad de Ciencias, licenciada en Ciencias de la Educación, licenciada en Psicología y Doctora por la Universidad de Vigo, España. Entre sus líneas de investigación destacan la formación del profesorado, la metodología por proyectos, el aprendizaje cooperativo, género y educación, la evaluación, el estudio de concepciones e ideas previas, la didáctica de las ciencias experimentales y la innovación en la enseñanza de las ciencias. Universidad de Vigo, España.



Beatriz Cantero. Ecofeminista chilena, doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universitat Autònoma de Barcelona, Bioquímica por la Universidad de Concepción, profesora de la Universidad de Barcelona. Ha trabajado sobre aspectos sociales de la ciencia y la incorporación del género en el aula de ciencias. Sus investigaciones y acciones formativas están relacionadas con la actividad científica escolar, la divulgación científica y la educación en salud, la prevención de las violencias de género y la educación ambiental, desde una perspectiva feminista y decolonial.



Alba Cortés-Morales. Magíster en Investigación en Educación Científica de la Universidad Autónoma de Barcelona y candidata a Doctora en Educación por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Durante los últimos 12 años ha trabajado como profesora de química en educación secundaria y superior, así como formadora de profesores de química. Pontificia Universidad católica de Chile.



Anna Estany. Catedrática emèrita de Filosofía de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Barcelona, Master of Arts en Indiana University y doctora por la Universidad de Barcelona. Ha estado como visiting scholar en la University of California San Diego, en la École normale supérieure, de París y en el Institut d'histoire et de philosophie des sciences et des techniques de París. Sus líneas de investigación son modelos de cambio científico, enfoque cognitivo en filosofía de la ciencia y de la tecnología, filosofía de las ciencias de diseño y democratización del saber teórico y práctico e innovación y creatividad en la investigación científica.



Patricio Farfán. Profesor de Matemática y Física por la Universidad de Chile (2018). Magíster en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universidad Alberto Hurtado (2023). Su investigación se centra en modelos mentales del estudiantado y los modelos científicos escolares en Física desde una perspectiva histórico-epistemológica, así como su relación con el diseño y evaluación de secuencias didácticas. Desde 2022 se ha presentado como ponente en los Encuentros Nacionales de Didáctica de la Física (ENDFi) en Chile. Universidad de Chile.



Lydia R. Galagovsky. Profesora Consulta. Instituto Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CeFIEC). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Licenciada y Doctora en Ciencias Químicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, Argentina (FCEN-UBA). Investigadora en las áreas de Química Orgánica y de Enseñanza de las Ciencias. Directora de 15 proyectos de investigación y desarrollo, subsidiados por organismos nacionales e internacionales.



Álvaro García Martínez. Licenciado en Química (Universidad Distrital Francisco José de Caldas), Magister en Docencia de la Química (UPN), Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales (Universitat Autònoma de Barcelona). Actualmente se desempeña como académico e investigador de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Entre sus principales proyectos figuran Unión Europea (ALFA III, ERASMUS +), CONICYT (Chile), y MINCIENCIAS. Su principal línea de investigación es el Desarrollo Profesional de Docentes de Ciencias Naturales y Relaciones entre Historia, Filosofía y Didáctica de las ciencias.



Edwin García Arteaga. Licenciado en física de la Universidad Pedagógica Nacional, con Maestría en Docencia de la Física de la misma universidad. Máster en Didáctica de las Ciencias experimentales y Doctor en Didáctica de las Matemáticas y las Ciencias Experimentales de la Universidad Autónoma de Barcelona. Profesor de la Universidad del Valle, desde hace más de 20 años. Director de escuela y director del grupo de investigación en Ciencias, Educación y Diversidad, desde 2012, en la Universidad del Valle, Colombia.



Alma Adrianna Gómez-Galindo. Profesora e investigadora en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav) Unidad Monterrey, México. Se graduó como profesora de educación infantil, es licenciada en biología marina con maestría en Ciencias del Mar, y tiene un doctorado en didáctica de las ciencias experimentales por la Universitat Autònoma de Barcelona. Realiza investigación cualitativa sobre educación en biología en dos líneas: el análisis de los procesos de aprendizaje en el contexto de secuencias basadas en modelización y actividades dialógicas para la educación científica intercultural. .



Pere Grapí-Vilumara. Investigador independiente cuyos principales intereses se centran en la historia de la química de finales del siglo XVIII y principios del XIX, así como en la relación entre la historia de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. Estudió en la Universidad de Barcelona donde se licenció en Ciencias Químicas en 1975. Obtuvo el título de máster en Historia de la Ciencia en la Universitat Autònoma de Barcelona en 1990 y se doctoró en Historia de la Ciencia en la Facultad de Filosofía y Letras de la misma universidad en 1996. Su actividad profesional ha estado dedicada a la docencia en la enseñanza secundaria como catedrático de física y química. Actualmente es miembro de la junta de la Sociedad Catalana de Química. Universitat Autònoma de Barcelona, España.



Marta Guillaumes. Licenciada en Biología por la Universitat de Girona. Profesora de Biología y Geología en el “Institut Vallvera” de Salt, Catalunya. Ha ejercido durante diez años cargos directivos y de coordinación pedagógica en Secundaria. Formadora de profesorado en la Universita de Girona. Ha formado parte de diversos grupos de reflexión pedagógica en dicha Universidad. Institut Vallvera, España.



Carla Hernández. Profesora asociada y subdirectora de docencia del Departamento de Física en Facultad de Ciencia, de la Universidad de Santiago de Chile. Profesora de física por la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso y Doctora en Didáctica de la matemática y las ciencias experimentales por la Universidad Autónoma de Barcelona. Sus principales líneas de investigación se centran en el aprendizaje activo de la física y la astronomía. Investigadora del Millennium Nucleus on Young Exoplanets and their Moons (YEMS) y del Center for Interdisciplinary Research in Astrophysics and Space Science (CIRAS). Integra la Coordinación Nacional de Educación Astronómica en Chile, (NAEC) perteneciente a la Internacional Astronomical Union (IAU).



Edith Herrera San Martín. Académica del Departamento de Ciencias de la Educación de la Universidad del Bio-Bio y del Departamento de Estudios Pedagógicos de la Universidad de Chile. Doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales por la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Magister en Enseñanza de las Ciencias, Universidad del Bio-Bio. Profesora de Estado en Biología y Ciencia Naturales, Universidad de Chile. Es miembro del grupo de investigación consolidado LIEC (Universitat Autònoma de Barcelona) y del grupo de investigación GIDICMA-UBB en didáctica de las ciencias y matemáticas en Chile.



Ainoa Marzabal. Doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Su trabajo se enfoca en la transformación de la educación en ciencias, mediante prácticas de enseñanza inclusivas, que aportan a la formación de una ciudadanía activa y crítica, comprometida con los desafíos socio científicos y ambientales actuales. Pontificia Universidad católica de Chile.



Cristian Merino Rubilar. Licenciado en Educación y Profesor de Química Universidad Católica de Valparaíso. Docente e investigador en Enseñanza de la Química, en diferentes niveles educativos. Sus líneas de investigación se centran en la caracterización de la actividad química escolar basada en modelos para el diseño, desarrollo, implementación, evaluación y análisis de actividades tanto experimentales como de innovación que favorezcan la construcción de explicaciones científicas, para el diseño de recursos como para la formación de profesores, a través de mediaciones tecnológicas y cognitivas.



Mario Quintanilla-Gatica. Licenciado en Educación en Química y Biología (Universidad de Santiago de Chile), Magíster en Educación (Universidad de Chile) y Doctor en Didáctica de las Ciencias Experimentales, con Estudios de postdoctorado en Historia y Filosofía de las Ciencias (Universitat Autònoma de Barcelona). Académico e Investigador de la Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Asesor de UNESCO-OREALC (2000-2010) y profesor visitante de continuidad en diversas universidades de Latinoamérica y Europa, durante más de 20 años. Ha dirigido, como investigador principal, más de 20 proyectos nacionales y de cooperación científica internacional. Director del Laboratorio de investigación Grecia-UC. (www.laboratoriogrecia.cl).



Neus Sanmartí i Puig. Licenciada en Química. Catedrática emérita del departamento de Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad Autónoma de Barcelona. Experta en temas relacionados con el desarrollo curricular y la evaluación, el lenguaje en relación con el aprendizaje científico y la educación ambiental, entre otros. Ha sido docente en las etapas de Primaria y Secundaria, así como en la formación inicial y permanente del profesorado. Premio de Pedagogía Rosa Sensat (2002) y *Creu de Sant Jordi* de la Generalitat de Cataluña. Universitat Autònoma de Barcelona, España.



J. Francisco Serrallé Marzoa. Licenciado en Química, doctor en Equidad e Innovación en Educación, con la tesis: La historia de las ciencias en el desarrollo de competencias científicas: una perspectiva socioconstructivista y de género. Catedrático de Física y Química de Enseñanza Secundaria, profesor asociado de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Vigo. Fue asesor técnico-pedagógico de la Consellería de Medio Ambiente y de la Consellería de Educación y Ordenación Universitaria de la Xunta de Galicia. Universidad de Vigo, España.



Núria Solsona Pairó. Química y Doctora en Ciencias de la Educación. Profesora de Secundaria. Grupo LIEC de la Universidad Autónoma de Barcelona (España). Autora de numerosas publicaciones, artículos, capítulos de libros y libros relacionados con sus investigaciones en el ámbito de la historia de la ciencia y género, tales como *Análisis comparativo de intervenciones formativas sobre el cambio químico*, *Diálogos con recetas alquímicas* y *una educación química que promueva el interés de chicas y chicos*. Ha participado activamente en instituciones europeas vinculantes con su área de investigación.



Macarena Soto. Licenciada en Educación y Profesora de Física y Matemática (Universidad de Santiago de Chile). Doctora en Didáctica de las Ciencias Experimentales (Universidad Autónoma de Barcelona). Se ha desempeñado como profesora de Física y Matemática en el sistema escolar chileno. También como profesora de Física y Didáctica en Formación Inicial de Docentes de Física y Matemática en la Universidad de Santiago de Chile y en el programa de Post Licenciatura en la Universidad de Chile. Actualmente es profesora e investigadora en Enseñanza de la Física en la Facultad de Educación de la Pontificia Universidad Católica de Chile.



Jordi Vallverdú. Profesor ICREA Acadèmia del Departamento de Filosofía de la UAB y especialista en Filosofía de la Ciencia y la Computación. Su investigación se centra en la epistemología computacional, la modelización de emociones en máquinas, la bioética, la causalidad, y las heurísticas situadas. Autor de más de 170 publicaciones académicas, sus cursos masivos en COURSERA han sido seguidos por más de 250.000 estudiantes. Universitat Autònoma de Barcelona, España.

Las aportaciones de Mercè han sido (y son) muy relevantes, destacando especialmente todo su saber sobre historia y epistemología de la ciencia. Nos ha posibilitado, desde hace más de 40 años, una mirada de la teoría y práctica de la didáctica de las ciencias como una *ciencia de diseño* (la Didactología), que sin ella no habría sido posible. A partir de su bagaje, Mercè ha generado dos conceptos importantes: el de “Ciencia Escolar” y el de “Actividad Científica Escolar (ACE)”. Desde este marco general, ha ayudado a conectar esas ‘representaciones abstractas’ con la idea de ‘modelos’ de la ciencia y de modelización, aportando nuevos constructos y su mirada sobre cuáles serán (son) las ideas claves para una nueva enseñanza de las ciencias que reflexiona e interpreta el mundo teóricamente, promoviendo pensamiento competencial y crítico.

Muestra de la gravitación de Mercè en la comunidad, son la cantidad y la diversidad de personas que han querido contribuir con sus textos a esta compilación: profesionales de España y de América Latina que, desde la década del 60 hasta hoy, nos hemos ido encontrando con Mercè como colegas, estudiantes y discípulos, y hemos tenido la dicha de convertirnos en sus amigos. Co-autorar un volumen académico de esta naturaleza, nos da una oportunidad más para encontrarnos y celebrar tenerla en nuestras vidas. Son esos sentires hacia Mercè los que nos han movido a encarar la producción de un libro de carácter científico, centrado en los muy diversos desarrollos didácticos originados en el llamado “modelo cognitivo de ciencia escolar” de Mercè, pero en el que también se incluyen historias sobre los caminos que las autoras y los autores hemos recorrido junto a ella. Creemos que a todos quienes escribimos aquí se nos hace imposible separar ambas cosas: hablar de la enorme potencia de las ideas teóricas de la Dra. Izquierdo-Aymerich es inconcebible si no se lo hace junto a “contar vida” y situar la producción de estas ideas colectivas en el contexto de las relaciones humanas tan ricas entre todos nosotros que ella supo generar y fomentar, y que son hoy más urgentes que nunca en un mundo complejo e incierto.

Una vez más, ¡gracias, querida Mercè!

Mario y Agustín



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CHILE