

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/378506046>

Prácticas científicas y pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias

Book · January 2024

CITATIONS

0

READS

1,422

26 authors, including:



Gonzalo M A Bermudez

National University of Cordoba, Argentina

82 PUBLICATIONS 999 CITATIONS

SEE PROFILE



Daniel Cebrían Robles

University of Malaga

108 PUBLICATIONS 358 CITATIONS

SEE PROFILE



Florencia D'Aloisio

National University of Cordoba, Argentina

20 PUBLICATIONS 29 CITATIONS

SEE PROFILE



Silvana Ferragutti

Instituto de Investigaciones Sociales Territoriales y Educativas (ISTE- CONICET)

11 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE

PRÁCTICAS CIENTÍFICAS Y PENSAMIENTO CRÍTICO EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

COMPILACIÓN:
MARICEL OCCELLI
LETICIA GARCIA-ROMANO
CLAUDIO SOSA



Prácticas científicas y pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias

Compilación:

Maricel Occelli
Leticia Garcia-Romano
Claudio Sosa

Autores:

Carola Astudillo; Gonzalo M. A. Bermudez; María José Cano-Iglesias; Daniel Cebrián Robles; Florencia D'Aloisio; Paloma España Naveira; Enrique España Ramos; Natalia Celina Fernández; Silvana Ferragutti; Antonio Joaquín Franco-Mariscal; Gimena B. Fussero; Leticia Garcia Romano; María Carla Lábaque; Cristián Ledezma Carvajal; María del Mar López Fernández; Victor López Simó; Fabio E. Malanca; Belkys Maletto; Giuliana Morbidoni Davicino; Maricel Occelli; María Emilia Ottogalli; María Angelina Roggio; Andrea S. Rópolo; Dafne Saporito; Cristina Simarro y Claudio Sosa

ISBN: 978-950-33-1782-2

Universidad Nacional de Córdoba – Editorial



Universidad
Nacional
de Córdoba



Prácticas científicas y pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias / Carola Astudillo ... [et al.]; Compilación de Maricel Occelli; Leticia Garcia Romano; Claudio Alejandro Sosa. - 1a ed. - Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2024.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-33-1782-2

1. Educación Científica. I. Astudillo, Carola II. Occelli, Maricel, comp. III. Garcia Romano, Leticia, comp. IV. Sosa, Claudio Alejandro, comp. CDD 507.2

Comité Científico

Dr. Agustín Adúriz Bravo

CeFIEC. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. CONICET (Argentina)

Dra. Laura Buteler

Facultad de Matemática Astronomía, Física y Computación. Universidad Nacional de Córdoba. CONICET (Argentina).

Dra. Alma Adrianna Gómez Galindo

CINVESTAV (México)

Dra. Gabriela Lorenzo

Facultad de Farmacia y Bioquímica. Universidad de Buenos Aires. CONICET. (Argentina).

Dra. María Josefa Rassetto

Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad Nacional del Comahue. (Argentina).

Dr. Mario Quintanilla Gatica

Grupo Grecia. Facultad de Educación. Pontificia Universidad Católica de Chile. (Chile).

Dra. Nora Valeiras

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional del Córdoba. (Argentina).

INDICE

04 Información de las y los autores

10 Prólogo

Laura Buteler

12 Introducción

Maricel Occelli, Leticia Garcia Romano y Claudio Sosa

Sección I - Pensamiento crítico

20 **Capítulo 1.** El desarrollo del pensamiento crítico mediante el enfoque del activismo colectivo basado en prácticas científicas sobre cuestiones socialmente vivas

Daniel Cebrián Robles, Paloma España Naveira y Enrique España Ramos

34 **Capítulo 2.** Las prácticas científicas en el desarrollo del pensamiento crítico en la enseñanza de la biología

Gimena Fussero y Maricel Occelli

48 **Capítulo 3.** Articulación y transformación de sesgos cognitivos y obstáculos epistemológicos a través del pensamiento crítico sobre problemáticas sociocientíficas

Cristián Ledezma Carvajal, Gonzalo M.A. Bermudez y Florencia D' Aloisio

67 **Capítulo 4.** Uso de debates para desarrollar la argumentación y toma de decisiones como habilidades de pensamiento crítico con profesorado en formación inicial. El caso del agua embotellada

María José Cano Iglesias y Antonio Joaquín Franco Mariscal

87 **Capítulo 5.** Desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en la educación ambiental para la sostenibilidad a través de prácticas científicas de indagación y argumentación

María del Mar López Fernández y Antonio Joaquín Franco Mariscal

Sección II - Modelos y modelización

98 **Capítulo 6.** La elaboración de modelos científicos computacionales con Scratch en la formación inicial de maestros

Victor López Simó y Cristina Simarro

115 **Capítulo 7.** La modelización como práctica científica y la competencia de metamodelado: Desafíos para la enseñanza de la biología

Silvana Ferragutti, Carola Astudillo y Gonzalo M.A. Bermudez

129 **Capítulo 8.** Propuesta para analizar los saberes docentes sobre modelos y modelización en ciencias naturales, a partir del Conocimiento Didáctico

del Contenido

María Emilia Ottogalli y Gonzalo M.A. Bermudez

- 143 Capítulo 9.** Propuesta de una secuencia didáctica para promover el aprendizaje de la relación estructura-función del hígado utilizando la modelización como eje
Andrea S. Rópolo, Belkys Maletto y Leticia Garcia Romano

Sección III - Prácticas científicas en materiales curriculares

- 157 Capítulo 10.** La modelización en libros de texto de Educación Primaria: una aproximación a la propuesta de actividades
Natalia Celina Fernández
- 171 Capítulo 11.** Prácticas Experimentales: la importancia de la representación gráfica
Dafne Saporito y Fabio E. Malanca
- 180 Capítulo 12.** Potencialidades de aplicaciones móviles de ciencia ciudadana para la enseñanza y aprendizaje sobre la conservación de la biodiversidad
Giuliana Morbidoni Davicino, María Angelina Roggio, María Carla Lábaque y Leticia Garcia-Romano

INFORMACIÓN DE LAS Y LOS AUTORES

A continuación, brindamos una breve información biográfica de las 26 personas que participaron como autoras y autores en este libro.



CAROLA ASTUDILLO

Licenciada en Psicopedagogía (UNRC), Especialista en Investigación Educativa (UNCo) y Doctora en Ciencias de la Educación (UNC). Es profesora adjunta en Epistemología e Historia de la Biología, Didáctica y Educación para la Salud (Profesorado y Licenciatura en Ciencias Biológicas - FCEFQyN/ UNRC). Integra el Programa de Investigaciones Interdisciplinarias sobre el Aprendizaje de las Ciencias, y es co-directora del proyecto de investigación: Prácticas de enseñanza y formación docente en ciencias biológicas, ambiente y salud (SECyT/UNRC). Además, es Coordinadora adjunta de la Diplomatura Superior en Enseñanza de las Prácticas Experimentales en Ciencias y Subsecretaria de Vinculación Educativa de la FCEFQyN (UNRC).



GONZALO M. A. BERMUDEZ

Gonzalo M. A. Bermudez es Doctor, Profesor en Ciencias Biológicas y Biólogo por la Universidad Nacional de Córdoba; y Especialista en Constructivismo y Educación por la FLACSO-Argentina. Es Profesor Titular de las cátedras de Didáctica General y Didáctica Especial del Departamento de Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (UNC). También es miembro de la Carrera de Investigador Científico (CIC) del CONICET, en la categoría de investigador adjunto en el área de "Psicología y Educación". Docente de posgrado en la UNC, Universidad Nacional de La Plata, Universidad Nacional del Litoral y Universidad Nacional de Río Cuarto. Dirige el Grupo Communicare: enseñar y aprender ciencias.



CRISTIÁN LEDEZMA CARVAJAL

Cristián Ledezma Carvajal es Licenciado en Educación y Profesor de Estado en Química y Ciencias Naturales por la Universidad de La Serena de Chile y actualmente se encuentra realizando el Doctorado de Educación en Ciencias Básicas y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba. Es Profesor Titular de la Enseñanza en Química para los niveles de Educación General Básica, Educación Media y de Formación Diferenciada de la Institución Educativa Científico-Humanista Scuola Italiana Alcide De Gasperi de La Serena – Región de Coquimbo de Chile –. También es Docente de Academias Científicas Extracurriculares orientadas al estudio físico químico de las aguas superficiales de Humedales de la misma institución educativa.



MARÍA JOSÉ CANO-IGLESIAS

Licenciada en Ciencias Químicas y Doctora por la Universidad de Cádiz (España). Actualmente es Profesora Contratada Doctora en la Universidad de Málaga (España) y ejerce sus labores docentes e investigadoras en la Escuela de Ingenierías Industriales de dicha Universidad. Desde 2021 se encuentra desarrollando su segunda Tesis Doctoral en Didáctica de las Ciencias Experimentales en la Universidad de Málaga. Sus intereses de investigación son el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y prácticas científicas en estudiantes de ingenierías industriales.



DANIEL CEBRIÁN ROBLES

Profesor Titular del área de Didáctica de las Ciencias Experimentales en la Universidad de Málaga. Miembro del Grupo ENCIC (HUM-974). Intereses de investigación: TIC para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, argumentación científica, activismo colectivo basado en prácticas científicas y cuestiones socialmente vivas.



FLORENCIA D'ALOISIO

Florencia D'Aloisio es Licenciada en Psicología, Doctora en Estudios Sociales de América Latina, línea de investigación en Socio-antropología de la Educación, por la Universidad Nacional de Córdoba (UNC) y Diplomada Superior en Ciencias Sociales con mención en Constructivismo y Educación (FLACSO-Argentina). Es Docente Investigadora de la UNC, Profesora Titular Regular de Psicología Educacional del Profesorado en Ciencias Biológicas (FCEfYN-UNC).



PALOMA ESPAÑA NAVEIRA

Personal Investigador en Formación (FPU) de Proyectos Arquitectónicos en el departamento de Arte y Arquitectura en la Universidad de Málaga. Miembro del Grupo de investigación Urbanismo, Turismo, Paisaje e Innovación Arquitectónica HUM-969. Parte del equipo de proyecto QSVEncic que parte de la necesidad de vincular la investigación científica y tecnológica con la práctica educativa. Intereses de investigación: Diseño de los espacios para los cuidados en la ciudad a través del desarrollo del pensamiento crítico y siguiendo el enfoque de cartografía de controversias.



ENRIQUE ESPAÑA RAMOS

Profesor jubilado. Colaborador honorario en la Universidad de Málaga. Miembro del Grupo ENCIC (HUM-974). Intereses de investigación: Activismo educativo, desarrollo del pensamiento crítico y cartografía de controversias sobre cuestiones socialmente vivas en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias.



NATALIA CELINA FERNÁNDEZ

Licenciada en Ciencias Biológicas, egresada de la Universidad Nacional de La Pampa. Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales por la Universidad Nacional del Comahue. Profesora titular en las cátedras Ciencias Naturales y su didáctica, Ciencias Naturales y su didáctica I y II del profesorado en Educación Inicial y Primaria de la Facultad de Ciencias Humanas de la UNLPam. Investiga en el área de la didáctica de las ciencias naturales, co- dirige un equipo de investigación sobre la reflexión de la propia práctica en la enseñanza de las ciencias naturales en futuros/as docentes de Educación Primaria.



SILVANA FERRAGUTTI

Profesora en Ciencias Biológicas (UNRC) y Especialista en Educación y Nuevas Tecnologías (FLACSO- Argentina). Actualmente es Becaria Doctoral de CONICET y su área de investigación comprende el Conocimiento Didáctico del Contenido sobre Biodiversidad y su relación con la Naturaleza de la Ciencia en la educación superior. Es miembro del Comité Académico de las Olimpiadas Argentinas de Biología (OAB- Nivel I). Colabora en la Práctica Docente del Profesorado en Ciencias Biológicas (UNRC) y forma parte del grupo de investigación del área Educación en Ciencias (FCEFQyN-UNRC) vinculado a prácticas de enseñanza y formación docente en Ciencias Biológicas, Ambiente y Salud.



ANTONIO JOAQUÍN FRANCO-MARISCAL

Doctor por la Universidad de Cádiz y Licenciado en Ciencias Químicas. Profesor Titular de Universidad en el Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Málaga, y profesor de educación secundaria de física y química (2001-2018). Perteneció al Grupo de Investigación PAIDI HUM-974 Enseñanza de las Ciencias y Competencias (ENCIC). Sus líneas de investigación son pensamiento crítico, prácticas científicas, competencias científicas y juegos educativos, que han originado más de 125 artículos de investigación en las revistas más importantes de didáctica de las ciencias experimentales, así como libros y capítulos de libros. Investigador principal del Proyecto I+D+i del Gobierno de España PID2019-105765GAI00 "Ciudadanos con pensamiento crítico: Un desafío para el profesorado en la enseñanza de las ciencias" (2020-2024).



GIMENA B. FUSSERO

Profesora en Ciencias Biológicas, Bióloga y Magíster en Educación en Ciencias Experimentales y Tecnología por la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Doctoranda en Doctorado en Educación en Ciencias Básicas y Tecnología. Becaria doctoral SECyT. Universidad Nacional de Córdoba.

Profesora Asistente concursada en la Cátedra de Práctica de la Enseñanza del Profesorado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Córdoba. Integrante del grupo EDUCEVA-CienciaTIC. Profesora en ISFD. Líneas de investigación y extensión: Didáctica de las Ciencias Biológicas, Programación, Prácticas científicas y Educación en Genética.



LETICIA GARCIA ROMANO

Profesora en Ciencias Biológicas, Bióloga y Magíster en Educación en Ciencias Experimentales y Tecnología por la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba (FCEFyN-UNC) y Doctora en Ciencias de la Educación por la Facultad de Filosofía y Humanidades de la UNC. Es Profesora Titular por concurso del Profesorado en Ciencias Biológicas de la FCEFyN-UNC e Investigadora Adjunta del CONICET. Es codirectora de la Maestría en Educación en Ciencias Experimentales y Tecnología y directora del Departamento de Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología de la FCEFyN-UNC.



MARÍA CARLA LÁBAQUE

Investigadora Independiente del CONICET, Bióloga y Doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad Nacional de Córdoba. Es especialista en Ingeniería Ambiental. Es profesora Asistente de Ecología y Conservación, y Profesora invitada en Bienestar Animal en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en la misma Universidad.



MARÍA DEL MAR LÓPEZ FERNÁNDEZ

Graduada en Biología y Máster en Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas, especialidad Biología y Geología, por la Universidad de Málaga. Actualmente, realiza su Tesis Doctoral en la Universidad de Granada, sobre desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en cuestiones de contaminación por plásticos. Es profesora del Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Málaga, profesora de Educación Secundaria de Biología, Geología, Física y Química y pertenece al Grupo de Investigación PAIDI HUM-974 Enseñanza de las Ciencias y Competencias (ENCIC). Sus líneas de investigación son pensamiento crítico, prácticas y competencias científicas, con diversos artículos publicados sobre estas cuestiones, dentro del Proyecto I+D+i del Gobierno de España PID2019-105765GA-I00 "Ciudadanos con pensamiento crítico: Un desafío para el profesorado en la enseñanza de las ciencias" (2020-2024).



VÍCTOR LÓPEZ SIMÓ

Licenciado en física (2009) y Doctor en Didáctica de las Ciencias (2014) por la UAB (Universitat Autònoma de Barcelona). Ha trabajado como investigador en el CRECIM y también como docente de ciencias en educación secundaria, y actualmente trabaja como profesor lector en el Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals, encargado de la formación científica y didáctica al futuro profesorado de primaria y secundaria. Cuenta con numerosas publicaciones especializadas sobre enseñanza de la física, la química, la biología y la geología, y es miembro del equipo editorial de las revistas Alambique y Ciències.



FABIO E. MALANCA

Doctor en Ciencias Químicas. Docente de la Facultad de Ciencias Químicas (Universidad Nacional de Córdoba) e investigador de CONICET.

Director del grupo "Química Teórica-Experimental de moléculas de interés ambiental", abocado al estudio de los posibles impactos ambientales de compuestos emitidos a la atmósfera.

Director del grupo "Enlazados por la Química", el cual realiza actividades de divulgación y cursos de formación para docentes de todos los niveles educativos, con énfasis en el uso de actividades experimentales como herramientas para la enseñanza.



GIULIANA MORBIDONI DAVICINO

Estudiante del último año del Profesorado en Ciencias Biológicas y de la Licenciatura en Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Forma parte del Grupo de Investigación EDUCEVA, de la misma Facultad.



MARICEL OCCELLI

Doctora en Ciencias de la Educación. Profesora en Ciencias Biológicas, Bióloga y Magíster en Educación en Ciencias Experimentales y Tecnología por la Universidad Nacional de Córdoba. Profesora Titular con dedicación en la Cátedra de Práctica de la Enseñanza del Profesorado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Córdoba e Investigadora Adjunta de CONICET. Su línea de investigación y extensión se refiere a la Didáctica de las Ciencias, las Tecnologías de la Información y la Comunicación y educación STEAM. Co-dirige el Grupo de Investigación EDUCEVA (Educación en Ciencias y Entornos Virtuales de Aprendizaje) - CienciaTIC.



MARÍA EMILIA OTTOGALLI

Bióloga y Profesora en Ciencias Biológicas por la Universidad Nacional de Córdoba y actualmente se encuentra realizando el Doctorado de Educación en Ciencias Básicas y Tecnología de la misma universidad. También es becaria doctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnica (CONICET), docente en el nivel medio y Profesora Asistente en las cátedras de Didáctica General y Didáctica Especial del Departamento de Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (UNC).



MARÍA ANGELINA ROGGIO

Bióloga y Profesora en Ciencias Biológicas. Estudió en la Universidad Nacional de Córdoba. En esta misma casa de estudios realizó un Doctorado en Biología, especializándose en el área de la ecotoxicología. Enseñar siempre fue su gran pasión y lo vive como un gran desafío. Actualmente ejerce la docencia en los niveles secundario, terciario y universitario.



ANDREA S. RÓPOLO

Bioquímica y realizó su Doctorado en Ciencias Químicas. Actualmente se desempeña como Investigador Independiente de CONICET y está cursando la carrera de Doctorado en Educación en Ciencias Básicas y Tecnología. Es Profesor Asistente de la asignatura Anatomía e Histología Humana, dictada en la Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad Nacional de Córdoba.



DAFNE SAPORITO

Licenciada y Doctora en Química por la Universidad Nacional de Córdoba. Es Profesora Asistente de dedicación exclusiva en la Facultad de Ciencias Químicas (FCQ). Entre sus actividades docentes se destaca su participación en el Ciclo de Nivelación (primera asignatura de las cuatro carreras de la FCQ) donde fue ayudante alumna, docente y supervisora; y en actividades prácticas de laboratorio, tanto del Ciclo Básico como del Ciclo Superior. Fue directora del proyecto de articulación Científiz¿Qué? y participante de dos proyectos de extensión. Desempeñó tareas de investigación en el grupo "Síntesis Orgánica Asistida por Modelado Molecular".



CRISTINA SIMARRO

Licenciada en ingeniería por la UPC (2004) y doctora en didáctica de las Ciencias (2019) por la UAB. Actualmente es profesora de secundaria de tecnología e investigadora del grupo ACELEC (anteriormente, TIREC).

Tras años de experiencia como ingeniera en el sector privado, decidió orientar su carrera profesional hacia la educación. Ha formado parte del CRECIM (Centro de Investigación para la Educación Científica y Matemática) de la UAB durante diez años, participando en proyectos nacionales e internacionales. Sus líneas de investigación se centran en la didáctica de la ingeniería, la promoción de las vocaciones en el ámbito STEM y la evaluación de proyectos educativos.



CLAUDIO SOSA

Doctor en Ciencias Biológicas. Profesor de FCEFyN (UNC) en Introducción a la Biología y Fundamentos de Evolución. Fue Profesor en Práctica de la Enseñanza y en Epistemología y Metodología de las ciencias (Departamento de Enseñanza, FCEFyN, UNC). Como investigador, actualmente trabaja en dos líneas de estudio: Entomología aplicada y Educación en ciencias. Integra el grupo EDUCEVA Educación en Ciencias y Entornos Virtuales de Aprendizaje de la Universidad Nacional de Córdoba.

PRÓLOGO

Me gustaría en primer lugar hacer un poco de historia para contextualizar el origen de este libro que es, sin duda, un valioso aporte para la Didáctica de las Ciencias. En agosto de 2018 se abrió por primera vez la convocatoria para postularse a la carrera de Doctorado en Educación en Ciencias Básicas y Tecnología. Este programa es cogestionado entre la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación, la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y la Facultad de Ciencias Químicas, todas ellas unidades académicas de la Universidad Nacional de Córdoba. Una carrera de posgrado que ya posee más de treinta estudiantes pero que es tan joven, que está a punto de ser testigo de su primera defensa de tesis doctoral.

En el marco de este proyecto de posgrado, en septiembre de 2021, Maricel Ocelli, Leticia García y Claudio Sosa, ofrecieron el curso **Prácticas científicas y cuestiones socio científicas en la enseñanza de las ciencias: aportes desde la didáctica de la Biología**. Este curso cruza, de manera muy conveniente, dos líneas de investigación tradicionalmente consideradas separadas. El estudio de las prácticas científicas, su aprendizaje y su enseñanza, ha crecido fundamentalmente de la mano de los estudios sobre la Naturaleza de la Ciencia, bajo el reclamo constante de incluir en las aulas de ciencias no sólo los productos del conocimiento científico sino también sus procesos, sus múltiples dinámicas de construcción y validación. Por otra parte, la inclusión de problemáticas socio científicas en las aulas ha sido considerada a partir de estudios curriculares, con el objetivo de involucrar a los estudiantes en problemas sociales y científicos auténticos, ligados a su comunidad, a sus intereses, a su identidad, y sobre los que pueden ser críticos e intervenir. Dos líneas de investigación de por sí relevantes en el ámbito de la Didáctica de las Ciencias, que al ponerlas en contacto se nutren mutuamente. Razón por la cual interpreto que el trabajo realizado es un aporte fundamental a nuestro campo. Aunque no el único.

Este libro es un producto de ese curso. Los capítulos que lo componen son (mayoritariamente) de autoría de estudiantes del curso. Los doctorandos que tomaron el curso fueron invitados a producir un trabajo que pusiera en contacto la problemática abordada en el curso con sus proyectos de tesis. Aquí reside, desde mi perspectiva, el segundo gran aporte de este libro. Promover y sostener la escritura de los capítulos por parte de investigadores en formación, es un aporte enorme para la formación de investigadores noveles. Estos investigadores en formación no sólo son invitados a analizar puntos de encuentro entre los contenidos del curso y sus tesis doctorales (tarea que implica un grado de flexibilidad cognitiva apreciable), sino que también son invitados a transitar prácticas habituales en toda comunidad académica: la escritura de artículos científicos.

En síntesis, pienso que el aporte de este libro es doble: aporta al campo de la Didáctica de las Ciencias, y también aporta a la formación de investigadores noveles en Didáctica de las Ciencias. Un mérito que vale la pena destacar.

Dra. Laura Buteler

Directora del Doctorado en Educación y Ciencias Básicas, FAMAF, FCEyN, FCQ - Universidad Nacional de Córdoba (2021-2022)

Investigadora en el Instituto de Física Enrique Gaviola (CONICET) y docente de la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación - UNC.

INTRODUCCIÓN

Maricel Occelli, Leticia Garcia Romano y Claudio Sosa

Grupo de Investigación Educeva Ciencia-TIC. Departamento de Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.

maricel.occelli@unc.edu.ar leticia.garcia@unc.edu.ar csosa@unc.edu.ar

Este libro surge de reflexiones y discusiones realizadas en el curso de posgrado “Prácticas científicas y cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de las ciencias: aportes desde la didáctica de la Biología” desarrollado en el marco del Doctorado en Educación en Ciencias Básicas y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba y, de la generosidad de autoras y autores cuyas ideas formaron parte esencial de las discusiones del curso y a quienes convocamos a formar parte de esta publicación. Para invitarles a leer esta obra, nos parece importante compartir desde qué lugar nos posicionamos y cuáles fueron las principales ideas que sirvieron de ejes conceptuales tanto en el curso como así también para la organización de esta publicación.

En acuerdo con lo planteado por Reis (2021), sostenemos que la situación socioambiental actual y la crisis global plantean nuevos retos para la formación científica ciudadana. En este contexto, las diferentes formas y medios a través de los cuales se difunde información tecnocientífica se constituyen en un desafío para la ciudadanía, ya que se requiere contar con estrategias para identificar aquellas noticias falsas, erróneas o que presentan información distorsionada que buscan manipular la opinión pública y el comportamiento de la ciudadanía para el beneficio de ciertos grupos de poder (Lopes, 2019). A su vez, las cuestiones que integran aspectos científicos, tecnológicos, ambientales y sociales con frecuencia se presentan en una dinámica de controversias y han sido identificadas como cuestiones sociocientíficas CSC (en inglés Socioscientific Issues - SSI). Las CSC plantean discusiones en las cuales interactúan en conversación un colectivo compuesto por diferentes actores y fuerzas sociales (grupos de expertos, organizaciones no gubernamentales, empresas, usuarios, etc.) ya sea por desacuerdo, discusión o debate (Kolstø 2001). Por lo general, son divulgadas en los medios de comunicación, los cuales destacan aspectos de las CSC en función de determinados intereses que se vinculan a problemas locales y globales, y se enfrentan a información incompleta de evidencias científicas o registros. Esta exposición mediática, exige herramientas epistémicas y un pensamiento sistémico para la formación de opiniones y la evaluación de costos y beneficios en los cuales los riesgos interactúan con los valores y la ética (Ke et al., 2020).

En este escenario resulta necesario fomentar una concepción de ciencia como un conjunto de prácticas de construcción de conocimiento, condicionada por los contextos sociales, históricos y culturales y en constante interacción con la tecnología, la sociedad y el ambiente (Erduran y Dagher, 2014). También se requiere promover una concepción de la actividad científica como aquella actitud crítica, cuestionadora y de autonomía intelectual que brinda herramientas para evaluar información y tomar decisiones fundamentadas, como así también exigir justicia social y ética en las interacciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (Reis, 2021). En este marco, argumentamos que es necesario que la educación se oriente desde una perspectiva de “ciencia en contexto” que permita la comprensión de las ciencias, su naturaleza, el análisis de las situaciones cotidianas y el desarrollo de un papel activo y crítico ante cuestiones sociales y ambientales vinculadas con la ciencia y la tecnología (Bencze et al., 2020). Un camino de aproximación para este tipo de enseñanza es a través de la participación en prácticas científicas.

Tal como plantea Osborne (2014) la noción de ciencia como un conjunto de prácticas surgió del trabajo de historiadores de la ciencia, filósofos, científicos cognitivos y sociólogos en los últimos 40 años. Esta noción implica identificar que en la construcción de conocimiento científico se ponen en interacción redes de participantes e instituciones; formas especializadas de hablar y escribir; modelizar; realizar inferencias predictivas y desarrollar representaciones de fenómenos. En este sentido, las prácticas científicas involucran no sólo lo epistémico sino también aspectos socio-institucionales y componentes culturales (García-Carmona, 2020). Incluyen además las prácticas conceptuales y teóricas comprendidas en la elección de las herramientas, entrañan la reunión de datos con fines particulares, son interdependientes entre sí y están al servicio de la generación de conocimientos científicos. En suma, se podría decir que las prácticas científicas se caracterizan por su integración en marcos teóricos más amplios y, su interconexión en mecanismos epistémicos, cognitivos y socio-institucionales (Erduran y Dagher, 2014). Por lo tanto, resulta necesario que la enseñanza de la ciencia incluya la explicación de cómo y por qué se llegó a determinadas explicaciones para fenómenos de la naturaleza, ya que al hacerlo se contribuye a generar un compromiso con la evidencia como base epistémica de las creencias. Este compromiso es una de las principales contribuciones de la ciencia a la cultura contemporánea, que promueve la racionalidad y el pensamiento crítico (Osborne, 2014).

De acuerdo con Jiménez-Aleixandre y Puig (2012; 2022) el pensamiento crítico combina dos grupos de componentes, una serie de componentes relacionados con el juicio deliberado, la evaluación de evidencias y la argumentación y otra serie de componentes vinculada con la participación ciudadana y la justicia social. Las autoras entienden al pensamiento crítico como un conjunto de habilidades y disposiciones que permiten a los estudiantes y a las personas realizar acciones críticas basadas en razones y valores, pero también como un pensamiento independiente que involucra el desarrollo de habilidades de reflexión acerca del mundo y una participación activa guiada por esas reflexiones. En esta línea, Puig, Blanco-Anaya y Pérez-Maceira (2021) indican que pocas personas cuestionan el rol del pensamiento crítico en la formación de ciudadanos activos, sin embargo, la forma en que la ciencia se enseña en las escuelas continúa orientada a “qué pensar” y en menor medida a “cómo

pensar”. Además, tal como argumentan Dillon y Avraamidou (2020) y Reis (2021), a pesar de que el público en general respeta la ciencia y los avances científicos, estamos inmersos en un contexto en el que gran parte de la ciudadanía no se siente capacitada y empoderada para comprender y tomar decisiones sobre los problemas sociales, sanitarios y ambientales que afectan a sus comunidades. Esto se asocia en parte a un contexto de desinformación que crea un ambiente propicio para el desarrollo de concepciones erróneas sobre la ciencia y la proliferación de movimientos negacionistas y anticiencia.

Desde este marco conceptual entendemos que los escenarios de la educación en ciencias, en cada nivel del sistema educativo, exigen la inclusión de las CSC para comprender qué lugar ocupan las controversias en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales. Así las propuestas de enseñanza requieren incluir aspectos tanto científicos como meta-científicos desde problemáticas desarrolladas en el ámbito de la sociedad, en las que juegan un rol clave la ciencia y tecnología así como la intervención de varios actores sociales.

A partir de esta base teórica, organizamos esta publicación en tres secciones: Pensamiento crítico; Modelos y modelización y Prácticas científicas en materiales curriculares. A continuación describimos el contenido de los capítulos de cada sección.

Pensamiento crítico

Esta sección incluye cinco capítulos que focalizan en el desarrollo de pensamiento crítico, tanto en escuela secundaria como en la formación de profesorado. El Capítulo 1 titulado “El desarrollo del pensamiento crítico mediante el enfoque del activismo colectivo basado en prácticas científicas sobre cuestiones socialmente vivas”, de Daniel Cebrián Robles, Paloma España Naveira y Enrique España Ramos propone el desarrollo del pensamiento crítico a través de un programa formativo de activismo colectivo basado en prácticas científicas, para la formación del profesorado. El programa formativo consta de cuatro fases: la indagación sobre el problema planteado, la planificación de la acción, el paso a la acción y la evaluación y reflexión. Cada fase incluye una serie de actividades que conectan con diversas dimensiones del pensamiento crítico. Los autores, como resultado de la puesta en práctica del programa formativo, sostienen que el enfoque del activismo colectivo es un marco adecuado para el desarrollo del pensamiento crítico a través de prácticas científicas.

En el Capítulo 2 titulado “Las prácticas científicas en el desarrollo del pensamiento crítico en la enseñanza de la biología”, Gimena Fussero y Maricel Occelli analizan cómo las prácticas científicas de modelización, argumentación e indagación pueden promover el desarrollo del pensamiento crítico del estudiantado cuando son incluidas en diferentes secuencias didácticas de Genética. Las autoras plantean que una de las formas de introducir dichas prácticas científicas en los contextos educativos es a través de las cuestiones sociocientíficas, las cuales proponen situaciones en las cuales se puede cuestionar y analizar los conocimientos científicos aprendidos al tiempo que construyen otros. De esta manera, se contribuye a la alfabetización científica de las y los estudiantes para que se puedan desenvolver de manera

crítica, activa y reflexiva en diferentes situaciones donde diversos conocimientos científicos estén implicados.

En el Capítulo 3 “Articulación y transformación de sesgos cognitivos y obstáculos epistemológicos a través del pensamiento crítico sobre problemáticas sociocientíficas” Cristián Ledezma Carvajal, Gonzalo Bermudez y Florencia D’ Aloisio describen, a partir de un análisis minucioso de diversos autores, el papel de los sesgos cognitivos y los obstáculos epistemológicos en estudiantes de nivel secundario durante los procesos sociocognitivos en el área de ciencias, en pos de comprender la manera en que éstos pueden resultar obturadores del pensamiento científico. Luego, los autores analizan la metacognición como variable y entidad didáctica para la transformación de los modelos intuitivos de las y los estudiantes, para luego relacionar este elemento de reflexión explícita con el desarrollo del pensamiento crítico en contextos situados de educación secundaria. Por último, se propone una estrategia didáctica enmarcada en la modelización científica de humedales en contextos educativos extracurriculares con la intención de incluir al estudiantado en prácticas científicas desafiantes, problematizadoras y transformadoras para su aprendizaje, y que signifiquen un aporte para la enseñanza y la sociedad.

María José Cano Iglesias y Antonio Joaquín Franco Mariscal son los autores del Capítulo 4: “Uso de debates para desarrollar la argumentación y toma de decisiones como habilidades de pensamiento crítico con profesorado en formación inicial. El caso del agua embotellada”. Los autores parten de la premisa de la importancia del desarrollo del pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias y focaliza en la argumentación científica y la toma de decisiones como dos habilidades destacadas del mismo. El capítulo presenta una actividad denominada “Microdebate” orientada a promover el desarrollo de ambas habilidades a través de debates de corta duración sobre un problema socio-científico. En particular, este trabajo muestra los resultados de un debate sobre el consumo de agua embotellada o agua del grifo con estudiantes del Máster en Profesorado de Educación Secundaria de la Universidad de Málaga (España) en el que los oyentes toman una decisión argumentada antes y después del debate. Los resultados permiten concluir que la actividad ofrece oportunidades para elaborar argumentos y contraargumentos contrastando diferentes puntos de vista procedentes de distintas fuentes de información. Además, se promueve una toma de decisiones reflexionada y crítica, que en algunos estudiantes produjo cambios de decisión.

El Capítulo 5, último de esta sección, se titula “Desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en la educación ambiental para la sostenibilidad a través de prácticas científicas de indagación y argumentación” y sus autores son María del Mar López Fernández y Antonio Joaquín Franco Mariscal. El trabajo se centra en la educación para la sostenibilidad la cual es entendida como un proceso de formación continua de la ciudadanía que pretende que las personas estén informadas, implicadas, posean habilidades de pensamiento crítico y una fundamentación científica que les permita resolver problemas con actuaciones responsables. Este capítulo presenta cuatro propuestas para desarrollar habilidades de pensamiento crítico en la educación ambiental para la sostenibilidad en la etapa de educación secundaria mediante las prácticas científicas de indagación y argumentación. A través de la indagación

se trata el aumento de la temperatura del planeta y la degradación de los materiales. Las propuestas argumentativas giran en torno a la contaminación por microplásticos y la alimentación sostenible. En todos los casos se abordan grandes problemas ambientales con consecuencias en la sociedad.

Modelos y modelización

Esta sección se compone de cuatro capítulos que abordan experiencias e investigaciones referidas al abordaje de la modelización en las aulas. En el capítulo 6 “La elaboración de modelos científicos computacionales con Scratch en la formación inicial de maestros” Víctor López Simó y Cristina Simarro presentan el análisis de una experiencia en la formación inicial de profesorado de primaria que integró la modelización computacional en la enseñanza de las ciencias. Detallan los objetivos de la propuesta y las producciones digitales (en forma de animación, simulación o videojuego) que elaboraron las y los futuros docentes de primaria con el entorno de programación Scratch y caracterizan cómo son y qué tipo de modelo computacional subyace en cada una de ellas.

En el Capítulo 7 “La modelización como práctica científica y la competencia de metamodelado: Desafíos para la enseñanza de la biología” Silvana Ferragutti, Carola Astudillo y Gonzalo Bermudez se presentan reflexiones teóricas al respecto de cómo los desarrollos actuales en torno a modelos y modelización como práctica científica y la competencia de metamodelado pueden brindar oportunidades para la enseñanza de la Biología. Se aportan elementos para analizar desde este marco conceptual las características que puede tomar la enseñanza, la visión de ciencia que puede sostenerse y el lugar de participación que puede darse al estudiantado para vivenciar prácticas auténticas de modelización, incluyendo el abordaje de saberes metacientíficos de relevancia en el marco de las perspectivas epistemológicas actuales.

Siguiendo en la misma línea conceptual, en el Capítulo 8 “Propuesta para analizar los saberes docentes sobre modelos y modelización en ciencias naturales, a partir del Conocimiento Didáctico del Contenido” María Emilia Ottogalli y Gonzalo Bermudez orientan su aporte al análisis de la enseñanza de los modelos y la modelización. En este sentido, destacan la importancia de los saberes docentes para crear situaciones de enseñanza basadas en el uso de modelos y la modelización conectando con el constructo del Conocimiento Didáctico del Contenido, considerado como un saber propio de las y los docentes y que se pone en juego para hacer que un tópico sea más comprensible para sus estudiantes. A partir de este marco se presentan categorías y preguntas orientadoras que podrían guiar el análisis de los conocimientos docentes al enseñar contenidos de biología que involucren a los modelos y la modelización.

En el cierre de esta sección incluimos el Capítulo 9 “Propuesta de una secuencia didáctica para promover el aprendizaje de la relación estructura-función del hígado utilizando la modelización como eje” Andrea Rópolo, Belkys Maletto y Leticia Garcia Romano. Las

autoras contextualizan su propuesta en el marco de una asignatura universitaria referida a la histología humana poniendo el foco en la enseñanza del hígado. La propuesta pone en contexto situaciones que permiten estudiar el recorrido del metabolito bilirrubina desde el bazo hasta su eliminación en el intestino delgado, con el paso previo por el hígado. Se busca facilitar la comprensión de procesos particulares que ocurren a nivel celular y tisular a través de diferentes actividades tales como explicación, argumentación, pensamiento crítico y comunicación.

Prácticas científicas en materiales curriculares

En esta sección se presentan los aportes de tres capítulos en los que sus autoras y autores plantean la caracterización, selección, evaluación y sugerencias de cómo implementar materiales curriculares o recursos que favorezcan las prácticas científicas y el pensamiento crítico en distintos niveles educativos.

En el Capítulo 10 “La modelización en libros de texto de Educación Primaria: una aproximación a la propuesta de actividades”, Natalia Fernández nos invita a acercarnos a la modelización, como estrategia didáctica, presente en libros de texto de educación primaria. A partir de su trabajo de relevamiento deja en evidencia que varias de las cuestiones necesarias para trabajar las prácticas científicas no se encuentran completamente abordadas en relación con el desarrollo de competencias acordes, particularmente por la escasa participación de los saberes de estudiantes en los procesos de selección y elaboración de las mismas.

En el Capítulo 11 “Prácticas experimentales: la importancia de la representación gráfica”, Dafne Saporito y Fabio Malanca analizan las representaciones gráficas producidas por estudiantes en espacios de laboratorio de la educación universitaria. La revisión de las propuestas didácticas los lleva a reconocer las dificultades que surgen en la construcción de esas representaciones y las alternativas para superarlas. Plantean que es vital repensar las secuencias didácticas de asignaturas que usan prácticas de laboratorio contextualizando las aplicaciones de las técnicas que se pretenden enseñar con el fin de afianzar el pensamiento crítico del estudiantado favoreciendo aprendizajes más significativos.

El Capítulo 12 “Potencialidades de aplicaciones móviles de ciencia ciudadana para la enseñanza y aprendizaje sobre la conservación de la biodiversidad”, Giuliana Morbidoni Davicino, María Angelina Roggio, María Carla Lábaque y Leticia Garcia-Romano, nos introduce en experiencias educativas que integran aplicaciones de ciencia ciudadana para la identificación de organismos. Las autoras caracterizan veinte aplicaciones móviles, a partir de las características del contenido multimedia, los contenidos abordados, el nivel de involucramiento de los ciudadanos, las prácticas científicas que promueven y el tipo de aprendizaje colaborativo que fomentan, demostrando que existen diversas áreas de conocimiento sobre biodiversidad donde puede desarrollarse la ciencia ciudadana, que los recursos multimedia favorecen la identificación exitosa de organismos, el aprendizaje colaborativo y el reconocimiento de su entorno cercano.

Esperamos que esta obra en conjunto brinde aportes para seguir pensando y desarrollando propuestas que abran nuevos horizontes para la educación en ciencias.

Referencias bibliográficas

- Bencze, L., Pouliot, C., Pedretti, E., Simonneaux, L., Simonneaux, J. y Zeidler, D. (2020). SAQ, SSI and STSE education: defending and extending “science-in-context”. *Cultural Studies of Science Education* 15, 825-851. <https://doi.org/10.1007/s11422-019-09962-7>
- Dillon, J. y Avraamidou, L. (2020). Towards a viable response to COVID-19 from the science education community. *Journal for Activist Science & Technology Education*, 11, 1–6. <https://doi.org/10.33137/jaste.v11i2.34531>
- Erduran, S. y Dagher, Z.R. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education. Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories*. Contemporary Trends and Issues in Science Education 43. Springer Dordrecht Heidelberg New York London.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. y Puig B. (2012). Argumentation, Evidence Evaluation and Critical Thinking. In B. Fraser, K. Tobin y C. McRobbie (eds.), *Second International Handbook for Science Education* (pp. 1001–1015). Dordrecht: Springer https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_66
- Jiménez-Aleixandre, M.P. y Puig, B. (2022). Educating critical citizens to face post-truth: the time is now. En B. Puig and M.P. Jiménez-Aleixandre (eds), *Critical Thinking in Biology and Environmental Education. Facing Challenges in a Post-Truth World*. Berlin: Springer.
- Ke, L., Sadler, T.D., Zangori, L. y Friedrichsen, P.J. (2020). Students’ perceptions of socio-scientific issue-based learning and their appropriation of epistemic tools for systems thinking. *International Journal of Science Education*, 42(8), 1339-1361. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1759843>
- Kolstø, S.D. (2001). Scientific Literacy for Citizenship: Tools for Dealing with the Science Dimension of Controversial Socioscientific Issues. *Science Education*, 85(3), 291-310. <https://doi.org/10.1002/sce.1011>
- Lopes, P. (2019). Mentiras, pegadas e algoritmos: da necessidade de uma educação para os media (pp.137-156). En: P. Lopes y B. Reis (ed.). *Comunicação digital: media, práticas e consumos*. Lisboa: Núcleo de Investigação em Práticas & Competências Mediáticas.
- Osborne, J. (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>
- Puig, B., Blanco-Anaya, P. y Pérez-Maceira, J. (2021). “Fake News” or Real Science? Critical Thinking to Assess Information on COVID-19. *Frontiers in Education* <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.646909>
- Reis, P. (2021). Desafios à Educação em Ciências em Tempos Conturbados. *Ciência & Educação*, 27, e21000. <https://doi.org/10.1590/1516-731320210000>

SECCIÓN I
PENSAMIENTO CRÍTICO

CAPÍTULO 1

El desarrollo del pensamiento crítico mediante el enfoque del activismo colectivo basado en prácticas científicas sobre cuestiones socialmente vivas

*Daniel Cebrián Robles, Paloma España Naveira y Enrique España Ramos
Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Málaga (España)*

dcebrian@uma.es

Resumen

En este capítulo se plantea el desarrollo del pensamiento crítico a través de un programa formativo de activismo colectivo basado en prácticas científicas, para la formación del profesorado. Se estudian varios marcos del pensamiento crítico que se utilizan para identificar las dimensiones relacionadas con el programa formativo. El programa formativo consta de cuatro fases que se desarrollan mediante una secuencia de actividades que incluye: la indagación sobre el problema planteado, la planificación de la acción, el paso a la acción y la evaluación y reflexión. Como resultado de la puesta en práctica del programa formativo consideramos que el enfoque del activismo colectivo es un marco adecuado para el desarrollo del pensamiento crítico a través de prácticas científicas.

Introducción

En una sociedad en constante cambio que enfrenta problemas globales complejos, la ciudadanía debe estar preparada para afrontar el exceso de información, el pluralismo de opiniones, las exigencias contrapuestas de legitimación, proliferación de riesgos, innovaciones con efectos desconocidos, etc. (Innerarity, 2011), para poder tomar decisiones y actuar en consecuencia. Sin embargo, la educación en general y la enseñanza de las ciencias y la tecnología, en particular, suelen estar centradas en conceptos, leyes y teorías que, aunque son valiosos, están alejados de la ciencia y la tecnología que necesitamos en nuestra vida diaria (Osborne et al., 2022). Por ello, es crucial que la enseñanza en ciencias y tecnología se centre en aspectos que ayuden a la ciudadanía a tomar decisiones responsables en su

vida ante problemas relevantes para posteriormente pasar a la acción (Hodson, 2003). La ciudadanía ha de ser consciente y estar comprometida con los complejos problemas del siglo XXI, entre los que se destacan las cuestiones medioambientales (Hadjichambis et al., 2020), de salud (Chinchilla, 2020) y de justicia social (Yacoubian y Hansson, 2020).

Desde la enseñanza de las ciencias y de la tecnología muchas de estas cuestiones se abordan como problemas sociocientíficos, es decir, suponen controversias sin una única solución, son relevantes para la sociedad, tratan de abordar múltiples puntos de vistas, presentan una alta complejidad por el elevado número de disciplinas que se relacionan con ellos, teniendo una fuerte conexión de lo social con aspectos de la ciencia, la tecnología, la economía, la política, la ética, etc. (Zeidler, 2014). Legardez y Simonneaux (2006) se refieren a *cuestiones socialmente vivas*, para hacer especial énfasis en que son cuestiones actuales y controvertidas, que están difundidas, entre otras, en medios de comunicación y redes sociales y que requieren adoptar una posición activa y participativa en la sociedad, haciendo énfasis en el paso a la acción.

Según Hodson (2011) la alfabetización científica no solo debe incluir una formación sobre ciencia y tecnología, sino que, además debe capacitar para que se pase a la acción ciudadana sobre problemas sociales y medioambientales a nivel local y global, empleando para ello el conocimiento científico y tecnológico. Según Simonneaux (2014), se puede contribuir al desarrollo del pensamiento crítico y la toma de decisiones cuando el enfoque se desplaza hacia el “extremo caliente”, es decir, la enseñanza va más allá del propósito de desarrollar el conocimiento conceptual y procedimental de la ciencia, para alimentar compromisos activistas que promuevan una ciudadanía comprometida. El desarrollo del pensamiento crítico está muy presente en enfoques que surgen desde la enseñanza de las ciencias para reivindicar que las instituciones educativas sean agentes de cambio y pasen a la acción socio-política (Bencze y Alsop, 2014; Hadjichambis et al., 2020; Hodson, 2003, 2011).

El activismo educativo como enfoque para la enseñanza de la ciencia y de la tecnología

Alsop y Bencze (2014) proponen un enfoque de activismo educativo entendido como “el deseo de provocar un cambio, ya sea social, político, económico o medioambiental”. Este supone un enfoque de la enseñanza de las ciencias que trata de eliminar la brecha existente entre lo “científico” y lo “educativo” con el mundo real para dar paso a la acción. Este enfoque se desarrolla en proyectos educativos como *We Act* (Reis, 2014), *STEPWISE* (Bencze, 2017) o *PARRISE* (Zafrani y Yarden, 2017) que buscan ir más allá del aprendizaje tradicional en el aula y transferir ideas y acciones a la sociedad. Con este enfoque, por tanto, se persigue que el alumnado aprenda y desarrolle competencias científicas y tecnológicas, que le permitan dar un paso a la acción social y política ante problemas de su entorno más próximo de una manera informada y cuidadosa con el medio ambiente y la justicia social. Recientes trabajos han planteado en escuelas proyectos como los de Conceição, Baptista y Reis (2019) donde se analizan la contaminación de los recursos hídricos de un riachuelo cercano al centro escolar

de secundaria y cómo se buscan soluciones, se crean radios para difundir dichas ideas y se realizan actuaciones con títeres para concienciar a la población y solicitar a los gobernantes que actúen en consecuencia. En otro trabajo, Baptista, Reis y Andrade (2018) realizan un proyecto en el que estudiantes de primaria analizan el problema de la desaparición de las abejas cercanas a sus escuelas y, tras un programa formativo basado en la indagación, proponen al Ayuntamiento la regulación de los pesticidas.

El activismo educativo puede encajar muy bien con el método de aprendizaje basado en proyectos (ABP) (Barron et al., 1998) como un marco adecuado para abordar problemas relevantes para la ciudadanía. A su vez, en estos proyectos, prácticas científicas como la indagación (Ryder, 2011) pueden servir para identificar y analizar los problemas. La modelización puede ayudar a estudiar y visualizar su complejidad (Ke, Sadler, Zangori y Friedrichsen, 2021) y la argumentación (Evagorou y Osborne, 2013) para evaluar diferentes puntos de vista y persuadir de las propuestas de actuación. Siguiendo lo propuesto por Puig y Jiménez-Aleixandre (2022), el aprendizaje a través de las prácticas científicas implica, entre otras cuestiones, que el alumnado desarrolle no solo destrezas procedimentales sino también de razonamiento que impliquen una participación reflexiva en la construcción y evaluación del conocimiento. Estas autoras indican, además, que la indagación permite al alumnado mejorar su capacidad de plantear preguntas, identificar problemas, planificar, analizar y comunicar ideas, etc. Capacidades que, a lo largo de un proyecto, predisponen a buscar y usar pruebas con cierto rigor científico, para apoyar sus afirmaciones sobre un problema y que, mediante el uso de modelos múltiples, facilitan el estudio y la comunicación. Como siguiente paso, el alumnado debe pasar a la acción a partir de lo aprendido e indagado sobre problemas sociales relevantes. La acción puede ser desarrollada de diferentes maneras, y una de las acciones adoptadas en proyectos activistas es la producción de vídeos o *vodcasts* y su difusión en redes sociales (Reis, 2014). Esta forma de pasar a la acción ha demostrado según Marques y Reis (2017) una evolución positiva por parte del alumnado en cuanto a la percepción que tienen de su capacidad de pasar a la acción y desarrollar habilidades básicas como la acción colectiva basada en la investigación.

Marcos de referencia del pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias

El desarrollo del pensamiento crítico es una noción compleja, que no es fácil de definir ni de estudiar, y que plantea dificultades a la hora de llevarlo a cabo en la enseñanza (Puig y Jiménez-Aleixandre, 2022). Se presenta en la enseñanza de las ciencias desde diferentes enfoques y estrategias didácticas que, normalmente, se desarrollan mediante la conexión de la ciencia y la tecnología con aspectos sociales (Blanco-López, España-Ramos y Franco-Mariscal, 2017; Merchan y Solbes, 2016; Puig y Jiménez-Aleixandre, 2022; Solbes y Torres, 2012; Yilmaz y Salman, 2022). Kuhn (2019) considera el pensamiento crítico como un discurso, como una práctica dialógica, con la que la gente se compromete y, por tanto, se dispone a ejercer, más que una capacidad o habilidad individual. El pensamiento crítico como diálogo

se involucra inicialmente de forma interactiva y luego con la práctica de forma interiorizada (Kuhn, 2019, pp. 148-149).

El esquema de desarrollo del pensamiento crítico presentado por Blanco-López, España-Ramos y Franco-Mariscal (2017), que surge como adaptación del trabajo de Solbes y Torres (2012), consta de 8 dimensiones en las que el pensamiento crítico estaría integrado por la visión de la ciencia, los conocimientos, el análisis crítico de la información, el tratamiento de los problemas, la argumentación, la autonomía personal, la toma de decisiones y la comunicación. En el trabajo de Jiménez-Aleixandre y Puig (2012) se presenta un marco con cuatro componentes: el curso de criterios y pruebas para la evaluación del conocimiento; la disposición a buscar razones y retar argumentos de autoridad, entendidos como aquellos que se aceptan simplemente por quién lo enuncia; tener una opinión independiente; así como un análisis crítico del discurso que busque la justificación de desigualdades. Además, en un trabajo más reciente, Puig y Jiménez-Aleixandre (2022) indican que el pensamiento crítico está orientado a la acción, es decir, el pensamiento crítico requiere el compromiso con su práctica, pues no puede desarrollarse solo de un modo teórico, donde esta acción implica, entre otras, motivar al alumnado a tomar decisiones responsables y desarrollar comportamientos apropiados que aborden los problemas controvertidos. En ese sentido, en este capítulo entenderemos que el pensamiento crítico tiene una fuerte vinculación con la acción responsable ciudadana y se desarrollará un programa formativo de activismo colectivo basado en prácticas científicas, poniendo atención en las dimensiones del desarrollo del pensamiento crítico comentado en este apartado.

Programa formativo de activismo colectivo basado en prácticas científicas

A continuación, se incluye un programa formativo diseñado según el enfoque del activismo colectivo que sirve de marco para formar a la ciudadanía para afrontar cuestiones socialmente vivas que les afectan en sus vidas y actuar en consecuencia al incluir diferentes elementos que con la ayuda de las prácticas científicas facilitan el desarrollo del pensamiento crítico. Este programa formativo está pensado para ser desarrollado en cualquier etapa educativa. No obstante, se describen algunas actividades particulares para llevar a cabo con profesorado en formación inicial, pues consideramos que la formación del profesorado es fundamental para situar a las instituciones educativas como agentes de cambio social. En la Figura 1 se muestra el programa formativo a desarrollar, durante un curso, en cuatro fases: I) indagación; II) planificación de la acción; III) paso a la acción; IV) evaluación y reflexión.

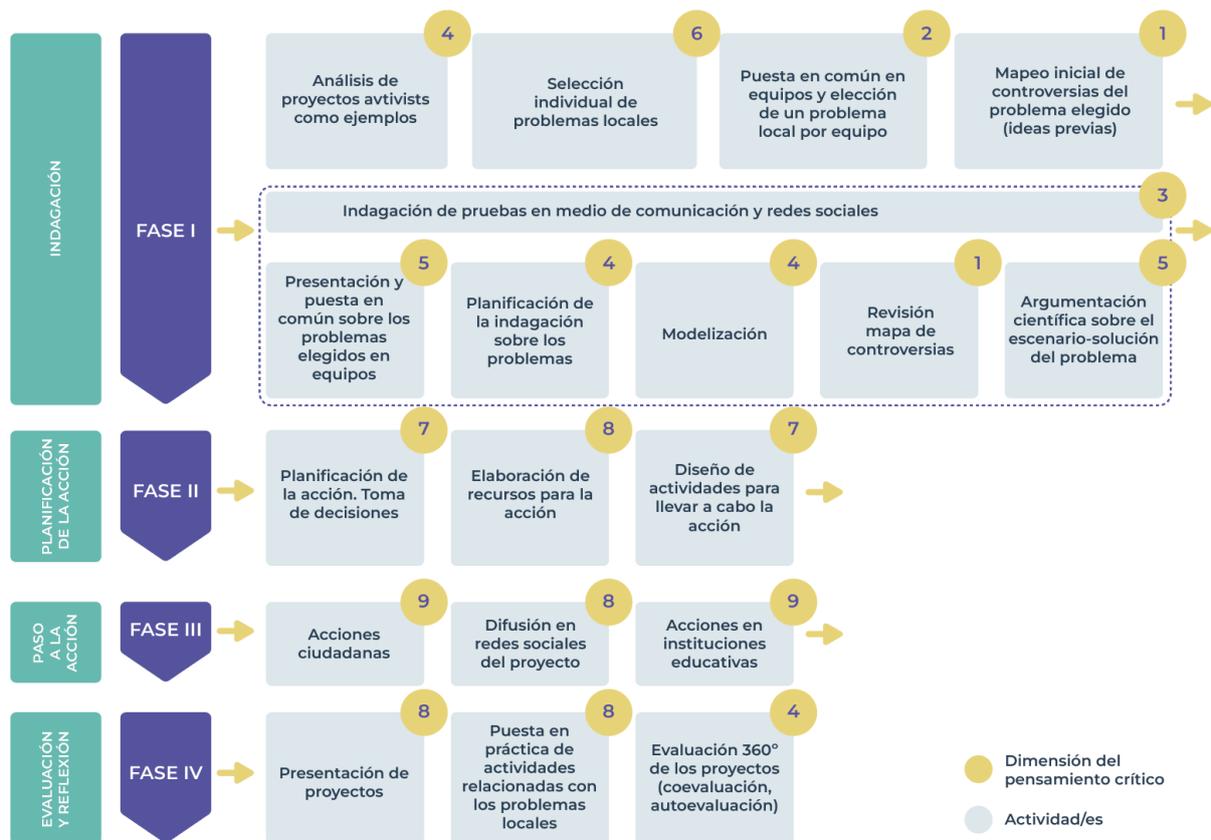


Figura 1. Programa formativo de activismo colectivo basado en prácticas científicas

Las dimensiones del pensamiento crítico presentadas con números de 1 a 9 en la Figura 1 han sido adaptadas de varios marcos relacionados con el pensamiento crítico (Blanco-López, España-Ramos y Franco-Mariscal, 2017; Puig y Jiménez-Aleixandre, 2022; Solbes y Torres, 2012): 1. Visión de la ciencia, 2. Conocimientos, 3. Análisis crítico de la información, 4. Tratamiento de los problemas, 5. Argumentación, 6. Autonomía personal, 7. Toma de decisiones, 8. Comunicación y 9. Paso a la acción responsable. Esta vinculación de las dimensiones del pensamiento crítico con las diferentes fases y actividades no es excluyente, ya que en una actividad pueden desarrollarse varias dimensiones, por lo que se ha seleccionado aquella que se desarrolla de manera preferente.

A continuación, se describen cada una de las fases del programa formativo destacando las dimensiones del pensamiento crítico que son más desarrolladas en las diferentes actividades.

Fase I. Indagación

En esta primera fase se introduce qué es el activismo colectivo basado en prácticas científicas y se muestran ejemplos de proyectos activistas, para que el alumnado pueda reflexionar sobre la acción (Hodson, 2021), es decir, conocer ejemplos activistas reales y

analizar el problema desde las causas-consecuencias, cuáles son las acciones llevadas a cabo, qué aspectos de la acción ciudadana se podrían mejorar, etc. Esta actividad permite, principalmente, desarrollar la dimensión del pensamiento crítico relacionada con el tratamiento de problemas, al abordar la complejidad de un problema de forma integral, teniendo en cuenta diferentes ámbitos: científica, social, medioambiental, económica, política, etc. Por ejemplo, en el trabajo de Cebrián-Robles, España-Ramos y Reis (2021) se proponen las anotaciones en vídeo para el análisis de vídeos activistas sobre cuestiones socialmente vivas.

A continuación, de forma individual, el alumnado tiene que buscar y seleccionar problemas locales que sean relevantes, controvertidos, con diferentes puntos de vista e intereses contrapuestos, y con una conexión con la ciencia. En esta fase se intenta desarrollar la dimensión del pensamiento crítico de autonomía personal a través de una opinión independiente de discursos dominantes y del status quo y se debe reflexionar sobre actuaciones en la sociedad y el medioambiente. Luego, en cada equipo de trabajo se selecciona y se toman decisiones sobre el problema que mejor cumple con las características o con los intereses del grupo. De esta manera, el alumnado del equipo desarrolla la dimensión del pensamiento crítico de conocimiento sobre diferentes temas a abordar, conociendo posturas alternativas que no se limitan a discursos dominantes.

Una vez elegido el problema a analizar, en cada equipo deben representar a los participantes en el problema y las relaciones entre ellos a través de lo que se denomina el mapa de controversias o cartografía de controversias (Christodoulou et al., 2021; Venturini et al., 2015), inspirado en la teoría de actor-red (Callon, Rip y Law, 1986; Latour, 2007). El mapa de controversias es una herramienta para visibilizar, organizar y abordar la complejidad inherente a cualquier controversia. En ella se incluyen los actantes, humanos y no humanos relacionados con el problema, dentro de recuadros y las relaciones que pueden establecerse entre actantes con flechas. Finalmente, se realizan agrupaciones por actantes según características comunes.

En esta actividad se desarrolla, principalmente, la dimensión del pensamiento crítico relacionada con la visión de la ciencia, al concebir la ciencia como actividad humana con múltiples relaciones con la tecnología, la sociedad, la política, el medioambiente, etc. En otra actividad se realiza la puesta en común de toda la clase, junto al profesorado, donde cada equipo argumenta su proyecto apoyándose, entre otras cuestiones, en el mapa de controversias inicial. Esta discusión permite desarrollar, especialmente, la dimensión del pensamiento crítico relacionado con la argumentación, tratando de exponer las controversias asociadas al problema y convencer del interés del mismo, su conexión con la ciencia y/o la tecnología, así como su posición al respecto. En esta actividad, se discuten y modifican algunas de las ideas preliminares, se reorientan los proyectos y se aporta andamiaje para iniciar la siguiente fase de indagación. A continuación, se muestra un ejemplo del mapa de controversia del problema del uso del agua por maestras de Educación Infantil en formación inicial (Figura 2).

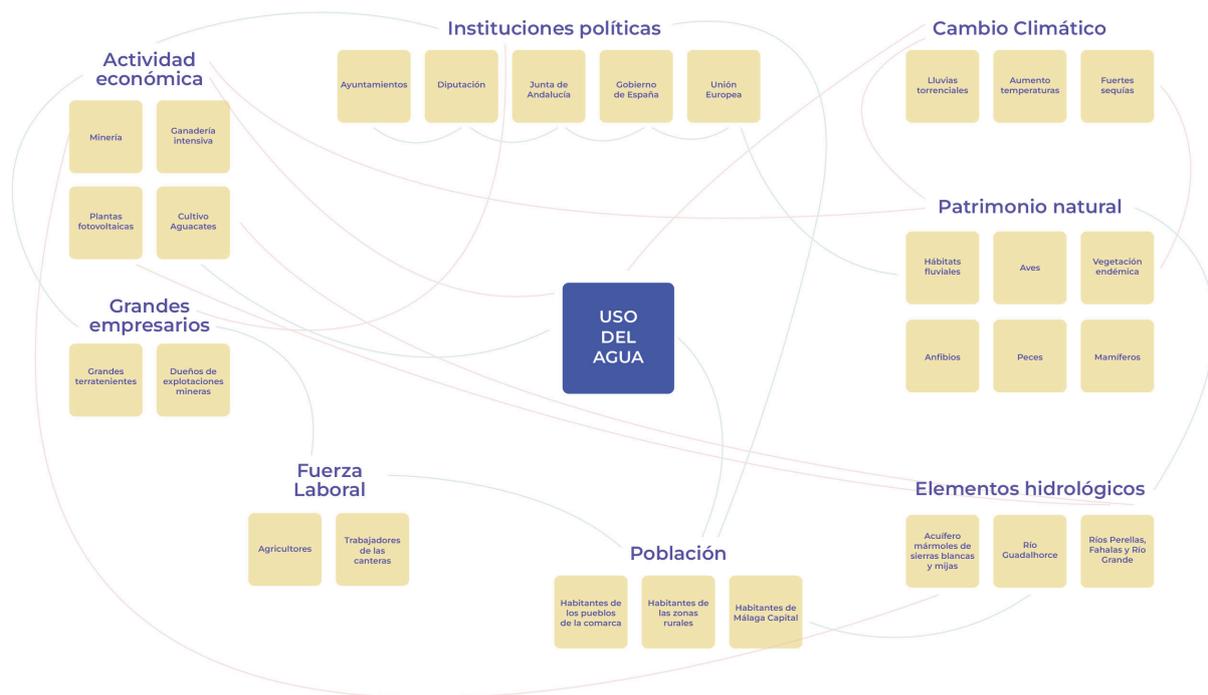


Figura 2. Ejemplo de mapa de controversias realizado por maestras de Educación Infantil en formación inicial

En las siguientes actividades se propone un análisis más en profundidad sobre los problemas seleccionados. Como parte de la indagación, se recogen y analizan pruebas, entre otras, de redes sociales y medios de comunicación, desarrollando principalmente la dimensión del pensamiento crítico relacionada con la selección y el análisis crítico de la información, al evaluar la credibilidad de las fuentes, las pruebas aportadas, las diferentes posturas, etc. Esta indagación, no solo se desarrolla en todas las actividades de la fase, de forma transversal, sino que a lo largo de las siguientes fases, también se sigue recabando información relevante que se analiza críticamente, teniendo en cuenta entre otras, la credibilidad de la fuente de información (si hay conflicto de intereses, si está libre de sesgo ideológico, si hay la neutralidad política, si la fuente es reconocida, etc.), la experiencia de quien o quienes afirman la información y si existe un consenso entre la comunidad científica.

La actividad de modelización consiste en la identificación y descripción de factores que entran en juego en el problema de cada equipo, así como la enumeración de los factores que intervienen en los escenarios-solución y que puedan explicarse con el conocimiento científico, social, económico, político, ético, religioso, etc. y la descripción de los escenarios-solución (Ke, Zangori, Sadler y Friedrichsen, 2021). Para ello, el alumnado tiene que elaborar modelos (dibujos, esquemas, mapas, etc.) que sirven para estudiar y representar aspectos relacionados con los problemas con los que trabajan. Dada la naturaleza compleja y multidisciplinar de dichas cuestiones y problemas, se pueden desarrollar modelos múltiples, para tener en cuenta diferentes aspectos (Ke, Sadler, Zangori y Friedrichsen, 2021), donde entran en juego variables diferentes. Cada modelo puede ser construido con una intención muy disímil, pero aproximando el problema desde una mirada diferente,

intentando representar y analizar su complejidad. Cada uno de los modelos elaborados por el alumnado son planificados, representados, puestos a prueba y evaluados, según las fases del modelo de modelización de Gilbert y Justi (2016). En esta actividad, el alumnado desarrolla, principalmente, la dimensión del pensamiento crítico relacionada con el tratamiento de problemas, al tratar la complejidad de forma integral y multidisciplinar; no obstante, también se desarrollan dimensiones importantes como el conocimiento científico y la comunicación. Además, el conocimiento de la naturaleza de los modelos permite revisar el mapa de controversias elaborado en la fase anterior y hacer propuestas de mejora.

Para terminar esta fase, se propone una actividad de argumentación sobre las cuestiones socialmente vivas en las que cada equipo de estudiantes tiene que posicionarse sobre el escenario-solución que vea más favorable, utilizando y describiendo el modelo como apoyo visual. Esta actividad requiere de la toma de decisiones para abordar el problema, pero principalmente el desarrollo de la capacidad de argumentación, ya que se trata de aportar pruebas científicas, justificarlas desde diferentes ámbitos (científica, social, política, etc.), proponer refutaciones y hacer afirmaciones.

Fase II. Planificación de la acción

Esta fase permite la planificación, diseño y organización de recursos y actividades para pasar a la acción, fruto de los resultados de la fase anterior de indagación. Esta acción está pensada para contribuir desde cualquier etapa educativa a mitigar los problemas sociales y medioambientales de la localidad, actuando directa o indirectamente en sociedad (Hodson, 2011). Además, para el caso del profesorado en formación inicial, también se propone el diseño y desarrollo de actividades para implementar los proyectos seleccionados en las escuelas e institutos, como parte de su formación y así abrir una segunda posible vía de actuación social. Las actividades de estas fases se pueden desarrollar en paralelo o en diferente orden.

La primera actividad tiene el objetivo de planificar, entre otras, cómo se va a llevar a cabo la acción ciudadana, qué recursos serán necesarios, qué secuencia de actuaciones realizar, así como la decisión de lugares y fechas. En el caso del profesorado en formación inicial, además, se puede planificar y diseñar propuestas formativas con relación al proyecto, para secuenciar actividades que integren las prácticas científicas, con especial énfasis en la indagación, y que culminen con la acción ciudadana. Entre las dimensiones del pensamiento crítico, esta actividad se relaciona principalmente con la toma de decisiones fundamentadas, para resolver problemas y actuar en sociedad.

La siguiente actividad es la elaboración de recursos por los equipos de estudiantes. Estos recursos tienen el objetivo de visibilizar, concienciar, proponer y/o actuar frente a los problemas seleccionados. Estos pueden ser juegos educativos, cuentos, guiones de vídeo, cartas, panfletos, elaboración de historias para obras teatrales, programaciones de radio, etc., que se utilicen para la fase de la acción. Con respecto al pensamiento crítico, se trata, entre otras, de desarrollar la dimensión de la comunicación a través de los recursos, en este caso, de las decisiones y acciones propuestas en su indagación crítica sobre las cuestiones

socialmente vivas. Además, para el profesorado en formación inicial, los recursos pueden serles útiles para su profesión y así implementarlos mediante actividades en sus prácticas docentes (Aghasaleh, Enderle y Puvirajah, 2019).

El siguiente paso es el diseño de actividades con los recursos elaborados previamente y de selección de pasos a seguir en cada una de las actividades, para la fase de acción. Con esta actividad, el alumnado concreta, por ejemplo, cómo se debe utilizar el juego educativo diseñado por la ciudadanía, dónde y cómo se llevará a cabo la lectura de los cuentos, cómo se difundirán los vídeos y qué posibles actividades se harán con ellos, quién será el responsable de llevar cartas o panfletos informativos y a qué lugares, etc. Además, el profesorado en formación inicial tendrá que establecer las actividades a llevar a cabo con los recursos para la etapa educativa correspondiente. Esta actividad desarrolla, principalmente, la dimensión del pensamiento crítico relacionada con la toma de decisiones, pues se establecen decisiones responsables para la acción. No obstante, se desarrollan otras dimensiones como la de comunicación, autonomía personal o conocimiento.

Fase III. Paso a la acción

Como consecuencia de las fases anteriores, deben desarrollarse una serie de propuestas de acciones. Esta es quizás una de las fases más importantes de un proyecto activista colectivo, pues trata de visibilizar y actuar para abordar las cuestiones socialmente vivas locales. En una primera actividad, una vez diseñada la estrategia de acción ciudadana en la fase anterior, esta se lleva a cabo en la localidad. Las acciones pueden ser el envío de cartas de propuestas a instituciones políticas, la representación de obras teatrales para visibilizar una problemática y/o solución, la creación de un programa de radio donde se propongan mejoras para la localidad, la difusión de vídeos activistas en redes sociales, etc. Con ello, se fomenta el desarrollo de la dimensión del pensamiento crítico relacionado con la acción responsable. Por último, se le debe de dar visibilidad al proyecto en redes sociales, medios de comunicación, etc., fomentando así la dimensión del pensamiento crítico relacionada con la comunicación, ya que se trata de expresar acciones alternativas, después de haber valorado todos los puntos de vista y controversias que suponen dicha cuestión socialmente viva. Además, se ha propuesto una última actividad a llevar a cabo en instituciones educativas que, principalmente, está pensada para que el profesorado información inicial o en ejercicio, para que los diseños de la secuencia de actividades y proyectos activistas planificados en la fase anterior se lleven a la práctica en centros educativos. Esta actividad está relacionada con la dimensión del pensamiento crítico de la acción responsable.

Fase IV. Evaluación y reflexión

Como fase final, se presentan los proyectos elaborados y la acción ciudadana y difusión llevada a cabo, así como se realizan actividades relacionadas con las cuestiones socialmente

vivas locales por parte del profesorado en formación inicial. Ambas actividades desarrollan la dimensión del pensamiento crítico de comunicación, tratando de mostrar de forma sintética todo el proceso llevado a cabo en el programa formativo de activismo colectivo basado en prácticas científicas. Por último, se realiza una evaluación 360°, donde cada equipo evalúa al resto de los equipos que exponen y, luego, se autoevalúa. Además, el profesorado evalúa a cada equipo, teniendo en cuenta todas las fases abordadas (la selección del problema, la indagación, la planificación de la acción y la acción ciudadana). Esta última acción, necesaria para aprender de la evaluación (Hodson, 2021), está relacionada con la dimensión de análisis crítico de la información.

Consideraciones finales

Se ha propuesto el enfoque de activismo colectivo basado en prácticas científicas mediante un programa formativo que aborda dimensiones del pensamiento crítico propuestas por los marcos teóricos discutidos en el trabajo y que integra prácticas científicas como parte del proceso de diseño, planificación, análisis, comunicación y acción. Como resultado de la puesta en práctica del programa formativo consideramos que el enfoque del activismo colectivo es un marco adecuado para el desarrollo del pensamiento crítico a través de prácticas científicas. La identificación y vinculación de las principales dimensiones del pensamiento crítico puestas en juego en el programa formativo deben ser estudiadas por separado y validada en otros trabajos, para conocer en qué medida se desarrollan cada una de ellas. Además, son necesarios más estudios relacionados con el activismo colectivo basado en prácticas científicas para conocer en qué medida se contribuye a afrontar los problemas locales, su repercusión a escala global, así como el desarrollo de una ciudadanía responsable.

Con el enfoque de activismo colectivo propuesto creemos que se desarrollan aspectos no explicitados en las dimensiones del pensamiento crítico para la formación del profesorado, como el pensamiento crítico sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje, que consideramos pieza fundamental en su desarrollo profesional. La formación inicial del profesorado es una oportunidad para crear redes de acción ciudadana para encarar problemas complejos medioambientales y sociales del siglo XXI, así como una oportunidad para la alfabetización científica, tecnológica, mediática, crítica, etc., mediante el pensamiento múltiple (cuidadoso, crítico y creativo) (Lipman, 2016).

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Proyecto I+D+i «Ciudadanos con pensamiento crítico: Un desafío para el profesorado en la enseñanza de las ciencias» (PID2019-105765GA-I00) financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y el Proyecto de Innovación Educativa (PIE22-061) financiado por la Universidad de Málaga

(España). Además, ha sido financiada por el Ministerio de Universidades a través del programa de Formación del Profesorado Universitario (FPU19/04507).

Referencias bibliográficas

- Aghasaleh, R., Enderle, P. y Puvirajah, A. (2019). From Computational Thinking to Political Resistance: *Journal for Activist Science and Technology Education*, 10(1), 29-44.
- Alsop, S. y Bencze, L. (2014). Activism! Toward a More Radical Science and Technology Education. En L. Bencze y S. Alsop (Eds). *Activist Science and Technology Education*. Springer.
- Baptista, M., Reis, P. y de Andrade, V. (2018). Let's save the bees! An environmental activism initiative in elementary school. *Visions for Sustainability*, 9, 41-48.
- Barron, B.J.S., Schwartz, D.L., Vye, N.J., Moore, A., Petrosino, A., Zech, L. y Bransford, J.D. (1998). Doing With Understanding: Lessons From Research on Problem- and Project-Based Learning. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3-4), 271-311.
- Bencze, L. (2017). *Science and Technology Education Promoting Wellbeing for Individuals, Societies and Environments: STEPWISE* (L. Bencze (ed.); Vol. 14). Springer.
- Bencze, L. y Alsop, S. (2014). *Activist Science and Technology Education*. Springer.
- Blanco-López, Á., España-Ramos, E. y Franco-Mariscal, A.J. (2017). Estrategias didácticas para el desarrollo del pensamiento crítico en el aula de ciencias. *Ápice*, 1(1), 107-115.
- Callon, M., Rip, A. y Law, J. (1986). *Mapping the Dynamics of Science and Technology: Sociology of Science in the Real World*. Palgrave Macmillan.
- Cebrián-Robles, D., España-Ramos, E. y Reis, P. (2021). Introducing preservice primary teachers to socioscientific activism through the analysis and discussion of videos. *International Journal of Science Education*, 43(15), 2457-2478.
- Chinchilla, I. (2020). *La ciudad de los cuidados: salud, economía y medioambiente*. Los Libros de la Catarata.
- Christodoulou, A., Levinson, R., Davies, P., Grace, M., Nicholl, J. y Rietdijk, W. (2021). The use of Cartography of Controversy within socioscientific issues-based education: students' mapping of the badger-cattle controversy in England. *International Journal of Science Education*, 43(15), 2479-2500.
- Conceição, T., Baptista, M. y Reis, P. (2019). La contaminación de los recursos hídricos como punto de partida para el activismo socio-científico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1-13.
- Evagorou, M. y Osborne, J. (2013). Exploring young students' collaborative argumentation within a socioscientific issue. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 209-237.
- Gilbert, J.K. y Justi, R. (2016). Models of Modelling. En J. K. Gilbert y R. Justi (Eds.), *Modelling-based Teaching in Science Education* (pp. 17-40). Springer International Publishing.

- Hadjichambis, A.C., Reis, P., Paraskeva-Hadjichambi, D., Činčera, J., Boeve-de Pauw, J., Gericke, N. y Knippels, M.-C. (Eds.). (2020). *Conceptualizing Environmental Citizenship for 21st Century Education*. Springer.
- Hodson, D. (2003). Time for action: Science education for an alternative future. *International journal of science education*, 25(6), 645-670.
- Hodson, D. (2011). *Looking to the Future*. Sense Publishers.
- Hodson, D. (2021). Going Beyond STS Education: Building a Curriculum for Sociopolitical Activism. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 20, 592-622.
- Innerarity, D. (2011). *La Democracia Del Conocimiento: Por Una Sociedad Inteligente*. Paidós.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Puig, B. (2012). Argumentation, Evidence Evaluation and Critical Thinking. En B. J. Fraser, K. Tobin y C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 1001-1015). Springer Netherlands.
- Ke, L., Sadler, T.D., Zangori, L. y Friedrichsen, P.J. (2021). Developing and Using Multiple Models to Promote Scientific Literacy in the Context of Socio-Scientific Issues. *Science & Education*, 30, 509-607. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00206-1>
- Ke, L., Zangori, L.A., Sadler, T.D. y Friedrichsen, P.J. (2021). Integrating Scientific Modeling and Socio-Scientific Reasoning to Promote Scientific Literacy. *En Socioscientific Issues-Based Instruction for Scientific Literacy Development* (pp. 31-54). IGI Global.
- Kuhn, D. (2019). Critical Thinking as Discourse. *Human development*, 62(3), 146-164.
- Latour, B. (2007). La cartographie des controverses. *Technology review*, 82-83.
- Legardez, A. y Simonneaux, L. (2006). *L'école à l'épreuve de l'actualité: enseigner les questions vives*. ESF.
- Lipman, M. (2016). *El lugar del pensamiento en la educación: Textos de Matthew Lipman*. Ediciones Octaedro.
- Marques, A.R. y Reis, P. (2017). Producción y difusión de vídeos digitales sobre contaminación ambiental. Estudio de caso: Activismo colectivo basado en la investigación. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 14(1), 215-226.
- Merchan, N.T. y Solbes, J. (2016). Contribuciones de una intervención didáctica usando cuestiones sociocientíficas para desarrollar el pensamiento crítico. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación*, 34(2), 43-65.
- Osborne, J., Pimentel, D., Alberts, B., Allchin, D., Barzilai, S., Bergstrom, C., Coffey, J., Donovan, B., Dorph, R., Kivinen, K., Kozyreva, A., Perkins, K., Perlmutter, S. y Wineburg, S. (2022). *Science education in an age of misinformation*. Stanford University. <https://t.ly/BaAZ>
- Puig, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2022). *Critical thinking in biology and environmental education facing challenges in a post-truth world*. Springer International Publishing AG.
- Puig, B. y Jiménez-Aleixandre, M.P. (2022). The Integration of Critical Thinking in Biology and Environmental Education. Contributions and Further Directions. En B. Puig y M.P. Jiménez-Aleixandre

- (Eds.), *Critical Thinking in Biology and Environmental Education: Facing Challenges in a Post-Truth World* (pp. 269-276). Springer International Publishing.
- Reis, P. (2014). Promoting students' collective socio-scientific activism: Teachers' perspectives. En *Activist science and technology education* (pp. 547-574). Springer.
- Ryder, J. (2011). Scientific inquiry: learning about it and learning through it. En E. Yeomans (Ed.), *Perspective on Education: Inquiry-Based Learning* (pp. 4-7). Welcome Trust.
- Simonneaux, L. (2014). Questions Socialement Vives and Socio-scientific Issues: New Trends of Research to Meet the Training Needs of Postmodern Society. En C. Bruguière, A. Tiberghien y P. Clément (Eds.), *Topics and Trends in Current Science Education: 9th ESERA Conference Selected Contributions* (pp. 37-54). Springer Netherlands.
- Solbes, J. y Torres, N. (2012). Análisis de las competencias de pensamiento crítico desde el abordaje de las cuestiones sociocientíficas: un estudio en el ámbito universitario. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 0(26), 247-269.
- Venturini, T., Ricci, D., Mauri, M., Kimbell, L. y Meunier, A. (2015). Designing Controversies and Their Publics. *Design Issues*, 31(3), 74-87.
- Yacoubian, H. A., y Hansson, L. (Eds.). (2020). *Nature of Science for Social Justice*. Springer.
- Yilmaz y Salman. (2022). Investigation of the Relationship Between Pre-service Teachers' Critical Thinking Dispositions and Attitudes Towards Socioscientific Issues/Öğretmen ... *E-International Journal of Educational Research*, 13(1), 203-219.
- Zafrani, E. y Yarden, A. (2017). Becoming a Science Activist: A Case Study of Students' Engagement in a Socioscientific Project. *Sisyphus-Journal of Education*, 5(3), 44-67.
- Zeidler, D.L. (2014). Socioscientific issues as a curriculum emphasis: Theory, research, and practice. En *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (pp. 711-740). Routledge.

Para seguir leyendo

- **Simonneaux, L. (2014). Questions Socialement Vives and Socio-scientific Issues: New Trends of Research to Meet the Training Needs of Postmodern Society. En C. Bruguière, A. Tiberghien y P. Clément (Eds.), Topics and Trends in Current Science Education: 9th ESERA Conference Selected Contributions (pp. 37-54). Springer: Netherlands.**

El capítulo presenta el marco francés de las Cuestiones Socialmente Vivas en educación, presentadas como cuestiones complejas y abiertas, en las que se destacan las incertidumbres inherentes a problemas mal estructurados relacionados con cuestiones sociocientíficas y de naturaleza controvertida. El capítulo desarrolla dos enfoques esenciales para abordar las cuestiones educativas a través de Cuestiones Socialmente Vivas: un enfoque socioepistemológico y un enfoque psicosocial. Además, se exploran las diferentes posiciones epistemológicas que pueden influir en la construcción de estrategias didácticas en el ámbito de problemas sociocientíficos.

• **Cebrián-Robles, D., España-Ramos, E. y Reis, P. (2021). Programa formativo sobre el activismo colectivo basado en la indagación para la formación inicial del profesorado. En D. Cebrián-Robles, A.J. Franco-Mariscal, T. Lupión-Cobos, C. Acebal-Expósito y Á. Blanco-López (Eds.), Enseñanza de las ciencias y problemas relevantes de la ciudadanía. Transferencia al aula (pp. 223–237). Graó.**

El trabajo presentado describe el diseño y la implementación de un programa formativo sobre activismo colectivo basado en la indagación científica para profesores de Educación Infantil y Primaria en formación inicial. El programa se enfoca en la resolución de problemas locales relevantes a través de la indagación científica y se divide en tres fases: 1) análisis de vídeo como modelo para desarrollar propuestas de solución de un problema; 2) identificación e indagación sobre problemas locales relevantes y su conexión con la ciencia; creación y proyección de vídeos.

Sitios Web recomendados

• **<https://qsv.encic.es>**

El objetivo principal del sitio web es proporcionar a la ciudadanía acceso a recursos que les permitan aumentar su conocimiento, comprensión y capacidad para analizar cuestiones socialmente vivas y participar en debates sobre estas cuestiones. Actualmente, la web dispone de cuatro cuestiones socialmente vivas como son el modelo dominante de producción y consumo de carnes y lácteos, cómo enfrentar la pandemia de la covid-19, los espacios para los cuidados en la ciudad y las aguas del Valle del Guadalhorce. No obstante, se anima a las personas visitantes a que puedan colaborar a través del sitio web y se espera que se convierta en un foro virtual para el debate y la discusión de cuestiones socialmente vivas.

CAPÍTULO 2

Las prácticas científicas y cuestiones sociocientíficas en el desarrollo del pensamiento crítico en la educación en Genética

Gimena B. Fussero¹ y Maricel Occelli²

¹Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Becaria doctoral SECyT. Universidad Nacional de Córdoba. ²Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba. CONICET.

gimenafussero@unc.edu.ar maricel.occelli@unc.edu.ar

Resumen

Este capítulo presenta cómo las prácticas científicas de modelización, argumentación e indagación pueden promover el desarrollo del pensamiento crítico de estudiantes cuando son incluidas en diferentes secuencias didácticas de Genética. Una de las maneras de introducir dichas prácticas científicas en los contextos educativos es a través de las cuestiones sociocientíficas, las cuales brindan al estudiantado situaciones en las cuales pueden cuestionar y analizar los conocimientos científicos aprendidos al tiempo que construyen otros. De esta manera, se contribuye a la alfabetización científica de las y los estudiantes para que se puedan desenvolver de manera crítica, activa y reflexiva en diferentes situaciones donde diversos conocimientos científicos estén implicados.

Introducción

Las propuestas curriculares de muchos países occidentales incluyen a las ciencias en sus currículos debido a que resulta necesario formar a la ciudadanía con herramientas que le permitan analizar situaciones y tomar decisiones sobre asuntos que involucren diferentes conceptos científicos, es decir, que se incluye a las ciencias en escenarios educativos con el propósito de brindar una alfabetización científica (Justi, 2006). Al respecto, la alfabetización científica requiere no sólo del conocimiento de conceptos y de teorías, sino también de las

prácticas científicas ya que permiten que las y los estudiantes se acerquen a los aspectos tanto epistémicos como los no epistémicos de la ciencia (García Carmona y Acevedo-Díaz, 2018; Jiménez-Aleixandre y Crujeiras Pérez, 2017). En este sentido, existe un amplio consenso en que la educación en ciencias debería ayudar al estudiantado a comprender los conocimientos científicos ya existentes y, una manera de lograrlo es haciendo que las y los estudiantes participen en actividades cognitivas, discursivas y sociales que les permitan desarrollar razonamientos, habilidades y argumentaciones propias de la ciencia por medio de las prácticas científicas (Jiménez-Aleixandre y Crujeiras Pérez, 2017; Osborne, 2014). Por prácticas científicas se entienden a aquellas utilizadas por la comunidad de investigadoras e investigadores para generar y evaluar el conocimiento donde confluyen aspectos epistémicos, cognitivos y socioculturales (Erduran y Dagher, 2014). En palabras de Osborne (2014), la enseñanza de las ciencias debe incluir la explicación de cómo sabemos lo que sabemos o por qué creemos lo que creemos, ya que contribuye al establecimiento de acuerdos científicos, de base epistémica, siendo este compromiso una de las principales contribuciones de la ciencia a la ciudadanía porque se promueve la racionalidad y el pensamiento crítico.

El pensamiento crítico puede ser conceptualizado como la capacidad de desarrollar una opinión argumentada sobre un determinado tópico científico, por lo que puede ser promovido en las aulas a través de las cuestiones sociocientíficas, las cuales requieren del análisis de diferentes argumentos y la toma de decisiones (Solbes, 2013a). Jiménez-Aleixandre y Puig (2022) realizaron una revisión histórica del concepto de pensamiento crítico y señalan la idea de considerar tanto los aspectos relacionados al juicio significativo/deliberado/intencionado como aquellos relacionados con la participación cívica y la justicia social. Al respecto, en muchos aspectos de la vida diaria, la ciudadanía tiene que tomar decisiones sobre cuestiones sociocientíficas como, por ejemplo, las relacionadas con ingeniería, tecnología o alimentación, basándose en sus conocimientos y en la información disponible (España y Prieto 2009).

En particular, la Genética cuenta con un gran desarrollo y repercusión social, principalmente en las últimas décadas, por lo que contar con conocimientos sobre este campo se convierte en prioritario para la alfabetización científica de la ciudadanía siendo reconocida como una de las bases conceptuales para la comprensión de la biología (Ruiz González et al., 2017).

Considerando lo anterior, en este capítulo se retomarán investigaciones donde las prácticas científicas de modelización, argumentación e indagación se incluyeron en secuencias didácticas que incorporan a cuestiones sociocientíficas relacionadas con la Genética para contribuir al desarrollo del pensamiento crítico.

Las prácticas científicas y el pensamiento crítico: El binomio PC en la enseñanza de las ciencias a través de cuestiones sociocientíficas

La participación en prácticas científicas, epistémicas y no epistémicas, requiere que las y los estudiantes pongan en juego procesos cognitivos y habilidades procedimentales, como así también conocimientos sobre la naturaleza de tales prácticas científicas (Duschl, 2008). Sin embargo, la participación en las prácticas científicas sólo tendrá valor si ayuda al estudiantado a desarrollar una comprensión más profunda y amplia de los constructos epistémicos y procedimentales que guían la práctica científica logrando una imagen más auténtica de la ciencia (Osborne, 2014). Sin desconocer las prácticas no epistémicas, las cuales se encuentran asociadas con los procesos sociales y contextos que determinan cómo el conocimiento es comunicado, representado, argumentado y debatido (García Carmona, 2020), en este capítulo se abordarán algunas prácticas científicas epistémicas. La actividad de la ciencia puede sintetizarse en tres prácticas globales: investigar, desarrollar explicaciones y evaluar, las cuales se asocian a tres prácticas científicas: modelización, argumentación e indagación (Crujeiras Pérez y Cambeiro, 2018; Jiménez-Aleixandre y Crujeiras Pérez, 2017). Se propone, entonces, generar situaciones escolares que incluyan las prácticas asociadas con la modelización, la argumentación y la indagación, del mismo modo en que se encuentran presentes en las actividades que cotidianamente realiza la comunidad científica, lo que promovería el desarrollo de la alfabetización científica y del pensamiento crítico (Osborne, 2014).

El pensamiento crítico es entendido como la capacidad de desarrollar una opinión independiente, adquiriendo la facultad de reflexionar sobre la sociedad y participar en ella. De este modo, el pensamiento crítico adquiere un carácter argumentativo y emancipatorio. El pensamiento crítico implica tener información sobre un determinado problema no limitándose a los discursos dominantes, sino conocer posturas alternativas y argumentadas para ser capaz de analizar las pruebas, considerando las dimensiones científicas, sociales, económicas y éticas (Jiménez-Aleixandre, 2010; Jiménez-Aleixandre y Evagorou, 2018). Ahora bien, para poder incluir al pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias se debería antes poder identificar y determinar cuáles con los procedimientos que este pensamiento involucra (Solbes, 2013a). Es así que se señala la capacidad de realizar elecciones razonadas y juicios fundamentados, la resolución de problemas, la argumentación y la evaluación de la credibilidad de las fuentes de información, entre otros (Halpern, 1998; Viera et al., 2010).

En este contexto, las cuestiones sociocientíficas toman relevancia ya que son un recurso recurrente tanto en la investigación didáctica como en las clases de ciencias que permiten el desarrollo del pensamiento crítico al requerir el análisis de diferentes argumentos y la toma de decisiones en función de las pruebas disponibles (Jiménez-Liso, Hernández-Villalobos y Lapetina, 2010). En este escenario, se propone que en las propuestas educativas se planteen contextos conflictivos que promuevan el desarrollo de habilidades para la toma de decisiones como la argumentación y la modelización (Jiménez-Aleixandre, 2010). Al respecto, desarrollar las capacidades argumentativas es relevante cuando existen posiciones controvertidas y

opuestas sobre un determinado tema científico que involucran distintos intereses como lo son las controversias sociocientíficas (Díaz y Jiménez-Liso, 2012). Entonces, poder argumentar requiere el análisis de las pruebas que sustentan a cada posición y se transforma en una condición para poder analizar críticamente una controversia sociocientífica.

Una controversia sociocientífica es entendida como una cuestión socialmente relevante, que tiene vínculos con la ciencia cuyas respuestas posibles son abiertas y complejas (Sadler, 2004). Por su parte, Díaz Moreno y Jiménez-Liso (2012) las definen como un asunto de opinión científico-tecnológico en el cual existe discrepancia entre los diversos actores sociales que participan en el proceso ya sea por desacuerdo, discusión o debate. Varias investigaciones ubican a las cuestiones sociocientíficas como espacios con diversas potencialidades para la enseñanza de las ciencias ya que posibilitan aprender sobre la ciencia y sobre sus bases epistémicas, analizar de manera crítica, argumentar y tomar decisiones para actuar en contextos y situaciones asociados con la ciencia (Sadler, 2011). Asimismo, favorecen una formación en aspectos éticos que se encuentran involucrados alrededor de un determinado dilema promoviendo el posicionamiento personal y la utilización de los modelos científicos implicados en el conflicto (España y Pietro, 2009; Jiménez-Aleixandre, 2010, Solbes, 2013a). Por consiguiente, para que las y los estudiantes puedan participar de los debates que implican diferentes cuestiones sociocientíficas, desde los espacios educativos se debería promover una concepción de ciencia como una actitud crítica, cuestionadora y autónoma, lo que permitiría el ejercicio de una ciudadanía participativa y fundamentada que podrá exigir justicia social y ética en las interacciones entre ciencia, tecnología y sociedad (Reis, 2021).

Esta visión crítica de la ciencia puede construirse a partir de instancias formativas en las cuales se desarrollen habilidades para analizar y tomar decisiones sobre asuntos donde se encuentren involucrados conceptos científicos (Justi, 2006). En el caso de la biología, este aspecto es especialmente importante ya que muchos de los interrogantes a los cuales se enfrentarán las y los estudiantes durante su vida se encontrarán relacionados con cuestiones biológicas de gran impacto social. Como ejemplo podemos nombrar el contexto generado por la pandemia causada por el virus SARS-CoV-2 y la posterior vacunación como principal herramienta sanitaria (Reiss, 2018). Por lo tanto, es fundamental trabajar la argumentación, y otras prácticas científicas, como herramienta para alcanzar el pensamiento crítico del alumnado frente a temáticas controvertidas y socialmente relevantes tanto desde el punto de vista individual como colectivo.

Prácticas científicas epistémicas

Considerar las prácticas científicas en la educación en ciencias es un enfoque que se viene trabajando desde las últimas décadas promoviendo el desarrollo de diferentes investigaciones en torno a la modelización (Gilbert y Justi, 2016), argumentación (Erduran y Jiménez-Aleixandre 2007) e indagación (Bybee, 2006). Es por ello que a continuación se presenta una breve conceptualización y descripción de la modelización, la argumentación

y la indagación a fin de brindar un marco de referencia para un mejor entendimiento de las próximas secciones.

Modelización

Las y los didactas de las ciencias vienen trabajando desde distintas perspectivas y posicionamientos para que la modelización científica sea incluida en las aulas (Gilbert y Justi, 2006). Oliva (2019) define a la modelización como un conjunto de conocimientos, metaconocimientos, destrezas y valores epistémicos necesarios para llevar a cabo la tarea de modelizar (utilizando, construyendo, revisando y evaluando modelos al tiempo que se comprende su valor, su utilidad, su carácter cambiante y sus limitaciones). Por su parte, Ageitos, Puig y Calvo-Peña (2017) sostienen que la modelización consiste en explicar diferentes fenómenos naturales mediante modelos. Estos enfoques de modelización parten de la idea de que los modelos son el núcleo central en torno al que se genera el conocimiento científico y escolar (Adúriz-Bravo, 2013). Por este motivo, involucrar a las y los estudiantes en la práctica de la modelización no sólo les permite comprender determinados fenómenos y/o conceptos científicos, sino que también les posibilita desarrollar una forma de metaconocimientos sobre la ciencia, es decir, un conocimiento acerca de cómo se construye el conocimiento científico (Osborne, 2014).

Argumentación

Argumentar consiste en ser capaz de evaluar enunciados en base a evidencias. Implica reconocer que las conclusiones y las afirmaciones deben estar sustentadas en pruebas (Jiménez-Aleixandre, 2010). Por su parte, Erduran y Jiménez-Aleixandre (2007) y Ageitos, Puig y Calvo-Peña (2017) entienden a la argumentación como un tipo de discurso a través del cual se construyen enunciados tanto de forma individual como colectiva y se evalúan en base a pruebas. Se trata de otra de las prácticas científicas que promueve aprendizajes significativos de conceptos científicos y del metaconocimiento de la ciencia. Las actividades que implican a esta práctica se constituyen en herramientas que favorecen la construcción de explicaciones, modelos y teorías (Osborne, 2014). En resumen, la importancia de la argumentación en la enseñanza de las ciencias implica tanto aprender ciencia como aprender a hacer ciencia (Duschl, 2008).

Indagación

Una comprensión funcional de la naturaleza de la ciencia también requiere que las y los estudiantes sean capaces de planificar y realizar investigaciones, es decir que puedan llevar a cabo una indagación (Osborne, 2014). La indagación científica es una dimensión relevante

en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias porque requiere que el estudiantado utilice el conocimiento teórico junto con destrezas y actitudes científicas y sociales para resolver determinados problemas (Crujeiras Pérez y Jiménez-Aleixandre, 2015; Jiménez-Aleixandre y Evagorou, 2018). Existen diferentes acepciones respecto al término indagación, pero en definitiva la indagación implica el diseño y la puesta en marcha de un determinado experimento y el análisis de los datos obtenidos (Ageitos, Puig y Calvo-Peña, 2017). También puede entenderse como un proceso de construcción de significados y de modelos donde se diseñan procedimientos y se construye nuevo conocimiento que luego es comunicado a otras personas (Muñoz-Campos et al., 2020). Como existen diferentes acepciones sobre el término, también existen diferentes enfoques para proponer la indagación en las aulas. Sea cual sea el enfoque, involucrar al estudiantado en prácticas de indagación implica su participación en prácticas discursivas y de razonamiento científico (Reiser et al., 2001).

La enseñanza de la Genética y su contexto

En el campo de la Genética, en los últimos años, se dieron continuos avances que no sólo la transformaron como ciencia, sino que también tuvieron importantes impactos sociales (Ageito, Puig y Calvo-Peña, 2017). En particular, desde la segunda mitad del siglo XX, tras el descubrimiento de la estructura 3D del ADN, los aspectos moleculares de la Genética ocupan un lugar central en las investigaciones alrededor de esta ciencia. Sin embargo, dentro del currículum en la escuela secundaria no tiene tal relevancia (Marbach-Ad, Rotbain y Stavy, 2008). En este contexto, un gran flujo de información proveniente de los medios de comunicación se expande en la sociedad ofreciendo información sobre diferentes áreas de la biología y de la Genética con distintos grados de rigurosidad. En este escenario, sólo a través de una formación científica las personas podrán discernir entre la información científicamente válida y la no válida para tomar decisiones críticas al respecto, por ejemplo, en lo que refiere a temas de salud en los que se encuentre implicada la Genética (Ageitos, Puig y Calvo-Peña, 2017).

Algunas temáticas que surgen como interrelaciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) y que toman protagonismo en los medios de comunicación, involucran a la Genética como lo son la tecnología del ADN recombinante, los alimentos modificados genéticamente por medio de transgénesis, el clonado de órganos y organismos, el empleo de células madre, la detección y el tratamiento de enfermedades, los fármacos derivados de tecnologías genéticas, la epigenómica, la edición génica, entre otros (Ruiz González, Banet y Banet, 2017).

Esta explosión tecnológica de la Genética contrasta con el tratamiento que estos aspectos suelen recibir en el currículum de la educación secundaria (Domènech-Casal, 2017). En este marco, es donde los diseños curriculares y las prácticas educativas deben adecuarse a la realidad en la que viven las y los estudiantes para que puedan tomar decisiones críticas y razonadas sobre situaciones que involucran conceptos científicos (Ageitos, Puig y Calvo-Peña, 2017).

La modelización, la argumentación y la indagación en el aprendizaje de la Genética a través de cuestiones sociocientíficas

Fussero y Occelli (2022) realizaron una investigación integrando a la modelización y a la programación en el aprendizaje de la Ingeniería Genética. Plantearon el diseño de una secuencia didáctica en torno a la construcción de insulina recombinante en la cual incluyeron las interacciones entre diferentes factores causales y ambientales en el desarrollo de la diabetes con el propósito de evitar el determinismo biológico. Para ello se le presentó al estudiantado diferentes escenarios referidos a personajes hipotéticos que tenían diferentes tipos de diabetes y a la vez sus estilos de vida diferían en torno a su alimentación y a la realización de actividad física. Respecto a los hábitos de los personajes se les solicitó a las y los estudiantes que señalaran si algún hábito debería ser modificado y en el caso de ser positiva su respuesta que indicaran cuáles cambiarían. Un gran porcentaje de las respuestas mostraron que tanto los hábitos respecto a la alimentación como al ejercicio físico debían ser modificados y además se especificó qué hábito debía cambiar cada personaje. De manera complementaria se aprovechó para averiguar los conocimientos del estudiantado respecto al componente hereditario de la diabetes. Si bien se siguen observando explicaciones que consideraban a la diabetes como una enfermedad hereditaria, y de hecho esta enfermedad contiene un componente de este tipo, en otras se consideran que es posible que no se herede, lo que inclina a dichas explicaciones hacia la epigenética, lo cual coincide con el posicionamiento actualmente vigente y aceptado por la comunidad científica. Este tipo de actividades donde se consideran las interacciones entre diferentes niveles de organización biológica se promueven representaciones menos simplistas o centradas en un determinismo genético.

Solbes (2013b) planteó una serie de ejemplos para incluir el pensamiento crítico en las aulas. Uno de los ejemplos retomaba al determinismo biológico bajo la premisa ¿Está en los genes? La dinámica de la propuesta consistía en plantearles a las y los estudiantes una serie de ideas sobre las cuáles debían luego emitir una opinión. Una de las afirmaciones propuestas indicaba *“Hay muchos alumnos que “no pueden” debido a sus limitaciones intelectuales, y otro que “no quieren” debido a problemas de carácter, de personalidad. En el fondo se trata de problemas en gran parte de origen familiar y genético”*. La expresión anterior encuentra su apoyo en los discursos que legitiman a las desigualdades (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2010). Al respecto, varios investigadores como Gould (2011), Lewontin, Rose y Kamis (2009) realizaron sólidas críticas al determinismo biológico encontrando que una gran cantidad de los resultados que se sostienen desde estas visiones reduccionistas violan los cánones de la objetividad científica. Sumado a lo anterior se podrían agregar aspectos relacionados con la epigenética que aportan para pensar la herencia considerando múltiples aspectos y que se apartan de las concepciones deterministas. Las actividades anteriormente descritas no sólo retoman una cuestión sociocientífica que tiene implicancias sociales, principalmente, sino que el estudiantado para poder comprenderlas tuvo que poder argumentar en base a evidencias.

Ageitos, Puig y Calvo-Peña (2017) consideraron las diferentes dificultades que se presentan para aprender Genética y propusieron la modelización para promover la comprensión de los mecanismos involucrados en el modelo de expresión de los genes, entendido este como una interacción entre genes y factores ambientales (Lewontin, Rose y Kamin, 2009). Realizaron el diseño de una secuencia didáctica para comprender algunas enfermedades humanas que tienen un componente genético (anemia falciforme y cáncer de mama, por ejemplo) incluyendo las prácticas científicas de modelización y argumentación para desarrollar la capacidad de tomar decisiones críticas y razonadas en torno al diagnóstico de enfermedades genéticas. Los principales resultados de su investigación señalan que las y los estudiantes lograron explicar el modelo de expresión de genes observándose así las potencialidades de utilizar la argumentación y la modelización en el aprendizaje de la Genética, en particular, en el caso de las enfermedades con un componente genético, las cuales deben ser entendidas para poder tomar luego futuras decisiones.

Por su parte, Domenèch-Casal (2017) planteó un marco didáctico para facilitar que tanto docentes como estudiantes trabajen con cuestiones sociocientíficas. La estructura de la propuesta didáctica (*CSCFrame*) implicó la presentación de la situación (dilema), la lectura colaborativa de textos relacionados con la misma donde las y los estudiantes debían consensuar algunos términos, el debate, la escritura individual de un ensayo y la evaluación del mismo (la que implicaba primero una evaluación entre pares y luego una evaluación realizada por la docente). Considerando la estructura anterior, se plantearon dos situaciones: una en torno al determinismo biológico y otra en relación con los organismos transgénicos que implican el entendimiento de modelos científicos clave para la alfabetización científica como lo son la expresión de los genes y las enfermedades genéticas. Los principales resultados indican que la propuesta promovió la “cientifización” de los ensayos desarrollándose las habilidades de razonamiento científico y argumentación. Sin embargo, algunos hallazgos evidenciaron cierta resistencia de las y los estudiantes para cambiar su posicionamiento inicial a pesar de las pruebas aportadas que se contradecían con su postura inicial (Jiménez-Aleixandre y Evagorou, 2018).

En relación con la formación docente, Cinini (2016) presentó el rol de la argumentación en torno a la construcción del conocimiento científico. En concreto, consideró situaciones en donde se debían poner en juego la percepción del riesgo de los organismos transgénicos. Estos organismos tienen un alto valor para trabajar desde cuestiones sociocientíficas ya que implican la interacción de cuestiones económicas, sociales, ecológicas y biotecnológicas. Para ello, diseñó una secuencia didáctica en tres fases donde se proponía debatir y luego construir decisiones compartidas en torno a los organismos transgénicos. Los principales hallazgos indican que mientras más se comprenda la obtención de los organismos transgénicos se desarrolla una percepción de riesgo científicamente más equilibrada. Lo anterior indica que la comprensión respecto de cómo se construye el conocimiento científico puede contribuir a desarrollar una habilidad para analizar y examinar los pros y contras de una determinada cuestión sociocientífica en profesores en formación. En ese sentido, la contextualización de los aprendizajes enfocados en las necesidades de la formación docente y la construcción de comunidades de práctica que involucren a los diferentes agentes educativos permitirá el

desarrollo de competencias profesionales proporcionando una estructura que promueva el desarrollo individual, colectivo y por tanto la transformación social (Reis, 2021).

En suma, aprender ciencias implica la participación de las y los estudiantes en los objetivos relacionados respecto a cómo se construye el conocimiento científico, haciéndoles participar en prácticas científicas como la modelización, la argumentación y la indagación de una manera similar a cómo esas prácticas se desarrollan en la comunidad científica (Jiménez-Aleixandre y Crujeiras Pérez, 2017).

Reflexiones finales

El contexto social y ambiental que estamos atravesando ponen de manifiesto la relevancia de la educación científica (Reis, 2021). En este escenario, se retoma el interrogante planteado por Osborne (2014) ¿Cómo mejorará la enseñanza de las ciencias el hecho de pedir a las y los estudiantes que participen de diferentes prácticas científicas? La clave está en promover todas las dimensiones de la actividad científica de una manera explícita, mediante la formulación de objetivos de aprendizaje específicos y el diseño de actividades escolares claramente orientadas a ello donde se encuentren en equilibrio las metas conceptuales, epistémicas y de aprendizaje social (Duschl, 2008; García Carmona, 2020). En el caso particular de la biología, significa ir más allá del aprendizaje de teorías y conceptos hacia una participación de las prácticas a través de las cuales se construye el conocimiento biológico incluyendo las metodologías críticas utilizadas por la comunidad científica que permiten luego identificar un pensamiento crítico y científico (Jiménez-Aleixandre y Evagorou, 2018; Solbes 20313a). En relación con la Genética en particular, comprender los principales conceptos y mecanismos que la sostienen significa empoderarse en pos de poder decidir de manera emancipada, de opinar de manera independiente, de participar con una actitud cuestionadora de conflictos comunitarios, es decir, de poder desarrollar una autonomía intelectual.

Las controversias sociocientíficas de la biología, como la IG, tienen una fuerte carga emocional que puede influir al momento de construir el pensamiento crítico (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2022). Por lo tanto, incluir este tipo de situaciones es ideal para promover el pensamiento crítico, para empoderarse y tener una participación activa en las situaciones que afecten la cotidianidad de la comunidad y contribuir de forma activa e informada en contextos sociales y ambientales (Reis, 2021). En definitiva, el desafío radica en la formación de personas, garantizando el desarrollo de saberes para que puedan desenvolverse plena y sustentablemente en el mundo.

Referencias bibliográficas

- Adúriz-Bravo, A. (2013). A semantic view of scientific models for science education. *Science y Education*, 22(7), 1593-1611. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9431-7>
- Ageitos Prego, N., Puig, B. y Calvo-Peña, X. (2017) Trabajar genética y enfermedades en secundaria integrando la modelización y la argumentación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 86-97. http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i1.07<http://reuredc.uca.es>
- Bybee, R.W. (2006). Scientific inquiry and science teaching. En L.B. Flick, N.G. Lederman (eds.), *Scientific inquiry and nature of science* (1-14). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5814-1_1
- Cinici, A. (2016) Balancing the pros and cons of GMOs: socio-scientific argumentation in pre-service teacher education, *International Journal of Science Education*, 38(11), 1841-1866. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1220033>
- Crujeiras Pérez, B.I. y Jiménez-Aleixandre, M.P. (2015). Desafíos planteados por las actividades abiertas de indagación en el laboratorio: articulación de conocimientos teóricos y prácticos en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 63-84. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1469>
- Crujeiras Pérez, B.I. y Cambeiro, F. (2018). Una experiencia de indagación cooperativa para aprender ciencias en educación secundaria participando en las prácticas científicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(1), 1200-1209. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1201
- Díaz Moreno, N. y Jiménez-Liso, M.R. (2012). Las controversias sociocientíficas: temáticas e importancia para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 54-70. http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2012.v9.i1.04
- Duschl, R.A. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32, 268-291. <http://doi.org/10.3102/0091732X07309371>
- Domenèch-Casal, J. (2017). Propuesta de un marco para la secuenciación didáctica de Controversias Socio-Científicas. Estudios con dos actividades alrededor de la genética. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 601-620. http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i3.07
- Erduran, S. y Dagher, Z.R. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education. Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories. Contemporary Trends and Issues in Science Education*. Springer: Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9057-4_1
- Erduran, S. y Jiménez-Aleixandre, M.P. (2007). *Research in argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*. Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6670-2_1
- España, E. y Prieto, T. (2009). Educar para la sostenibilidad: el contexto de los problemas sociocientíficos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 345-354. http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i3.03

- Fussero, G.B. y Occelli, M. (2022). Construcción de modelos de Ingeniería Genética a través de la programación con Scratch. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(2), 2802. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i2.2802
- García-Carmona, A. (2020). Prácticas no-epistémicas: ampliando la mirada en el enfoque didáctico basado en prácticas científicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 108. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1108
- García-Carmona, A. y Acevedo-Díaz, J.A. (2018) The nature of scientific practice and science education. *Science & Education*, 27(6), 435–455. <http://doi.org/10.1007/s11191-018-9984-9>
- Gilbert, J.K. y Justi, R. (2016). *Modeling-based teaching in science educations*. Switzerland: Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3>
- Gould, S.J. (2011). *La falsa medida del hombre*. Barcelona: Crítica.
- Halpern, D. (1998). Teaching critical thinking for transfer across domains. *American Psychologist*, 53(4), 449-455. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.53.4.449>
- Jiménez-Aleixandre, M.P. (2010). *10 Ideas Clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. y Crujeiras Pérez, B.I. (2017). Epistemic Practices and Scientific Practices in Science Education. En K.S. Taber, B. Akpan (Eds.) *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education* (69-80). Rotterdam: Sense Publishers. http://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_5
- Jiménez-Aleixandre, M.P. y Evagorou, M. (2018). Argumentation in Biology Education. En *Teaching Biology in Schools*, (249-262). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315110158-20>
- Jiménez-Aleixandre, M.P. y Puig, B. (2010). Argumentación y evaluación de explicaciones causales en ciencias: el caso de la inteligencia. *Alambique*, 63, 11-19.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. y Puig, B. (2022). Educating Critical Citizens to Face Post-truth: The Time Is Now. En Puig, B., Jiménez-Aleixandre, M.P. (eds.), *Critical Thinking in Biology and Environmental Education. Contributions from Biology Education Research* (3-20). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92006-7_1
- Jiménez-Liso, M.R., Hernández-Villalobos, L. y Lapetina, J. (2010). Dificultades y propuestas para utilizar las noticias científicas de la prensa en el aula de ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 107-126. http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2010.v7.i1.07
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3798>
- Lewontin, R.C., Rose, S. y Kamis, L.J. (2009). *No está en los genes*. Barcelona: Grijalbo.
- Marbach-Ad G., Rotbain Y. y Stavy R. (2008) Using computer animation and illustration to improve High School students' achievement in Molecular Genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(3), 273-292. <http://doi.org/10.1002/tea.20222>

- Muñoz-Campos, V, Franco-Mariscal, A.J. y Blanco-López, A. (2020). Integración de prácticas científicas de argumentación, indagación y modelización en un contexto de la vida diaria. Valoraciones de estudiantes de secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(3), 320101-320121. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i3.3201
- 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. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 25, 177-196. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Reis, P. (2021). Desafios à Educação em Ciências em Tempos Conturbados. *Ciência & Educação*, 27, 1-9. <https://doi.org/10.1590/1516-731320210000>
- Reiss, M.J. (2018). Worldviews in Biology Education. En K. Kampourakis, M.J. Reiss (Eds.) *Teaching Biology in Schools. Global Research, Issues and Trends* (pp. 263-274). Nueva York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315110158>
- Reiser, B.J., Tabak, I., Sandoval, W.A., Smith, B.K. Steinmuller, F. y Leone, A.J. (2001). BGuILE: Strategic and conceptual scaffolds for scientific inquiry in biology classrooms. *Cognition and instruction: Twenty-five years of progress*, 263-305.
- Ruiz C., Banet E. y López-Banet L. (2017). Conocimientos de estudiantes que inician el Bachillerato sobre nociones básicas de Genética y aplicaciones de la Biotecnología. *Enseñanza de las Ciencias*, N° extra, 1421-1428. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1102
- Sadler, T.D. (2011). *Socioscientific issues in the classroom*. Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1159-4_16
- Sadler, T.D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513-536. <https://doi.org/10.1002/tea.20009>
- Solbes, J. (2013a). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (I): Introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(1), 1-10, 2013. <https://doi.org/10.498/14993>
- Solbes, J. (2013b). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (II): Ejemplos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(2), 171-181, 2013. <https://doi.org/10.498/15113>
- Vieira, M.R., Tenreiro-Vieira, C. y Martins, E. (2010). Pensamiento crítico y literacia científica. *Alambique*, 65, 96-104.

Para seguir leyendo

- **Lewontin, R.C., Rose, S. y Kamis, L.J. (2009). *No está en los genes*. Barcelona: Grijalbo.**

En este libro, Lewontin, Rose y Kamis realizan un análisis minucioso del papel de las ideologías en las ciencias. En él se realizan críticas al determinismo biológico y a la sociobiología.

- **Lederman, N.G., Antink, A. y Bartos, S. (2014). *Nature of science, scientific inquiry, and socio-scientific issues arising from genetics: A pathway to developing a scientifically literate citizenry*. *Science & Education*, 23, 285-302. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9503-3>**

En este trabajo Lederman, Antink y Bartos presentan una investigación donde se articulan la naturaleza de la ciencia, la indagación y las cuestiones sociocientíficas en torno a la Genética.

- **Maguregi González, G., Uskola Ibarluzea, A. y Burgoa Etxaburu, M.B. (2017). *Modelización, argumentación y transferencia de conocimiento sobre el sistema inmunológico a partir de una controversia sobre vacunación en futuros docentes*. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 29-50. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2237>**

En esta investigación, Maguregi González, Uskola Ibarluzea y Burgoa Etxaburu utilizaron las controversias sociocientíficas en torno a la vacunación para trabajar desde las prácticas de la modelización y de la argumentación.

- **Muñoz-Campos V, Franco-Mariscal A.J. y Blanco-López A. (2020) *Integración de prácticas científicas de argumentación, indagación y modelización en un contexto de la vida diaria. Valoraciones de estudiantes de secundaria*. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(3), 3201. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020.v17.i3.3201**

En este artículo Muñoz-Campos, Franco-Mariscal y Blanco-López presentan una investigación que integra el desarrollo de prácticas científicas en el contexto cotidiano de las y los estudiantes.

Sitios Web recomendados

- <https://biblioguias.unex.es/>

Servicio de Bibliotecas. Universidad de Extremadura. En este repositorio se encuentra una gran diversidad de materiales como libros, bases de datos, recursos multidisciplinares, app, entre otros en torno a la Genética.

- <https://www.eurogems.org/educacioacuten-secundaria.html>

ESHG. Esta página contiene un amplio rango de recursos educativos destinados a profesores de escuela secundaria.

- <https://genotipia.com/>

Genotipia. Se trata de un blog de divulgación sobre Genética médica donde a través de diferentes secciones se puede acceder casos con potencialidades para incluir en la enseñanza de la Genética.

CAPÍTULO 3

Articulación y transformación de sesgos cognitivos y obstáculos epistemológicos a través del pensamiento crítico sobre problemáticas sociocientíficas

Cristián Ledezma Carvajal¹, Gonzalo M.A. Bermudez^{2,3} y Florencia D'Aloisio²

¹Doctorando en Educación en Ciencias Básicas y Tecnología

²Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

cristian.ledezmac@gmail.com; gbermudez@unc.edu.ar; fdaloisio@unc.edu.ar

Resumen

En el presente escrito, nos proponemos inicialmente describir el papel de los sesgos cognitivos y los obstáculos epistemológicos en estudiantes de nivel secundario durante los procesos sociocognitivos en el área de ciencias, en pos de comprender la manera en que éstos pueden resultar obturadores del pensamiento científico. A continuación, analizaremos la metacognición como variable y entidad didáctica para la transformación de los modelos intuitivos de las y los estudiantes, para luego relacionar este elemento de reflexión explícita con el desarrollo del pensamiento crítico en contextos situados de educación secundaria. Finalmente, proponemos una estrategia didáctica enmarcada en la modelización científica de humedales en contextos educativos extracurriculares orientados a incluir al estudiantado en prácticas científicas desafiantes, problematizadoras y transformadoras para su aprendizaje, y que signifiquen un aporte para la enseñanza y la sociedad.

Introducción

La incorporación de las prácticas científicas en el aprendizaje de las ciencias implica propiciar espacios y actividades para que los y las estudiantes puedan abordar procesos significativos sobre el estudio de fenómenos o de problemáticas cercanos a su entorno social y ambiental. En este sentido, las *problemáticas sociocientíficas* son aquellas

controversias sociales que emergen y se vinculan con la ciencia (Díaz Moreno y Jiménez-Liso, 2012) y suscitan conflictos por las discrepancias existentes entre actores sociales sobre los impactos o decisiones de índole política, ética, ambiental, etc. que debieran tomarse (Solbes Matarredona, 2013). La inclusión de controversias sociocientíficas (CSC) en instancias de enseñanza y aprendizaje escolar permite abordar actividades relativas al desarrollo del quehacer científico. Sin embargo, para que las CSC propicien un clima motivacional no sólo se requiere el planteamiento de objetivos claros y específicos como expectativa de logro de las y los estudiantes sino, además, considerar aspectos propios de la estructura de la actividad de aprendizaje, por ejemplo: comenzar valorando las concepciones alternativas del estudiantado a través de la indagación de saberes y experiencias cotidianas, para luego proponer estrategias contingentes que permitan construir conocimientos significativos y útiles (National Research Council, 2012). También sería deseable identificar aquellos recursos prácticos y resolutivos con los que cuenta el estudiantado para obtener de manera fácil la(s) respuesta(s) a la(s) problemática(s) con las que se ve enfrentado diariamente. Estos recursos pueden ser considerados atajos mentales o heurísticos que sólo involucran aspectos intuitivos de fácil acceso, habilitan decisiones sencillas con niveles mínimos de esfuerzos y se expresan mediante respuestas espontáneas caracterizadas por su rapidez y automaticidad (González Galli, 2019; Pozo, 1999). De esta manera, los atajos mentales conducen al surgimiento de sesgos cognitivos que motivan decisiones erráticas, alejadas de procesos de pensamiento reflexivo y racionalizado.

Con relación a las concepciones alternativas y las diferencias de los modelos mentales estudiantiles en el aprendizaje en el área de las ciencias, Bachelard (2000) reconoce la incidencia de obstáculos epistemológicos, elementos que entorpecen, y confunden el procesamiento del conocimiento, interpretación y comprensión del estudiante sobre cuestiones de dominio científico. Además, los obstáculos representan una forma de conocimiento arraigada, altamente funcional, lo que vuelve dificultosa su transformación a lo largo de la escolaridad (Astolfi, 2004). En este contexto, desde el dominio de la metacognición se reconoce la necesidad de comenzar valorando concepciones alternativas de los estudiantes, ya que ello permitiría gestionar el pasaje de dichos obstáculos a un aprendizaje explícito con ideas razonadas y juicios justificados. Sin embargo, aún resta reconocer aquellas posturas y creencias de distintos grupos sociales y que pueden constituir modelos de pensamiento obstaculizadores o sesgos cognitivos tan necesarios de vigilar (Pérez y González Galli, 2020; Pozo, 1999).

En el presente capítulo, comenzaremos profundizando sobre el *pensamiento crítico*, una forma de razonamiento que integra diversos factores de análisis, contrastación de ideas y diálogos argumentados, los que posibilitan a los y las estudiantes tomar decisiones a partir de procesos reflexivos de manera argumentada sobre cuestiones sociales, culturales y científicas de su entorno o fenómeno de interés. Luego, detallaremos algunos elementos que permiten definir y describir *sesgos cognitivos* y *obstáculos epistemológicos* como elementos subyacentes a los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias básicas. En esta línea, ejemplificaremos algunos tipos de construcciones mentales de los y las estudiantes durante el desarrollo unidades temáticas en clases de ciencias. Posteriormente, analizaremos la

transformación de los obstáculos epistemológicos hacia nuevas concepciones científicas a través de habilidades metacognitivas, nodales para el conocimiento y control de los propios procesos de pensamiento y aprendizaje (Pérez y González Galli, 2020). Finalmente, presentaremos una propuesta didáctica metacognitiva de enseñanza y aprendizaje para abordar los *sesgos cognitivos y obstáculos epistemológicos* en el proceso de modelización científico escolar en contextos extracurriculares sobre humedales urbanos.

¿Por qué es necesario el pensamiento crítico?

En el modelo de organización social del presente siglo, ya no sólo interesa que sus integrantes sean capaces de adquirir y reproducir conocimientos sino que también se valora la integración de habilidades, procesos y contextos reflexivos que implican dimensiones del pensamiento más complejos. Asimismo, las diversas dinámicas sociales ofrecen escenarios de actuación cada vez más exigentes, creativos e innovadores (Benavides y Ruíz, 2022). Siguiendo a estos autores, ello ha configurado un contexto para que la sociedad, en específico las instituciones educativas, deban reorientar el enfoque curricular hacia entornos de aprendizaje que propicien *habilidades cognitivas superiores* (la creatividad, el procesamiento de la información de nivel complejo y el pensamiento crítico y la resolución de problemas) para que cada individuo pueda dominar, transformar y utilizar el conocimiento para actuar ante problemas reales, al tiempo que signifique una experiencia valiosa en sus experiencias educativas, laborales y cotidianas. En este sentido, si bien el pensamiento crítico es señalado como una de las habilidades cognitivas superiores esenciales y demandadas en el ámbito laboral y educacional, se estima que es una de las más difíciles de ser alcanzadas ya que no goza de un espacio relevante en el marco curricular del sistema educacional vigente (Contero y Novella, 2021).

¿Qué involucra pensar críticamente en las prácticas científicas y educativas contemporáneas?

Lipman (2003) diferencia dos dimensiones del pensamiento: la *ordinaria* y la crítica. La primera se sitúa dentro de una forma de pensamiento simple alejada de cualquier estructura formal o de contenido. Respecto a la segunda, coincide con Naseri et al. (2017) en concebirla como un proceso de pensamiento complejo, sistemático y objetivo que involucra creatividad, metacognición, argumentación, resolución de problemas y reflexión, y que posibilita a las personas analizar, evaluar y tomar decisiones a partir de diálogos y juicios razonados (Alwehaibi, 2012). Con respecto a esta segunda dimensión, González Galli (2019) y Solbes Matarredona (2013) comparten la comprensión del pensamiento crítico como un proceso objetivo para analizar la información y tomar decisiones razonables a través de procesos que involucran habilidades intelectuales complejas y procedimentales. Para ello, el individuo debe articular herramientas argumentativas que le permitan recopilar,

interpretar y evaluar la información con el objeto de cuestionar de forma reflexiva sobre las actividades en las que participa y con ello desarrollar una opinión independiente en torno a problemáticas sociales, científicas y tecnológicas (Crujeiras Pérez et al., 2020; Ruiz et al., 2013). Para Ennis (2018) las dimensiones del pensamiento crítico son, a su vez, tres: lógica (es razonable si está alejado de la arbitrariedad), *criterial* (es un pensamiento reflexivo que analiza en función de fundamentos razonados) y *pragmática* (se basa en la comprensión del juicio razonado para tomar decisiones y transformar el entorno).

Con respecto a la incorporación y desarrollo del pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias, algunos autores (González Galli, 2019; Pérez et al., 2021; Pérez y González Galli, 2020) señalan que se requiere considerar ciertos criterios que tienen como objetivo ampliar el significado de las ciencias naturales desde el alcance técnico propio de cada disciplina, involucrando aspectos culturales, históricos, ideológicos y socioafectivos. Ello no se da sin dificultades, ya que en el desarrollo del pensamiento crítico gravitan elementos propios de los sistemas educativos, tales como el dominio de cada docente sobre la práctica del pensamiento crítico, el diseño e implementación de principios de enseñanza y aprendizaje para pensar de manera crítica, cuestionar fenómenos del entorno y otorgar soluciones creativas a problemas reales. Por otro lado, dado su carácter intersubjetivo, el pensamiento crítico está atravesado por factores sociales, culturales, educativos y psicológicos que condicionan o inciden en el sujeto y su toma de decisiones (González Galli, 2019). Por tanto, estos factores podrían obstaculizar en una primera instancia la elaboración de modelos de pensamiento crítico y constituirse en sesgos cognitivos o epistemológicos que requerirían ser atendidos en las prácticas de enseñanza.

Sesgos cognitivos y obstáculos epistemológicos como elementos subyacentes del proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias básicas

La psicología del aprendizaje de enfoque constructivista considera que los *sesgos cognitivos y obstáculos epistemológicos* son aquellos elementos que, desde la experiencia resolutoria del individuo, guían el funcionamiento del pensamiento de manera no consciente o en un modo “intuitivo” en el proceso de la elaboración de conceptos. Ello incluye a las concepciones alternativas, que pueden interpretarse como *representaciones* generadas por procesos cognitivos implícitos y basados en reglas asociativas e inductivas que, metodológicamente, difieren de forma significativa del quehacer del mundo científico (Pozo, 1999; Pozo Muncio y Gómez Crespo, 2009). Oliva Martínez (2003) señala que las concepciones alternativas corresponden a las ideas de los y las estudiantes sobre fenómenos científicos que les permiten comprenderlos y darles sentido. Asimismo, el autor plantea que si bien se caracterizan por ser elaboraciones personales del individuo en relación a su experiencia vivida con el mundo, estas concepciones alternativas tienen notable persistencia en la progresión a procesos de pensamiento más complejos.

Con respecto a los *sesgos cognitivos*, Pozo Municio y Gómez Crespo (2009) señalan que corresponden a mecanismos de procesamiento cognitivo no racionales ni intencionales, imprescindibles para la elaboración de decisiones. En este sentido los autores proponen que los individuos toman sus decisiones con base en “atajos cognitivos” para ciertos contextos. Para González Galli (2019), estos atajos implican sesgos cognitivos debido a que están sujetos a predisposiciones psicológicas que operan de manera automática o por una vía de pensamiento no consciente, obturando el aprendizaje y la toma de decisiones. Por lo tanto, estos elementos condicionan la evolución de los modelos mentales iniciales así como la integración de elementos nuevos de aprendizaje, ya sea conocimientos específicos como habilidades científicas (Pérez et al., 2021; Pérez y González Galli, 2020).

Investigaciones del campo de la enseñanza de las ciencias han otorgado relevancia a los sesgos cognitivos como formas presurosas e intuitivas de pensamiento que, en principio, pueden guiar y colaborar en la construcción de aprendizaje significativo (Duit, 2007). Estas formas de procesamiento del pensamiento están ajustadas a restricciones cognitivas *propias de una disciplina*, que pueden actuar de manera complementaria o competitiva en el aprendizaje (Talanquer, 2010). El razonamiento requiere activar elementos tanto de *dominio general* como de *dominio específico*, así como también trasladarse desde ideas implícitas a las explícitas con el objetivo de resolver problemas (Pozo Municio y Gómez Crespo, 2009; Talanquer, 2010). Pozo Municio y Gómez Crespo (2009) señalan que las restricciones cognitivas se vinculan a dos tipos de razonamientos intuitivos presentes en el estudiantado: las *suposiciones implícitas* en relación con las propiedades y comportamiento de ciertas entidades específicas (por ejemplo, las características y propiedades específicas de un ser vivo) y los *atajos de razonamiento*, reconocidos como “heurísticos” representados en aquellas ideas más “conocidas o familiares” con que cuenta el individuo para resolver situaciones o comprender problemáticas con menor exigencia cognitiva.

Los *obstáculos epistemológicos*, como segundo elemento obturador del aprendizaje, son comprendidos como “constitutivo[s] del acto de conocer” (Astolfi, 2004, p. 34), más que el vacío de la ignorancia, por lo que representan una forma de conocimiento como cualquier otra (conocimiento escolar, conocimiento científico, etc.). Ya que el obstáculo forma un “tejido de errores contruidos, tenaces y solidarios” (p. 36) entre sí, pues están relacionados unos con otros, son resistentes a la ruptura epistemológica. Para que ocurra la “ruptura epistemológica”, la tarea consiste en “pensar en contra del cerebro”, a contracorriente, pues el “obstáculo es una forma de pensar con la mente sentada en el sofá” (p. 34). Siguiendo a Bachelard (2000) los *obstáculos epistemológicos* representan una forma de conocimiento arraigado propio de una construcción previa y quizás desarrollada a través de una experiencia empírica que para el individuo resulta muy difícil de transformar o desvincular.

Desde el marco de las investigaciones didácticas de las ciencias se ha destacado el valor heurístico de los obstáculos epistemológicos para predecir y explicar ciertos fenómenos, aunque éstos tengan otra explicación científica (González Galli, 2019). Estos obstáculos poseen además un carácter situado, ya que lo que para una comunidad educativa podría resultar difícil de aprender o aplicar respecto a un modelo científico, para otra comunidad, podría no representar un conflicto. González Galli y Meinardi (2017) sintetizan estas y

otras características de los obstáculos epistemológicos en tres patrones generales: 1) *transversalidad*, correspondiente a la amplia implementación y articulación de diferentes dominios de conocimiento para explicar fenómenos diversos; 2) *funcionalidad*, ya que tienen capacidad explicativa para el individuo y le permiten describir, explicar y predecir la experiencia con su entorno; y 3) *conflictividad*, operan como elementos de resistencia sobre el dominio del modelo científico que se desea elaborar.

Los Obstáculos Epistemológicos en los Procesos de Conceptualización Científico Escolar sobre humedales

Desde un enfoque epistemológico, Bachelard (2000) reconoce que, en las explicaciones y discursos argumentativos del estudiantado, operan *obstáculos epistemológicos*, entre ellos:

1) La *experiencia básica* representa aquel primer prejuicio, conocimiento o sensación lograda que ya tiene el individuo sobre un fenómeno determinado y a partir del cual puede construir explicaciones y argumentaciones. El autor plantea que, para que esta experiencia sea racionalizada y evitar así un conocimiento sesgado, es preciso que se participe de prácticas que incentiven el cuestionamiento, la evaluación de paradigmas o conocimientos dados; en suma, instancias que posibiliten rupturas epistemológicas. Por ejemplo, un obstáculo de este tipo sobre los humedales podría ser cuando el agua superficial de éstos es categorizada “libre de contaminante ya que sus aguas son cristalinas, incoloras e inodoras”. Lo descrito evidencia la experiencia particular y cotidiana del sujeto en la calidad y salubridad del agua. Sin embargo, deja de lado aspectos fisicoquímicos propios del equilibrio sostenible de estos sistemas naturales.

2) El *conocimiento general*, vinculado con el manejo e interpretación de nuevos conocimientos, ha de echar luz sobre lo esencial y general del dominio comprendido, tanto como de aquellos detalles que permitan articular los elementos que lo comprenden (Bachelard, 2000). No obstante, cuando el abordaje de un concepto requiere utilizar un exceso de recursos explicativos y conceptos aclaratorios, éstos pueden resultar elementos distanciadores y obstaculizadores para la comprensión del fenómeno estudiado. A modo de ejemplo, ante la pregunta ¿qué es un humedal?, una posible respuesta estudiantil podría ser: “son aquellas lagunas cercanas a las orillas de la playa”. Esta definición general sólo alude a lo observable, dejando de lado otros caracteres científicos conceptualizadores, como los ecosistemas de agua poca profunda con presencia periódica de vegetación acuática.

3) Los *obstáculos verbales* ocurren cuando se utiliza una sola palabra o imagen para explicar, interpretar o representar un concepto. En este sentido, es común entre estudiantes la incorporación de un vocablo entendido como “adecuado y funcional” para hacer referencia general o particular a la definición, utilidad y/o características de un concepto o fenómeno.

Estos tipos de recursos verbales son considerados obstáculos cuando el individuo piensa que la utilización de una palabra, metáfora o analogía simbólica o textual es suficiente para describir un fenómeno científico. En relación con los humedales, un obstáculo verbal podría ser la mención simplificada de “parques” o “reservorios” naturales: alusión general que se aleja del léxico científico que permitiría conceptualizarlos como ecosistema acuático sostenible para la biodiversidad.

4) *Conocimiento utilitario y pragmatismo*: ciertas concepciones son empleadas según criterios de utilidad práctica – porque son significativos para la sociedad o el individuo – o desde un criterio pragmático inherente a fenómenos pretendidamente totalitarios, que no necesitan ser explicados ni cuestionados solo por presentar la característica de ser demostrables. Ello podría llevar, incluso, a la autosuficiencia de poder explicar un todo o extrapolarlo como explicación a escenarios muy diferentes de los originales (Bachelard, 2000). El empleo pragmático de concepciones así como la elaboración utilitaria de explicaciones operan como obstáculo epistemológico ya que se incurre en el error de plantear soluciones a partir de conclusiones universales, entendiendo con ello el desarrollo infalible de concepciones erradas y conceptualmente reduccionista. Por ejemplo, si se considera la medición de pH como “un sistema de medición que sirve para evidenciar el grado de acidez”, esto podría representar un obstáculo utilitario en relación con el contexto del análisis químico de las aguas superficiales de los humedales.

5) El *obstáculo animista* se vincula con la predisposición para definir, explicar o proyectar un fenómeno a través de analogías con la naturaleza animada (Bachelard, 2000), por ejemplo: “los humedales colaboran con la mantención de los niveles de los ríos normales, además filtran y purifican el agua de la superficie por ello son considerados los riñones del planeta”. En este sentido, el autor señala que, en este tipo de obstáculo, el estudiante inicialmente no define el fenómeno, pero sí responde utilizando recursos que ya conoce de su entorno más cercano, relacionando características propias de este con el objeto estudiado.

Algunas Ejemplificaciones de Patrones de Razonamiento

Para Bachelard (2000) y Talanquer (2010) resulta útil considerar los obstáculos epistemológicos como patrones internos de razonamiento que permiten comprender mejor las argumentaciones lógicas ofrecidas por el estudiante en la explicación sobre algún fenómeno de interés científico. El análisis de estos criterios posibilitaría la comprensión y, quizás, una explicación aproximada sobre las dificultades y resistencias que ofrecen las concepciones alternativas para ser transformadas o superadas. El *reduccionismo funcional*, el *razonamiento lineal* de tipo causal y los modelos mentales, son algunos patrones de razonamiento que pueden funcionar como obstáculos epistemológicos (Pintó et al., 1996). A continuación, abordaremos los dos primeros mientras que, para modelos mentales,

desarrollaremos primero un marco de referencia para la Psicología y Didáctica de las Ciencias para entender, luego, su acepción como obstáculo.

Reduccionismo Funcional

Se enmarca en perspectivas unívocas del proceso cognitivo que el individuo considera para la elaboración de una respuesta, dejando de lado las demás variables para tomar una posición más amplia del fenómeno o la problemática abordada (Saltiel y Viennot, 1985). Si se trabajara con el siguiente ejemplo: “el rango de acidez del agua superficial del humedal, se debe a la presencia de iones H_3O^+ ”, el alumno tendería a dejar de lado otras variables intervinientes como la descarga de aguas residuales, sustancias orgánicas, presencia de CO_2 , entre otros.

Razonamiento Lineal Causal

Se vincula a argumentaciones atribuidas a una relación causa-efecto, omitiendo la pertinencia de otras variables para el desarrollo de una explicación más profunda y detallada (Pintó et al., 1996; Talanquer, 2010). A su vez, si la dinámica de un fenómeno estudiado es de carácter secuencial temporal puede ser una situación más fácil de describir y asimilar para los estudiantes, no obstante estaría llena de vacíos u olvidos conceptuales que no permitirían explicarlos en profundidad. Por ejemplo, durante experimentaciones un estudiante puede considerar inicialmente que en toda reacción química se manifiestan cambios de color. Así, al disponer el papel medidor de pH en una muestra de agua de humedal, las franjas de este dispositivo cambian de color entonces acusa la presencia del fenómeno químico; sin considerar otros factores que resultan aportes explicativos, como la diferencia del potencial eléctrico, pero que no son simplemente observables y requieren de comprensiones más avanzadas.

Representaciones y Construcciones Mentales sobre y en Interacción con el Mundo: modelos mentales, conceptuales y modelización

Los aportes de la Psicología Cognitiva a la comprensión de la naturaleza de las representaciones mentales del conocimiento han permitido describir de qué manera las interpretaciones del pensamiento posibilitan la construcción del conocimiento en función del entorno del individuo, y comprender aquellos procesos que subyacen en el desempeño de eruditos en un área determinada de conocimiento (Vosniadou, 1996). En esta línea, la Didáctica de las Ciencias se interesa por la investigación acerca de los procesos cognitivos que permiten describir, comprender y explicar de mejor manera las dinámicas del

procesamiento cognitivo de los estudiantes, con el objeto de otorgar significación a sus ideas a partir de modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. Para aproximarnos a una noción actualizada de modelo en la Didáctica de las Ciencias, recuperamos las definiciones de Caamaño (2011) y Chamizo (2010), quienes coinciden en situar el significado de *modelo* como la representación de una idea, objeto o evento desarrollado con el fin de describir, explicar o predecir situaciones implicadas en el fenómeno en estudio. Desde un punto de vista del aprendizaje de las ciencias, los modelos pueden ser reconocidos como representaciones abstractas o mentales que elaboran los estudiantes en su proceso de comprensión de la ciencia (Adúriz-Bravo, 2012) y que, a través de aspectos lingüísticos y representacionales, permiten entender y dar sentido a los fenómenos del mundo natural, así como responder preguntas o evaluar teorías (Adúriz-Bravo, 2012; Justi, 2006).

Modelos Mentales

Johnson-Laird (1983, citado en Greca y Moreira, 1998) señala que los *modelos mentales* corresponden a representaciones analógicas que buscan acercar un fenómeno físico o social con el objeto de explicar, proyectar y responder a las dinámicas de los elementos que le son distintivos, así como sus comportamientos. Estos modelos mentales se construyen a partir de las representaciones internas del individuo, la utilización de procesamientos inferenciales y la simulación cualitativa del funcionamiento del sistema externo de interés (Johnson-Laird, 1983, citado en Greca y Moreira, 1998). Como teoría para unificar y explicar los distintos fenómenos cognitivos, el autor propone tres clases de representaciones mentales: 1) las representaciones proposicionales (implican símbolos, enunciados o formulaciones matemáticas que requieren reglas sintácticas arbitrarias), 2) los modelos mentales como análogos estructurales del mundo y 3) las imágenes, (visuales del modelo). Así, por ejemplo, dentro de este marco, si se solicitara a un estudiante generar un modelo mental sobre el fenómeno de acidificación antrópica de la zona acuífera de un humedal. Las representaciones proposicionales quedarían definidas por la utilización de vocablos cotidianos alusivos al concepto de acidificación, antrópico y zona acuífera de un humedal y representados en forma de esquemas que reflejan relaciones entre ellos. Para la elaboración del modelo mental del estudiante, es necesario que éste comprenda el concepto de acidificación antrópica y zona acuífera del humedal a partir de sus experiencias y elaborar una representación mental analógica de la situación. Si conjuntamente el estudiante imagina, describe e ilustra a través de la abstracción macroscópica y de naturaleza molecular modelos inherentes al proceso de acidificación antrópica en la zona acuífera del humedal, resultaría una representación analógica más cercana a la realidad. Si bien estas representaciones internas son elaboraciones alejadas de lógicas deductivas, carentes de coherencia y consistencia con los modelos científicos, son útiles y funcionales para comprender o explicar el funcionamiento de un sistema físico o social. En este sentido, sería ingenuo pensar la modificación o sustitución total del modelo interno del individuo por otro, sino más bien considerar enriquecerlo (Vosniadou 1994).

Modelos Conceptuales

Un *modelo conceptual* corresponde a una representación externa, de características explícitas y precisas, consistente y coherente con el conocimiento científico y aceptado por una comunidad determinada (Moreira, 2017). Así, obedecen a prototipos de modelos ya desarrollados – sea por científicos, profesores, entre otros –, que tienen como objeto facilitar la comprensión de fenómenos físicos y sociales (Mondino, 2014). Según Moreira (2017), si bien son reconocidos como representaciones simplificadas de objetos, fenómenos, etc., que permitirían a los estudiantes construir nuevos modelos mentales para comprender y explicar el mundo que los rodea, la modificación hacia nuevas concepciones mentales no es simple. Tampoco su implementación garantiza que el estudiante procese e interprete la información de manera pertinente para que luego desarrolle nuevos modelos mentales, sino más bien es posible que éste sólo memorice la nueva información, acumulando concepciones inconexas (Moreira, 2017). Desde la didáctica de las ciencias, los modelos conceptuales podrían resultar significativos para los individuos si estos son capaces de construir modelos mentales que les permitan discriminar, utilizar y valorar aquellos elementos conceptuales que le posibilitan comprender y explicar un fenómeno, así como ser relacionados con aquellos conocimientos o conceptos que ya posee (Vosniadou y Brewer, 1994).

Modelización

Entendida como herramienta didáctica en la enseñanza de las ciencias, la modelización engloba a un conjunto de planteamientos amplios, compatibles y dinámicos, cuyas denominaciones están sujetas al contexto y a las perspectivas teóricas desde las que se abordan, entre ellas: la enseñanza y aprendizaje basada en modelos, la construcción y refinación de modelos por parte del estudiante, la enseñanza basada en modelos y la enseñanza basada en modelización (Oliva Martínez, 2019). Dentro de este marco, Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009) sitúan la modelización como la interacción del pensar en función de modelos teóricos, abstractos, etc., el hacer desde experimentaciones tradicionales hasta simulaciones, y el hablar, el cual permite argumentar y socializar los hechos observados. Considerando entonces a la modelización como competencia científica, ésta se caracteriza por incorporar al desarrollo del conocimiento, habilidades, destrezas y valores en la ejecución de modelos, a partir de componentes internos necesarios para su construcción (Oliva Martínez, 2019). Ejemplo de lo anterior son: la capacidad para la construcción y uso de modelos, la explicación de fenómenos y su comparación mediante la evaluación de su efectividad, y la habilidad para revisar modelos, lo que requiere identificar las acotaciones del mismo (Nicolaou y Constantinou, 2014).

Transformación de los Obstáculos Epistemológicos Hacia Nuevas Concepciones Científicas a Través de Habilidades Metacognitivas

Una de las metas esenciales de la educación científica debe ser favorecer la transformación de las formas del conocimiento cotidiano o concepciones espontáneas hacia el pensamiento crítico de un fenómeno científico. Por esto, resulta crucial que en la enseñanza de las ciencias se oriente el desarrollo de la vigilancia metacognitiva para facilitar la integración de estas formas de pensamiento más que sustituirlas por otras (Pérez et al., 2021; Talanquer, 2010). Pérez y González Galli (2020) otorgan centralidad a la integración de procesos metacognitivos en el proceso de aprendizaje de los estudiantes, ya que posibilita la formación de individuos con capacidad de autorregularse y de ajustar sus propias formas de pensar, tomar decisiones razonadas y argumentadas sobre diversas cuestiones que le conciernen de manera directa o indirecta. Para estos autores, la metacognición se enmarca en tres dimensiones:

1. La dimensión del *conocimiento*, que es de tres tipos: *conocimiento metacognitivo*, que refiere a los alcances del conocimiento declarativo, constituido por aquellas explicaciones que presenta el individuo sobre lo que sabe y no sabe en relación a un determinado fenómeno; el *conocimiento procedimental*, orientado a las estrategias o recursos didácticos que ejecuta la persona para el desarrollo de una tarea durante su proceso de aprendizaje; y el *conocimiento condicional*, que corresponde a la articulación de estrategias que permiten responder cuándo es pertinente desarrollar determinadas acciones y por qué es o son necesaria(s) en función de una tarea de aprendizaje.

2. La dimensión de la *regulación metacognitiva*, que se vincula con la aplicación de estrategias cognitivas regulatorias del individuo, a través de la planificación activa y anticipatoria, el monitoreo consciente sobre el desarrollo de la tarea y la evaluación del alcance respecto a los elementos regulatorios involucrados durante la tarea de aprendizaje.

3. Las *experiencias metacognitivas*, que implican la articulación consciente y autorregulada de los elementos reflexivos propios de la cognición, con aquellos aspectos afectivos, motivacionales y conductuales involucrados que puedan influir en el aprendizaje.

Con el objeto de ampliar la comprensión sobre los elementos que definen la metacognición, cabe considerar el *rol social* inherente al proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. En esta línea, el proceso metacognitivo se enmarca en aquellos elementos de carácter social que permiten articular el proceso colaborativo entre los integrantes del grupo o comunidad involucrada en la actividad de aprendizaje. Por ejemplo: el (i) *nivel individual* (regulación a nivel intrapersonal del proceso cognitivo durante el trabajo grupal), el (ii) *nivel diádico / co-regulatorio* (regulación cognitiva a partir de la guía de un miembro del grupo con mayor grado de regulación hacia otro miembro con menor regulación, con el objetivo de

resolver una actividad de aprendizaje), el (iii) *nivel dinámico* (sentido transitivo para quien se encuentra en un grado de menor regulación) y el (iv) *nivel grupal* (regulación del proceso metacognitivo a nivel colaborativo, considerando aspectos y dinámicas interpersonales y socioemocionales, con el objetivo de resolver una actividad de aprendizaje).

Retomando el tratamiento didáctico de los obstáculos epistemológicos en el aula de ciencias, Astolfi (2009) propone tres instancias orientadas a desestabilizarlos, que se vinculan estrechamente con la metacognición. La primera, busca fortalecer la transmisión de los obstáculos entre los miembros participantes durante la actividad de aprendizaje para reconocer y evidenciar luego sus formas de razonamientos y limitaciones. La siguiente, está en función de la construcción o reconstrucción conceptual y validación del mismo a través de experiencias o problemáticas significativas. El tercer momento implica el ejercicio concreto de reconocer consciente y explícitamente el obstáculo epistemológico en relación a sus tareas y actividades involucradas en el ejercicio del aprendizaje.

Propuesta Didáctica Metacognitiva de Enseñanza y Aprendizaje Sobre los Sesgos Cognitivos y Obstáculos Epistemológicos en el Proceso de Modelización Científica a Nivel Escolar

Para que el estudiantado pueda desplegar procesos significativos en el estudio de fenómenos cercanos a su entorno, las prácticas científicas educativas deben propiciar espacios de aprendizaje que motiven la integración de conocimientos específicos, habilidades, y actitudes fundamentales para participar de forma activa, responsable y crítica. En este marco, Acher (2014) plantea algunas ideas para facilitar la incorporación de modelación científica en el aula a partir de específicas tareas docentes, tales como integrar herramientas efectivas para la explicación de fenómenos observados, involucrar a los estudiantes con la finalidad de crear una cultura y hábitos de modelización en el aula, y promover la participación activa de los estudiantes, de manera de situarlos como agentes constructores de su propio aprendizaje y la adquisición de un conocimiento epistemológico.

Con respecto a la elaboración de modelos para el proceso de modelización, es posible establecer patrones generales y sistémicos que contribuyan a su inclusión curricular (Justi, 2006). La metodología planteada por Justi y Gilbert (2002 citado en Justi et al., 2012) tiene por propósito propiciar espacios para que los estudiantes puedan “ser capaces de crear, expresar y comprobar sus propios modelos” (p. 176). Los autores referidos han desarrollado un modelo que permite orientar la elaboración de la modelización científica a través de cuatro etapas donde cada una de ellas influyen en los demás, sin la necesidad que sean comprendidas como secuencias rígidas y lineales. Éstas son: 1) el *planteamiento de objetivos en función de la construcción del modelo*; 2) la *elaboración de la forma de representación del modelo*; 3) la *comprobación del modelo propuesto*; y 4) la *socialización de la validez del modelo*. Tomamos este esquema para proponer, a continuación, una secuencia de actividades para la modelización de un tema de ciencias naturales.

Una estrategia didáctica para la modelización científica de humedales en contextos educativos extracurriculares

La siguiente propuesta de enseñanza y aprendizaje está enfocada en desarrollar actividades de modelización científica sobre un problema del entorno natural (humedal urbano), a través de la construcción de modelos de humedales artificiales y en el contexto de fomentar el trabajo colaborativo de estudiantes de segundo ciclo básico (de entre 12 a 14 años de edad) en talleres científicos extracurriculares.

Actividad 1: Contextualización in situ del fenómeno a estudiar y definición del objeto a modelizar

Inicialmente las y los estudiantes reconocen ideas previas sobre el tipo de intervencionismo de afluentes de aguas domésticas depositados en los humedales “El Culebrón” de la ciudad de Coquimbo, Chile. Describen el rol socioambiental, cultural y económico de los humedales a través del registro de información e intercambio de opiniones (con base en sus observaciones y experiencias personales desarrolladas durante una visita a dos humedales urbanos), e identifican y describen las relaciones simbióticas de los factores bióticos y abióticos y su importancia en el equilibrio dinámico sostenible de los humedales con su entorno. Luego, de manera individual, cada estudiante organiza e interpreta sus datos y elabora descripciones relacionadas con las dinámicas ecosistémicas de los humedales. A continuación, se reúnen en grupo, dialogan sobre sus observaciones y elaboran una síntesis de todos los miembros del equipo. Finalmente, socializan sus descripciones referidas a los humedales y elaboran la pregunta de investigación tratando de aproximarse al fenómeno de estudio, por ejemplo: *¿de qué manera la descarga de aguas residuales afectaría el equilibrio biótico y abiótico del agua de los humedales?*

Con relación a las habilidades metacognitivas involucradas, será posible reconocer que los/las estudiantes codifican elementos relevantes del problema, identifican qué se sabe y qué no, y qué se pregunta sobre el fenómeno estudiado (Pérez y González Galli, 2020).

Actividad 2: Elaboración inicial de modelos, a partir de la elaboración individual de un modelo mental del estudiante para luego ser socializado a los demás integrantes del grupo

Las y los estudiantes elaboran y discuten códigos representacionales que permitan explicar el proceso de purificación de agua en humedales (dinámicas del flujo hidrológico y equilibrio bioquímico del agua). Cada miembro comparte y explica su propuesta al otro miembro del grupo. A continuación, deberán elaborar una representación externa grupal que permita llegar a una respuesta en común con los puntos de vista de los/las participantes. Luego, visionan un registro audiovisual sobre diferentes representaciones de

humedales con el objeto de que aporte nuevos elementos para sus discusiones y elaboran un cuadro resumen que explicita similitudes y diferencias de las concepciones identificadas previamente sobre los humedales y las comparan con aquellas reconocidas por el material audiovisual. Finalmente, cada equipo comparte y explica las características referidas al tipo de representación del modelo de humedal elaborado. Para dicho proceso se articulan cuatro habilidades metacognitivas: realizar un mapa mental de los elementos y relacionar entre los elementos y objetivos del problema; elaborar codificaciones selectivas a las características relevantes del estímulo; desarrollar combinaciones selectivas de los elementos relevantes del fenómeno estudiado; y comparar la información nueva con respecto a la adquirida inicialmente sobre los elementos investigados (Pérez y González Galli, 2020).

Actividad 3: Elaborar y comprobar representaciones concretas de modelos de humedales a partir de experiencias mentales y/o comprobaciones empíricas.

Esta etapa busca validar, ajustar, o modificar la propuesta representada. Con respecto a las habilidades metacognitivas involucradas, los y las estudiantes toman decisiones en relación con los pasos a seguir y recursos a utilizar para resolver el problema, dividen un problema en subproblemas y luego diseñan una secuencia de cómo se deben resolver los subproblemas. Para ello, seleccionan un conjunto de procesos estratégicos de orden inferior para utilizarlos en la resolución del problema y revisan sus planes en función de qué tan bien están funcionando y qué oportunidades de modificación estén disponibles (Pérez y González Galli, 2020). De lo anterior, los y las estudiantes elaboran una representación concreta que permita ofrecer una aproximación al tratamiento natural de las aguas presente en los humedales visitados. Finalmente, cada equipo socializa sus análisis y evaluaciones de sus experiencias en relación con las propuestas representadas.

Actividad 4: Socializar y discutir de manera argumentada la viabilidad y limitaciones del modelo proyectado.

Corresponde al proceso de comunicar y socializar los alcances y limitaciones del modelo representado en relación con los criterios y los objetivos previamente definidos. Analizan y discuten evidencias experimentales con fuentes teóricas o bibliográficas, reconocen posibles problemáticas y postulan nuevas propuestas o posibles modificaciones para ser incorporadas al modelo desarrollado.

Consideraciones y Perspectivas

El promover la participación activa de los estudiantes, de tal manera de situarlos como agentes constructores de su propio aprendizaje, implica propiciar instancias formativas orientadas no sólo por la disciplina, sino también por la comprensión de cómo se construyen y evalúan conocimientos científicos. La metacognición resulta así una capacidad relevante para el proceso de aprendizaje de las ciencias en las aulas de clases, ya que permite gestionar el tránsito de aquellas preconcepciones de principios epistemológicos, ontológicos y conceptuales a un aprendizaje explícito con ideas razonadas y juicios justificados. En este sentido, el resguardo de procesos de reflexión metacognitiva se enmarca en aportes significativos que posibilitarían el desarrollo del pensamiento crítico de los y las estudiantes como agentes conscientes, informados y empoderados en la construcción de sus aprendizajes científico-escolares.

Para el desarrollo del proceso metacognitivo durante las prácticas científicas, es útil que estas instancias estén situadas en contextos significativos para el estudiante y versen, en lo posible, sobre problemáticas sociocientíficas relevantes, con el objeto de propiciar en ellos un rol vinculante en el proceso de aprendizaje, y con ello responder a través de las ciencias a posibles fenómenos cercanos al entorno escolar o en aquellas problemáticas de interés y relevancia sociocultural. Por otro lado, aún parece pendiente la tarea de análisis e investigación sobre los alcances que podría representar la mirada en conjunto del proceso metacognitivo de los elementos regulatorios propios del individuo que participa con aquellos aspectos socio-culturales que lo integran (Ruiz et al., 2013; Solbes Matarredona, 2013).

Referencias bibliográficas

- Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 1(36), 63–75. <https://doi.org/10.17227/01213814.36ted63.75>
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(1), 40-49. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273320452005>
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación Química*, 23(Supl. 2), 248-256. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30151-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30151-9)
- Alwehaibi, H.U. (2012). Novel program to promote critical thinking among higher education students: Empirical study from Saudi Arabia. *Asian Social Science*, 8(11), 193–204. <https://doi.org/10.5539/ass.v8n11p193>
- Astolfi, J.P. (2004). El “error”, un medio para enseñar. Sevilla: Diada. <https://www.rmm.cl/sites/default/>

files/usuarios/13793347/articulos/astolfi_jean_pierre._el_error_un_medio_para_ensenar.pdf

Astolfi, J.P. (2009). El tratamiento didáctico de los obstáculos epistemológicos. *Revista Educación y Pedagogía*, 11(25), 149–171. Recuperado a partir de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/revistaeyp/article/view/5863>

Bachelard, G. (2000). *La formación del espíritu científico* (S. A. de C. V. Siglo Veintiuno Editores (ed.); 23rd ed.). Editorial Argos, Buenos Aires. https://www.posgrado.unam.mx/musica/lecturas/LecturaIntroduccionInvestigacionMusical/epistemologia/Bachelard_Gaston-La-formacion-del-espíritu-científico.pdf

Benavides, C. y Ruíz, A. (2022). El pensamiento crítico en el ámbito educativo: una revisión sistemática. *Revista Innova Educación*, 4, 62–79. <https://revistainnovaeducacion.com/index.php/rie/article/view/572/535>

Caamaño, A. (2011). Enseñar química mediante la contextualización, la indagación y la modelización. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 69, 21–34. <https://www.researchgate.net/publication/283363895>

Chamizo, J.A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 26–41. <https://www.redalyc.org/pdf/920/92013011003.pdf>

Crujeiras Pérez, B., Martín Gámez, C., Díaz Moreno, N. y Fernández Oliveras, A. (2020). Trabajar la argumentación a través de un juego de rol: ¿debemos instalar el cementerio nuclear? *Enseñanza de las Ciencias*, 3, 125–142. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2888>

Díaz Moreno, N. y Jiménez Liso, M.R. (2012). Las controversias sociocientíficas: temáticas e importancia para la educación científica. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 54–70. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2012.v9.i1.04

Duit, R. (2007). Science Education Research Internationally: Conceptions, Research Methods, Domains of Research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 3(1), 3–15. <https://doi.org/10.12973/ejmste/75369>

Ennis, R.H. (2018). Critical Thinking Across the Curriculum: A Vision. *Topoi*, 37(1), 165–184. <https://doi.org/10.1007/s11245-016-9401-4>

Gontero, S. y Novella, R. (2021). *El futuro del trabajo y los desajustes de habilidades en América Latina*. Documentos de Proyectos, Comisión Económica Para América Latina y El Caribe (CEPAL), 5–46. www.cepal.org/apps

González Galli, L. (2019). Enseñanza de la Biología y pensamiento crítico: la importancia de la metacognición. *Revista de Educación en Biología*, 22(2), 4–24. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaadbia/article/view/28528>

González-Galli L. y Meinardi E. (2017) Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural en estudiantes universitarios de biología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 435–449. <http://hdl.handle.net/10498/19506>

Greca, I.M. y Moreira, M.A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y

- magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 289-304 <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21535/21369>
- <https://www.researchgate.net/publication/39101778>
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de Las Ciencias*, 24(2), 173-184. <https://www.researchgate.net/publication/39215530>
- Justi, R., Ferreira, P.F.M., Queiroz, A.S. y Mendonça, P.C.C. (2012). Contribuciones de la enseñanza fundamentada en modelación en el desarrollo de la capacidad de visualización. In A. De Longhi, G. Bermudez, A. Carvalho, et al (Eds.), *Algunas aproximaciones a la investigación en educación en enseñanza de las Ciencias Naturales en América Latina* (1º, p. 248). <https://www.researchgate.net/publication/299507235>
- Lipman, M. (2003). Education in Thinking. *Cambridge University Press*, New York, 2o, Vol. 1999, Issue December. Cambridge University Press. www.cambridge.org/9780521812825
- Mondino, G.M. (2014). Modelos conceptuales y mentales: Elementos para repensar la enseñanza y el aprendizaje. *Enfoques*, 26(1), 57-78. <https://www.redalyc.org/pdf/259/25933773004.pdf>
- Moreira, M.A. (2017). Aprendizaje significativo como un referente para la organización de la enseñanza. *Archivos de Ciencias de la Educación*, 11(12), 29. <https://doi.org/10.24215/23468866e029>
- Naseri, S., Gorjian, Z., Ebrahimi, M.R. y Niakan, M. (2017). Critical thinking in P4C (Philosophy for Children) educators: An Intervention Study. *International Journal of Scientific Study*, 5(7), 3-8. <https://doi.org/10.17354/ijss/2017/506>
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- Nicolaou, C.T. y Constantinou, C.P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52-73. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- Oliva Martínez, J.M. (2003). The structural coherence of students' conceptions in mechanics and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 25(5), 539-561. <https://doi.org/10.1080/09500690210163242>
- Oliva Martínez, J.M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 5-24. <https://doi.org/10.5565/REV/ENSCIENCIAS.2648>
- Pérez, G.M., Gómez-Galindo, A.A., y González Galli, L. (2021). La regulación de los obstáculos epistemológicos en el aprendizaje de la evolución. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 27-44. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2968>
- Pérez, G., y González Galli, L.M. (2020). Una posible definición de metacognición para la enseñanza de las ciencias. *Investigacoes em Ensino de Ciencias*, 25(1), 385-404. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.IENCI2020V25N1P384>
- Pintó, R., Aliberas, J., y Gómez, R. (1996). Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 221-232. <https://ensciencias.uab.cat/article/view/v14-n2-pinto-aliberas-gomez/2135>

- Pozo Municio, J.I., y Gómez Crespo, M.A. (Eds). (2009). El aprendizaje de conceptos científicos: del aprendizaje significativo al cambio conceptual. *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico* (6a ed., pp. 84-127). Ediciones Morata, S.L. http://www.terras.edu.ar/biblioteca/6/TA_Pozo_Unidad_3.pdf
- Pozo, J.I. (1999). Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 513-520. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4078>
- Ruiz, J.J., Solbes, J., y Furió, C. (2013). Debates sobre cuestiones sociocientíficas: una herramienta para aprender física y química. *Textos de Didáctica de La Lengua y La Literatura*, 64, 32-39. https://www.uv.es/jsolbes/documentos/Textos_Ruiz,Solbes,Furio_2103.pdf
- Saltiel, E., y Viennot, L. (1985). ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2), 137-144.
- Solbes Matarredona, J. (2013). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (I). *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(1), 1-10. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2013.v10.i2.03
- Talanquer, V. (2010). Pensamiento intuitivo en química: Suposiciones implícitas y reglas heurísticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 165-174. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/200825>.
- Vosniadou, S. (1996). Towards a revised cognitive psychology for new advances in learning and instruction. *Learning and Instruction*, 6(2), 95-109. doi:10.1016/0959-4752(96)00008-4
- Vosniadou, S., y Brewer, W.F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18(1), 123-183 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0364021394900221>

Para seguir leyendo

• ***El trabajo La enseñanza y el aprendizaje de la evolución en la escuela secundaria basados en la modelización y la metacognición sobre los obstáculos epistemológicos, desarrollado por Pérez y González Galli (2018).***

Describe la integración de la modelización, la metacognición y obstáculos epistemológicos y cómo estos tres ejes teóricos son articulados en la elaboración de modelos de evolución biológica. <http://hdl.handle.net/11336/161750>

• ***El libro Metacognición y Didáctica de las Ciencias: integración de procesos de enseñanza, procesos metateóricos y competencias, de Tovar- Gálvez (2012).***

Busca articular y orientar de manera fundamentada procesos metacognitivos con procesos didácticos para el desarrollo del conocimiento científico a nivel secundario y universitario. <https://www.researchgate.net/publication/260798709>

Sitios Web recomendados

- ***<https://www.biointeractive.org/>***

Ofrece múltiples experiencias y herramientas didácticas para abordar el aprendizaje en ciencias en estudiantes y docentes.

- ***<https://wonderville.org/>***

Facilita a profesores y estudiantes herramientas didácticas e interactivas para aprender y enseñar a través de contenidos STEM.

CAPÍTULO 4

Uso de debates para desarrollar argumentación y toma de decisiones como habilidades de pensamiento crítico con profesorado en formación inicial. El caso del agua embotellada

María José Cano-Iglesias¹ y Antonio Joaquín Franco-Mariscal²

¹Universidad de Málaga. Escuela de Ingenierías Industriales. Área Ingeniería de los Procesos de Fabricación. Málaga (España).

²Universidad de Málaga. Didáctica de las Ciencias Experimentales. Málaga (España)

¹mjcano@uma.es, ²anjoa@uma.es

Resumen

El desarrollo del pensamiento crítico de los ciudadanos se considera un objetivo prioritario en la enseñanza de las ciencias, siendo la argumentación científica y la toma de decisiones dos habilidades destacadas del mismo. Este capítulo presenta una actividad denominada *Microdebate* que promueve el desarrollo de ambas habilidades a través de debates de corta duración sobre un problema socio-científico. Este trabajo muestra los resultados de un debate sobre el consumo de agua embotellada o agua del grifo con estudiantes del Máster en Profesorado de Educación Secundaria de la Universidad de Málaga (España) en el que los oyentes juegan un papel importante tomando una decisión argumentada antes y después del debate. La prueba de Wilcoxon muestra que se producen diferencias estadísticamente significativas en la calidad de los argumentos, en el uso de pruebas, justificaciones y conclusiones expuestos por los oyentes, a favor de la decisión final. Asimismo, los argumentos dados en el debate favorecen cambios de decisiones en algunos estudiantes.

Introducción

La alimentación constituye un contexto de enseñanza de interés que permite abordar en el aula diferentes problemas sociales en los que la ciencia y la tecnología están implicadas. Algunos ejemplos son el consumo de productos naturales o no naturales (Caracuel, Lupión y Blanco, 2020), el carácter saludable de una dieta vegana (Hierrezuelo, Brero y Franco-Mariscal, 2020) o el consumo de agua embotellada (Ferrier, 2001). Vincular estos problemas con el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico resulta especialmente enriquecedor, puesto que estamos formando ciudadanos críticos y reflexivos capaces de afrontar problemas en su vida diaria.

El pensamiento crítico es un constructo complejo integrado por un amplio conjunto de habilidades y disposiciones, entre las que la argumentación y la toma de decisiones se pueden considerar como dimensiones distintivas. La argumentación está encaminada a la resolución racional de cuestiones, preguntas y problemas (Siegel, 1995) y constituye una herramienta fundamental en la construcción de explicaciones, modelos y teorías (Toulmin, 2003). De acuerdo con Jiménez-Aleixandre (2010) argumentar consiste en “ser capaz de evaluar enunciados en base a pruebas, es decir, reconocer que las conclusiones y los enunciados científicos deben estar justificados, en otras palabras, sustentados en pruebas” (p.23).

Por otra parte, el abordaje de la toma de decisiones en el aula es fundamental porque las elecciones que toma la ciudadanía en su vida diaria están basadas principalmente en creencias y valores, y en este sentido, la ciencia puede y debe ayudar en estas decisiones y a revisar la procedencia de dichos valores y creencias (von Winterfeldt, 2013). Además, en el caso de problemas socio-científicos se incrementa la importancia de estas decisiones al tener repercusiones en la sociedad de muy diversa índole (Martínez-Bernat et al., 2019).

Las estrategias para aplicar la argumentación en el aula son muy variadas, siendo el uso de debates bastante frecuente. Estas estrategias promueven espacios destinados a la crítica y la discusión, la evaluación crítica de afirmaciones (Zohar y Nemet, 2002), a apoyar justificaciones y refutaciones (Henao y Stipcich, 2008), y finalmente, a tomar una decisión fundamentada sobre el problema que se esté abordando (Varela, Blanco y Díaz de Bustamante, 2020).

En suma, realizar un debate en el aula sobre una problemática relacionada con la alimentación puede ayudar al alumnado, además de a promover hábitos de vida saludable en su día a día, a mejorar sus habilidades de argumentación científica y de toma de decisiones en problemas cotidianos.

Es, por ello, que este trabajo presenta los resultados de una actividad de debates sobre el consumo de agua embotellada versus el consumo de agua del grifo. Se trata de un problema relevante que lleva asociada una controversia considerada habitualmente por la ciudadanía: ¿qué agua es mejor para su consumo? Además, tiene repercusiones importantes en distintos ámbitos de la vida diaria, como la salud (Ferrier, 2001) o aspectos sociales con implicaciones tanto económicas como medioambientales (Arnold y Larsen, 2006; Gleick y Cooley, 2009).

Metodología

Participantes

La muestra del estudio fue 51 estudiantes (31 mujeres y 20 hombres) de edades comprendidas entre 22 y 30 años, pertenecientes al Master en Profesorado de Educación Secundaria de la Universidad de Málaga (Málaga, España) en las especialidades de Física y Química, y Biología y Geología.

Los estudiantes cursaban la asignatura Innovación Docente e Iniciación a la Investigación Educativa durante el curso 2021-2022 y participaban en un programa formativo para mejorar sus habilidades de pensamiento crítico donde habían recibido instrucción en argumentación científica.

Descripción de la actividad Microdebate

La actividad *Microdebate* consiste en debates de corta duración en torno a problemas socio-científicos que todo el alumnado realiza a lo largo de la asignatura en distintas sesiones en grupos de tres (presentador/a, rol a favor y rol en contra del problema) actuando el resto de estudiantes como oyentes. La actividad se estructura en cuatro fases:

- *Fase 1: Toma de decisión inicial e instrucción en argumentación.* Antes del desarrollo de los debates, todos los participantes toman una decisión inicial respecto a los problemas que se plantearán en cada uno de los debates sin acceder a información. Posteriormente, tiene lugar una sesión formativa donde se expone cómo diferentes autores entienden la argumentación en el ámbito científico-tecnológico, haciendo hincapié en su importancia en la vida diaria, en la educación científica y en su contribución al pensamiento crítico. Se muestran el modelo de argumentación de Toulmin (2003) y una adaptación simplificada (Jiménez-Aleixandre, 2010). Como actividades formativas se realizan algunos ejemplos sencillos en los que se pide identificar los elementos esenciales de un buen argumento (pruebas, justificación y conclusión) para posteriormente elaborar y analizar argumentos completos y contraargumentos (Cebrián, Franco-Mariscal y Blanco, 2021). Esta formación también pretende que reconozcan la importancia de la refutación de argumentos y el conocimiento de las ideas científicas previas.

- *Fase 2: Preparación del debate.* Una vez formados los grupos de tres estudiantes, se asigna a cada uno un problema socio-científico a debatir y se establece el rol de cada participante. Previo al debate, los participantes disponen de una semana para entregar un informe de preparación del mismo, incluyendo cinco argumentos a favor de su postura y otros cinco para defenderla. El/La presentador/a debe introducir el problema empleando cinco argumentos y apoyándose en una presentación digital. En todos los casos deben indicarse las fuentes consultadas.

- *Fase 3: Desarrollo del debate.* Al inicio se informa a los asistentes de la estructura del debate: (a) Intervención del presentador/a, que expone el problema a debatir en tres minutos, (b) intervención breve de un minuto de los estudiantes a favor y en contra del problema, (c) debate de cinco minutos entre ambas posiciones, y (d) síntesis final de un minuto para cada rol.

- *Fase 4: Toma de decisión final.* Tras la actividad, debatientes y oyentes deben volver a tomar una decisión argumentada sobre el problema tratado.

El problema socio-científico que se analiza en este trabajo gira en torno al agua que se consume a nivel doméstico y se presentó con el enunciado: “¿Es mejor consumir agua del grifo o agua embotellada?” Este *Microdebate* se realizó en una sesión intermedia de la asignatura, por lo que los estudiantes tuvieron la oportunidad de observar otros debates y desarrollar técnicas de argumentación.

Instrumentos de recogida de datos

La toma de datos se realizó antes, durante y después de la actividad con diferentes instrumentos. La toma de decisiones y los argumentos escritos de los participantes para justificar su decisión se recogieron a través de un cuestionario planteado en las fases 1 y 4, que incluía la pregunta relativa al problema socio-científico, además de la recogida de aspectos demográficos de los participantes. Los argumentos escritos y orales empleados por los debatientes y el presentador se recogieron a través de los informes de preparación del debate (fase 2) y la grabación en audio del debate (fase 3), que se transcribió para su análisis.

Análisis de datos

Se realizaron dos estudios de carácter cualitativo.

- *Análisis de la toma de decisiones inicial y final y posibles cambios de opinión.* Contabiliza la frecuencia y porcentajes de participantes a favor y en contra del consumo de agua embotellada en los dos momentos y determina cuántos mantienen o cambian de opinión.

- *Análisis de los argumentos ofrecidos por los participantes.* Por una parte, analiza los argumentos escritos u orales empleados atendiendo al modelo de Toulmin (2003) identificando en cada uno de ellos pruebas (número y tipo), justificaciones y conclusión, empleando la rúbrica de la Tabla 1 que se estableció por consenso entre los investigadores (autores del trabajo).

Tabla 1. Rúbrica para el análisis de los elementos de los argumentos empleados en el Microdebate sobre consumo de agua embotellada

CONCLUSIÓN				
0: No proporciona conclusión	1: Duda al alcanzar una conclusión	2: Proporciona una conclusión adecuada y precisa		
PRUEBAS				
Número de pruebas				
0 (No pruebas)	1 prueba	2 pruebas	3 pruebas	4 pruebas
Tipo de pruebas				
Salud	0 pruebas	1 prueba	2 pruebas	
Economía	0 pruebas	1 prueba	2 pruebas	
Composición y calidad del agua	0 pruebas	1 prueba	2 pruebas	
Ambiental	0 pruebas	1 prueba	2 pruebas	
Ideas personales/ Experiencias vividas	0: No emplea	1: Una idea personal o experiencia vivida	2: Una idea personal o experiencia vivida	
JUSTIFICACIÓN				
0: No hace ninguna	1: Justificación que no relaciona pruebas con conclusión	2: Proporciona una justificación que relaciona pruebas con conclusión		

Por otra parte, partiendo del análisis según el modelo de Toulmin (2003), se realiza una segunda categorización de argumentos para conocer su calidad atendiendo a los niveles argumentativos propuestos por Erduran et al. (2004) y Erduran (2008) (Tabla 2).

Tabla 2. Rúbrica para el análisis de la calidad de argumentos (Erduran, 2008).

NIVELES ARGUMENTATIVOS	CARACTERÍSTICAS
NIVEL 1	Comprende argumentos que son una descripción simple de la vivencia.
NIVEL 2	Comprende argumentos en los que se identifican con claridad pruebas y una conclusión.
NIVEL 3	Comprende argumentos en los que se identifican con claridad pruebas, conclusiones y justificación.
NIVEL 4	Comprende argumentos constituidos por pruebas, conclusiones y justificaciones, haciendo uso de cualificadores o respaldo teórico.
NIVEL 5	Comprende argumentos en los que se identifican pruebas, conclusión(es), justificación(es), respaldo(s) teórico(s) y contraargumento(s).

Por último, se analiza la calidad de las fuentes empleadas en su preparación recogidas en los informes cumplimentados. Para ello, se establece un sistema de categorías (libros y revistas científicas, webs de divulgación científica, artículos en prensa y webs con fuentes no contrastadas) y se calcula el porcentaje de fuentes en cada una de ellas.

Análisis estadístico

Al ser la muestra inferior a 50 datos, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para determinar la posible existencia de diferencias estadísticamente significativas en

las tomas de decisiones, obteniéndose una probabilidad inferior a 0,05, lo que supone la aplicación de pruebas no paramétricas. Posteriormente, se estudiaron posibles diferencias estadísticamente significativas entre muestras relacionadas (decisiones y elementos de los argumentos dados por el mismo participante en los momentos inicial y final) para las distintas variables, utilizándose la prueba bilateral de Wilcoxon al tratarse de variables ordinales. Se empleó el paquete estadístico SPSS 25.0.

Resultados y discusión

Decisión inicial y argumentos empleados

Inicialmente, el 62,7% del alumnado estaba a favor del consumo de agua de grifo, indicando argumentos como:

“Soy muy partidario del agua del grifo. Es apta para el consumo humano, más barata y de la misma calidad, además de consumo inútil de plástico.” (Estudiante 11).

El 37,3% restante estaba a favor del agua embotellada, como ilustra este argumento:

“Creo que es más saludable el agua embotellada ya que las tuberías van almacenando calcio y otras sustancias que se transmiten al agua.” (Estudiante 23).

Estos ejemplos, que pueden extenderse al resto del alumnado, muestran cómo las conclusiones se justifican en base a pruebas relativas a la salud, la composición y calidad del agua o aspectos económicos, pero en términos ambiguos y de escaso rigor científico.

La Tabla 3 recoge el análisis de los argumentos realizado en los momentos inicial y final, expresando los distintos ítems como valores medios por estudiante.

Tabla 3. Valores medios por estudiante para cada elemento de los argumentos dados por el alumnado para adoptar la decisión inicial y final

Elemento del argumento		Decisión Inicial	Decisión Final
Argumento Completo	Calidad del Argumento	2,18	2,63
Conclusión	Conclusión	1,84	2,00
Justificación	Justificación	0,59	1,18
Pruebas	Número	1,59	2,61
	Tipo salud	0,41	0,57
	Tipo economía	0,28	0,51
	Tipo composición y calidad del agua	0,35	0,77
	Tipo ambiental	0,55	0,77
	Ideas personales	0,26	0,26

Como se aprecia (Tabla 3), el valor medio de la calidad de los argumentos iniciales es 2,18, lo que supone la elaboración de argumentos con pruebas y conclusión, pero sin una justificación apropiada de acuerdo con las categorías establecidas en la tabla 2. En este sentido, la media de pruebas empleadas en los argumentos dados antes del *Microdebate* fue de 1,59 pruebas (81 pruebas totales), siendo la mayoría de ellas de tipo ambiental (28 pruebas) (p.e., “con el agua de grifo [...] se reduce el consumo de plásticos de un solo uso”, estudiante 6), seguidas de aspectos relacionados con la salud (21 pruebas) (“[...] estás bebiendo agua con composición conocida, así evitas infecciones o enfermedades gastrointestinales”, estudiante 9). Cabe destacar que la gran mayoría de los estudiantes no justificaron sus conclusiones (media 0,59) y solo expusieron las pruebas que consideraron oportunas. Respecto a la conclusión, aunque todos alcanzaron una, algunos participantes dudaron en sus decisiones, quedando esto reflejado en la media de este ítem (1,84 puntos).

Análisis de los argumentos del Microdebate

En primer lugar, se examina la calidad de las fuentes de información en la preparación del debate, y luego, se analizan los argumentos dados por los debatientes.

Análisis de la calidad de las fuentes de información en la preparación del debate

El análisis de las fuentes de información utilizadas por los debatientes y el presentador en la preparación de roles reveló el uso de forma mayoritaria de información contrastada (14/25, 56%) procedente de páginas webs gubernamentales españolas (Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social o Boletín Oficial del Estado) o internacionales (Organización Mundial de la Salud), webs de empresas productoras de agua o artículos publicados en revistas científicas (Journal of Medical of Toxicology, Environmental Science Europe). Del mismo modo también se emplearon webs de divulgación científica o artículos en prensa nacional (La Vanguardia, El Diario, etc.) (8/25, 32%) y webs con fuentes no contrastadas (3/25, 12%). Como se observa, los participantes utilizaron un 44% de fuentes de calidad media-baja, que deberían evitarse ya que en ellas se pueden confundir opiniones con pruebas científicas e incluso ofrecer información errónea.

Análisis de los argumentos dados en el debate

A continuación, se indican las pruebas y argumentos expuestas por el presentador y los debatientes.

El presentador expuso el tema del debate, definiendo los dos tipos de agua para consumo, sus fuentes, ventajas e inconvenientes de ambas, etiquetado o análisis a los que se someten, mostrando algunas pruebas como:

“El agua embotellada procede de diferentes fuentes, algunas de las cuales son comunes al agua del grifo. Otras proceden de manantiales o son aguas minerales. En el etiquetado se debe especificar tanto el origen del agua como su composición química.” (Presentador).

“Son los municipios los que realizan un control periódico de la calidad del agua, controlando ciertos parámetros como olor, sabor, color, pH, presencia de microorganismos, de cloro y

de otros elementos químicos." (Presentador).

A continuación, el debatiente a favor del agua de grifo empleó argumentos basados en aspectos económicos, la calidad del agua o sus ventajas comparándola con el agua embotellada. Estos argumentos quedan ilustrados en los siguientes ejemplos:

"El agua de nuestra ciudad es totalmente segura para el consumo. La empresa municipal de aguas, expone que el agua que consumimos contiene una dureza de entre 95-100 mg/L, lo que la convierte en un agua de dureza baja o semiblanda." (Debatiente a favor del agua de grifo).

"El agua del grifo es más económica que el agua embotellada. El precio medio del agua embotellada, según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación fue de 0,20 €/L en 2020. [...] Por su parte, el precio medio del agua de grifo en España según la Organización de Consumidores y Usuarios es de 0,002 €/L". (Debatiente a favor del agua de grifo).

El debatiente en contra defendió su postura con argumentos basados en aspectos relacionados con el proceso de producción, la salud o la ventaja de uso en determinados casos, etc. Algunos ejemplos de argumentos fueron:

"El agua embotellada es más recomendable para algunos colectivos. Según la Organización Mundial de la Salud el consumo de determinadas aguas minerales es preferible para personas con tendencia a cálculos renales, inmunodeprimidas o bebés, debido a que este tipo de agua tiene una menor carga microbiana." (Debatiente a favor del agua embotellada).

"El agua embotellada presenta una mayor garantía frente a infecciones bacterianas en la red de abastecimiento doméstico. Pese a que el 74% de la población consta de servicios bien manejados para el consumo del agua según la Organización Mundial de la Salud, existen millones de personas que carecen de un buen acceso al agua, sanidad, higiene y salud, lo que causa 829 mil fallecimientos al año solo a causa de diarrea." (Debatiente a favor del agua embotellada).

Como se aprecia, tanto el presentador como los debatientes utilizan argumentos que incluyen pruebas y justificaciones para alcanzar la conclusión. Además, en su discurso indican que estas pruebas se apoyan en datos obtenidos de instituciones como la Organización Mundial de la Salud o la empresa municipal de aguas.

Decisión final y argumentos empleados

El diagrama Sankey (Figura 1) recoge los porcentajes de decisiones adoptadas por el alumnado antes y después del debate y los cambios de decisión que tienen lugar.

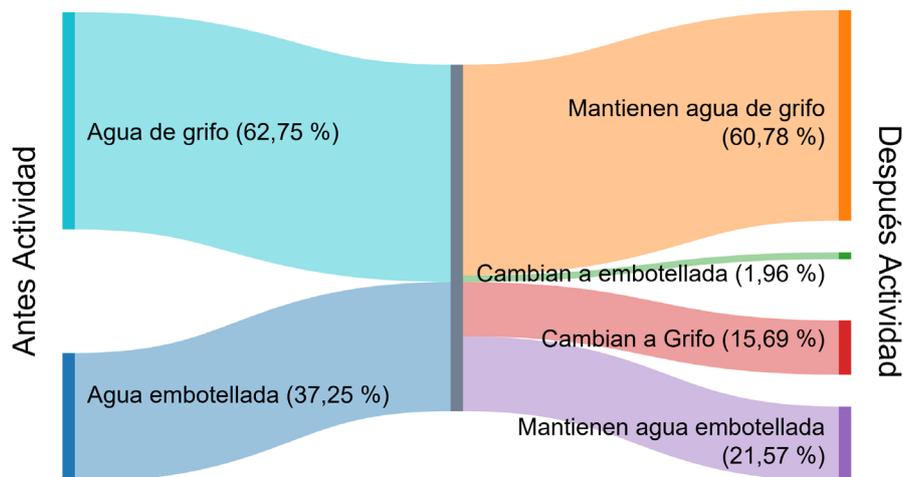


Figura 1. Diagrama Sankey

Se observa que, tras el *Microdebate*, el porcentaje de estudiantes a favor del consumo de agua de grifo aumentó notablemente, hasta el 76,47%. Destaca que el 60,80% de los que inicialmente optaron por esta decisión (62,75%) la mantuvo, como ilustra este ejemplo:

“Sigo opinando lo mismo que opinaba antes del debate. Creo que el agua del grifo es mejor porque en composición es parecida a la embotellada, pero nos ahorramos los problemas del plástico, su precio y su distribución” (Estudiante 40, mantiene su postura).

Por el contrario, en el momento final el alumnado a favor del agua embotellada fue del 23,53%, observándose una disminución importante respecto a la decisión inicial. Del alumnado inicialmente con esta postura (37,25%), solo el 21,57% la mantuvo, como recoge este ejemplo:

“Pienso que el agua embotellada es mejor solución, porque el agua del grifo con tantas sales que tiene puede provocar daños renales. A parte de provocar daños renales las tuberías del grifo según la normativa deben tener un seguimiento cada año ya que las tuberías sueltan metales pesados, y esos metales son más perjudiciales para la salud.” (Estudiante 41, mantiene su postura).

El debate hizo que un 17,65% del total de estudiantes cambiara su postura mayoritariamente hacia agua de grifo. Algunos argumentos dados para justificar el cambio de decisión fueron:

“Mi decisión final es consumir agua embotellada porque gracias al etiquetado sabemos la composición que tiene y la probabilidad de contaminación es menor que en la del agua del grifo. Además, en caso de desastres naturales o en países con suministros de agua deficientes es necesario este tipo de agua. Sin embargo, creo que se podría cambiar el formato de almacenamiento para evitar el uso de plásticos.” (Estudiante 2, cambio de opinión de agua de grifo a embotellada).

“El agua del grifo presenta las mismas características que el agua embotellada, ambas presentan un control de calidad y unos análisis. El precio del agua del grifo contamina menos por el desuso de plástico.” (Estudiante 39, cambio de opinión de agua embotellada a de grifo).

De la comparación del análisis de argumentos realizado antes y después del Microdebate (tabla 3), se aprecia, por un lado, que todo el alumnado fue capaz de exponer una conclusión clara y precisa, justificándola principalmente con pruebas de tipo ambiental y en torno a la composición y calidad del agua. Además, también mejoraron significativamente las justificaciones respecto a los argumentos iniciales (media de 1,18 puntos en decisión final frente a 0,59 en decisión inicial).

Todos estos avances se reflejan en el aumento de la calidad de los argumentos, alcanzándose una media de 2,63, valor comprendido entre el nivel 2 y 3 de la propuesta de Erduran (2008) (tabla 2). En este sentido, la Figura 2 recoge la distribución de la calidad de los argumentos en los distintos niveles de la rúbrica mostrando la frecuencia de estudiantes en cada uno de ellos, antes y después de la actividad.

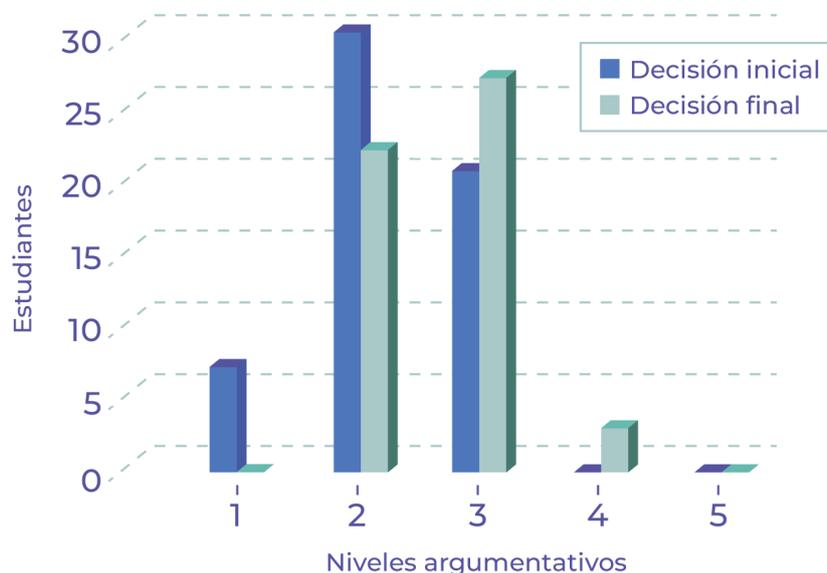


Figura 2. Distribución de niveles de calidad en los argumentos, antes y después de la actividad, según la Tabla 2.

Como se observa, en los dos momentos de intervención, la calidad de los argumentos se concentra en los niveles 2 y 3, siendo algo mejores en la decisión final donde también aparecen algunos argumentos de nivel 4.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de argumentos con idea de apreciar los diferentes niveles de calidad argumentativa alcanzado por los estudiantes:

- “La verdad es que no tengo ninguna preferencia, en mi familia prefieren algunos embotellada y otros les da igual si es del grifo.” (Estudiante 51, decisión inicial). (Calidad argumentativa de nivel 1).
- “Consumir agua del grifo es menos contaminante y más económico.” (Estudiante 50, decisión inicial). (Calidad argumentativa de nivel 2).
- “El agua de grifo puede contener cal u otros componentes y microorganismos dañinos para nosotros. En muchos casos no se dispone de utensilios que permiten filtrar adecuadamente

el agua que procede del grifo, por lo que considero que el agua embotellada supone una opción más segura y saludable.” (Estudiante 27, decisión inicial). (Calidad argumentativa de nivel 3).

· “Sigo estando a favor del agua del grifo ya que es más barato y está disponible en casi cualquier sitio de España, no requiere del uso de plástico y pasa por multitud de controles, por lo que su consumo es seguro. Para embotellar 1 litro de agua necesitamos 3 litros de agua, por lo que el impacto ambiental es mucho mayor [...], y eso sin tener en cuenta los residuos que generan los plásticos.” (Estudiante 28, decisión final). (Calidad argumentativa de nivel 4).

A nivel estadístico, la actividad planteada tuvo un impacto importante en la mejora de elaboración de argumentos en los participantes, detectando la prueba bilateral de Wilcoxon (Tabla 4) diferencias significativas en los tres elementos del argumento, en la calidad de los argumentos y en todos los tipos de pruebas excepto en las relacionadas con la salud, en todos los casos a favor del momento final. No se detectaron diferencias en las ideas personales o experiencias vividas, lo que se considera positivo.

Tabla 4. Prueba bilateral de Wilcoxon para los distintos elementos del argumento entre las decisiones inicial y final

Elemento del argumento		Prueba de Wilcoxon		
		Z	P	Significatividad
Argumento Completo	Calidad del Argumento	-3,771	0,002	A favor de decisión final
Conclusión	Conclusión	-2,530	0,002	A favor de decisión final
Justificación	Justificación	-3,128	0,000	A favor de decisión final
Pruebas	Número de pruebas	-4,696	0,144	No existen diferencias
	Tipo salud	-1,461	0,023	A favor de decisión final
	Tipo economía	-2,268	0,000	A favor de decisión final
	Tipo composición y calidad del agua	-3,900	0,000	A favor de decisión final
	Tipo ambiental	-2,294	0,022	A favor de decisión final
	Ideas personales	0	1,00	No existen diferencias

Conclusiones

Los resultados obtenidos, avalados por pruebas estadísticas, revelan que la actividad *Microdebate* tiene un importante potencial para desarrollar habilidades de pensamiento crítico en contextos de enseñanza relacionados con problemas de la vida diaria donde la ciencia y la tecnología tienen un papel importante, como es el contexto del consumo de agua del grifo o agua embotellada.

Por una parte, la actividad ofrece oportunidades para elaborar argumentos y contraargumentos contrastando diferentes puntos de vista procedentes de distintas fuentes

de información, y donde se observaron avances en el número de pruebas empleadas, en sus justificaciones y conclusiones, además de en la calidad argumentativa. Por otra parte, se promueve una toma de decisiones reflexionada y crítica, que en algunos estudiantes produjo cambios de decisión.

A pesar de sus ventajas, la actividad tiene aún aspectos de mejora. Uno de ellos se relaciona con la calidad argumentativa alcanzada por los estudiantes que se sitúa mayoritariamente en los niveles 2 y 3 de argumentación propuestos por Erduran (2008), es decir, argumentos que en el mejor de los casos solo incluyen pruebas, conclusiones y justificación. Se necesita, por tanto, que el alumnado mejore en la producción de argumentos con cualificadores, respaldo teórico y que incluyan también contraargumentos. Como propuesta para lograrlo, se pretende incluir en la actividad un análisis posterior de los argumentos utilizados identificando los elementos argumentativos presentes y tratando de enriquecerlos con nuevas aportaciones.

Sobre la toma de decisiones, la actividad pone de manifiesto que, si no disponemos de una información de calidad contrastada para hacer la elección, pueden influir en los estudiantes los argumentos de otras personas, tal y como ocurrió en el debate, manifestado con los cambios de decisión que tuvieron lugar.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Proyecto I+D+i «Ciudadanos con pensamiento crítico: Un desafío para el profesorado en la enseñanza de las ciencias», referencia PID2019-105765GA-I00, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033. El estudio se realizó de acuerdo con el protocolo aprobado por el Comité Ético de Experimentación de la Universidad de Málaga (CEUMA) referencia 31-2022-H.

Referencias bibliográficas

- Arnold, E. y Larsen, J. (2006). *Bottled water: pouring resources down the drain*. Earth Policy Institute.
- Caracuel, M., Lupión, T. y Blanco, A. (2020). Decisiones y justificaciones entre natural versus no natural en el consumo de un producto alimentario por estudiantes de 14-15 años. Un estudio piloto. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1203.
- Cebrián, D., Franco-Mariscal, A.J., y Blanco, A. (2021). Secuencia de tareas para enseñar argumentación en ciencias a profesorado en formación inicial a través de CoRubric. Ejemplificación en una actividad sobre una central salina. *Revista Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 40, 149-168.
- Erduran, S. (2008). Methodological foundations in the study of argumentation in science classroom. In: M. P. Jiménez-Alexandre y S. Erduran (Eds.), *Argumentation in Science Education. Perspectives from classroom-based research* (pp. 47-69). Springer.

- Erduran, S., Simon, S., y Osborne, J. (2004). Tapping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915- 933.
- Ferrier, C. (2001). Bottled water: understanding a social phenomenon. *A Journal of the Human Environment*, 30(2), 118-140.
- Gleick, P.H. y Cooley, H.S. (2009). Energy implications of bottled water. *Environmental Research Letters*, 4, 14009-14015.
- Henao, B.L. y Stipcich, M.S. (2008). Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), 47-62.
- Hierrezuelo, J.M., Brero, V. y Franco-Mariscal, A.J. (2020). ¿Es saludable una dieta vegana? Un dilema para desarrollar el pensamiento crítico a través de la argumentación y la toma de decisiones en la formación inicial de maestros. *Ápice, Revista de Educación Científica*, 4(2), 73-88.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. (2010). 10 ideas clave. *Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Martínez-Bernat, F.X., García-Ferrandis, I. y García-Gómez, J. (2019). Competencias para mejorar la argumentación y la toma de decisiones sobre conservación de la biodiversidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(1), 55-70.
- Siegel, H. (1995). Why Should Educators Care about Argumentation? *Informal Logic: Reasoning and Argumentation in Theory and Practice*, 17(2), 159-176.
- Toulmin, S. (2003). *The uses of argument*. 3rd. edition. Cambridge: University Press.
- Varela M.P., Blanco, P. y Díaz de Bustamante, J. (2020). Establecimiento de líneas argumentativas en la resolución de un problema con enzimas. *Enseñanza de las Ciencias*, 38(2), 163-180.
- von Winterfeldt, D. (2013). Bridging the gap between science and decision making. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110 (Suppl 3), 14055-14061.
- Zohar, A. y Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 35-62.

Para seguir leyendo

• **Tesis Doctoral sobre el consumo de agua embotellada:**

Rodríguez Mora, F. (2016). "El consumo de agua de bebida envasada como contexto para el desarrollo de competencias científicas. Un estudio de caso en 3º curso de la Educación Secundaria Obligatoria". Tesis Doctoral. Málaga: Universidad de Málaga. Disponible en:

https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/13315/TD_RODRIGUEZ_MORA_Francisco.pdf?sequence=1

• ***Sobre cómo abordar prácticas científicas en torno al problema del agua envasada:***

Blanco, A., España, E., Franco-Mariscal, A.J. y Rodríguez, F. (2018). Competencias y prácticas científicas en problemas de la vida diaria. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 92, 45-51.

Sitios web recomendados

• ***Investigación del Instituto de Salud Global de Barcelona (España) sobre el impacto ambiental del agua embotellada y del grifo:***

<https://www.isglobal.org/-/el-impacto-ambiental-del-agua-embotellada-es-hasta-3-500-veces-mayor-que-el-del-agua-del-grifo>

CAPÍTULO 5

Desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en la educación ambiental para la sostenibilidad a través de prácticas científicas de indagación y argumentación

María del Mar López-Fernández¹ y Antonio Joaquín Franco-Mariscal²

^{1,2}Universidad de Málaga. Didáctica de las Ciencias Experimentales. Málaga (España).

¹mmarlf@uma.es; ²anjoa@uma.es

Resumen

La educación para la sostenibilidad consiste en un proceso de formación continua de la ciudadanía que pretende que las personas estén informadas, implicadas, posean habilidades de pensamiento crítico y una fundamentación científica que les permita resolver problemas con actuaciones responsables. Este capítulo presenta cuatro propuestas para desarrollar habilidades de pensamiento crítico en la educación ambiental para la sostenibilidad en la etapa de educación secundaria mediante las prácticas científicas de indagación y argumentación. En todos los casos se abordan grandes problemas ambientales con consecuencias en la sociedad. Por un lado, a través de la indagación se trata, en primer lugar, el aumento de la temperatura del planeta y, por otra, la degradación de los materiales. Las propuestas argumentativas giran en torno a la contaminación por microplásticos y la alimentación sostenible.

Palabras clave: pensamiento crítico, prácticas científicas, educación ambiental, educación para la sostenibilidad, indagación, argumentación.

Introducción

En los últimos tiempos la tecnología, la medicina, la organización de las ciudades o las comunicaciones han sufrido una transformación considerable. Del mismo modo ha ocurrido con los pilares en los que se asienta nuestra cultura occidental actual: producir, comprar y vender, sin cuestionar la calidad o funcionalidad de las cosas que consumimos y confiados

en un progreso lineal e indefinido de crecimiento. Sin embargo, este proceso de desarrollo está repleto de efectos negativos surgidos de los excesos, el consumo desmedido la falta de precaución o la escasez de límites en la explotación de recursos y la acumulación de residuos (Novo, 2009). Esta situación hace que se hable de emergencia planetaria donde los daños y las consecuencias son “globales” (globales a la vez que locales) porque la problemática ambiental a la que nos enfrentamos abarca más cuestiones, además de a los propios seres humanos, como el agotamiento de los recursos, la contaminación local o el cambio climático. Es una situación tan compleja que requiere de enfoques que integren todas las realidades, desde la economía hasta la conservación del medio (Vilches y Gil, 2009).

El desarrollo sostenible lo entendemos como la idea de hacer frente a las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de las futuras generaciones (Gómez, 2020). La educación para la sostenibilidad consiste en un proceso de formación continua de la ciudadanía que pretende que las personas estén informadas, implicadas, posean habilidades de pensamiento crítico y una fundamentación científica que les permita resolver problemas con actuaciones responsables, tanto a nivel individual como colectivo. Estas actuaciones deben apostar por un futuro sostenible, viable en el futuro, desde el punto de vista ecológico (Leal, 2009).

Educación para la sostenibilidad no es lo mismo que educación ambiental. La educación para la sostenibilidad demanda de diferentes movimientos como la educación ambiental, la educación económica o la educación para el desarrollo, entre otros muchos enfoques, para lograr un futuro sostenible (Leal, 2009). A nivel mundial, esta sostenibilidad se aborda a través de los denominados Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que no son más que los problemas surgidos de nuestras relaciones y del uso que estamos haciendo de la naturaleza, y a los que debemos buscar soluciones para alcanzar un equilibrio con la naturaleza.

No cabe duda de que la ciencia y la tecnología tienen un gran impacto en la ciudadanía y que la sociedad necesita de conocimiento científico en su vida diaria, debido a los riesgos y situaciones actuales que surgen continuamente. Afortunadamente, la enseñanza de las ciencias dispone de enfoques adecuados para abordar estos problemas en el aula, entre los que destacan las prácticas científicas de indagación y argumentación.

La indagación es una forma de plantear preguntas en ciencias, buscar información y encontrar nuevas ideas relacionadas con una situación o problema. A través de esta práctica científica los estudiantes aprenden y utilizan la causa y el efecto, el pensamiento relacional y crítico, combinando tanto el conocimiento científico como las habilidades y destrezas (Duran y Dökme, 2016). Mediante la indagación los estudiantes aprenden conceptos científicos a la vez que mejoran las habilidades de pensamiento crítico (National Research Council, 1996). Se trata de un enfoque instructivo en el que el alumnado puede adquirir información y mejorar sus habilidades de pensamiento crítico mediante el descubrimiento e investigación en entornos auténticos (Hwang y Chang, 2011).

La argumentación es una práctica científica que consiste en ser capaz de evaluar afirmaciones basadas en pruebas e implica reconocer que, en la ciencia, las conclusiones deben estar justificadas, es decir, respaldadas por pruebas (Jiménez-Aleixandre, 2010).

La argumentación científica ayuda al alumnado a pensar de una forma crítica y reflexiva mediante la construcción y evaluación de argumentos (Erduran, Simon y Osborne, 2004). Dichas pruebas deben estar fundamentadas en un conocimiento científico y tecnológico que faciliten la toma de decisiones en situaciones cotidianas.

En definitiva, indagación y argumentación pueden contribuir de forma considerable a avanzar en el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico de los estudiantes. En esta línea, este capítulo aborda el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico en la educación ambiental para la sostenibilidad en la etapa de educación secundaria a través del enfoque de prácticas científicas en cuatro grandes problemas ambientales con consecuencias para la sociedad: el aumento de la temperatura del planeta, la degradación de los materiales, la contaminación por microplásticos y la alimentación sostenible.

Indagación y pensamiento crítico

Esta sección presenta dos indagaciones, la primera de ellas sobre el aumento de la temperatura del planeta y la segunda sobre la degradación de los materiales en el medio natural.

Propuesta de indagación 1. Ciudades contra el calor

Justificación de la propuesta

Las ciudades son islas de calor urbanas, entendido este término como zonas en las que la temperatura aumenta con respecto al entorno natural. Esto se debe a diferentes factores como los materiales empleados, los colores o la presencia de vegetación. Los estudios muestran que existen estrategias para mitigar el calor como la reforestación de las ciudades, la promoción de azoteas verdes y frescas o las superficies de colores claros, entre otras (Villanueva, Ranfla y Quintanilla, 2013).

Objetivo de la propuesta

Su objetivo es realizar una indagación sobre los factores que influyen en la temperatura de las ciudades y concienciar al alumnado sobre algunas estrategias para mitigar esta cuestión. Esta propuesta permite trabajar los ODS 4 (educación de calidad), 11 (ciudades y comunidades sostenibles) y 13 (acción por el clima).

Descripción de la propuesta

Consiste en una indagación que dé respuesta al problema ¿qué características de los suelos y tejados de las ciudades contribuyen a aumentar la temperatura ambiental? En primer lugar, se introduce el concepto de ciudad como isla de calor y, a continuación, se pide a los estudiantes que identifiquen las variables implicadas en el problema y que formulen hipótesis sobre las mismas. La Tabla 1 recoge algunas variables dadas por el alumnado.

Tabla 1. Posibles variables a investigar durante la indagación

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Color de las superficies	Blanco, negro, gris
Forma del tejado	Plano, inclinado, a dos aguas
Material	Asfalto, cemento, madera, césped, plástico

A partir de estas variables los estudiantes deben diseñar experimentos que permitan responder a la pregunta inicial. El docente actúa como guía en el proceso, ayudándoles a través de cuestiones orientadas a identificar las variables independientes (¿qué vas a modificar en cada experimento?), controladas (¿qué variables vas a mantener constante en todos los experimentos?) y dependientes (¿qué vas a medir?). Se recomienda que para el diseño de cada experimento se elija una o dos variables independientes (p.e. color, forma del material) y que la variable dependiente sea la temperatura. La tabla 2 muestra un ejemplo de propuesta de diseño de experimentos.

Tabla 2. Diseños experimentales

	VARIABLE		
	Independiente	Independiente	Controlada
Experimento	Color de la superficie	Forma de tejado	Material
1	Negro	A dos aguas	Cartulina
2	Negro	Horizontal	Cartulina
3	Blanco	A dos aguas	Cartulina
4	Blanco	Horizontal	Cartulina
5	Verde	A dos aguas	Cartulina
6	Verde	Horizontal	Cartulina

El alumnado realiza los experimentos en pequeños grupos simulando las estructuras con materiales sencillos como cartulinas de diferentes colores, cartón doblado con diferentes formas o distintos tipos de plásticos. Para ello, coloca el material bajo una fuente de calor (una lámpara) junto con un termómetro y mide la temperatura alcanzada en cada experimento a diferentes intervalos de tiempo (Figura 1).

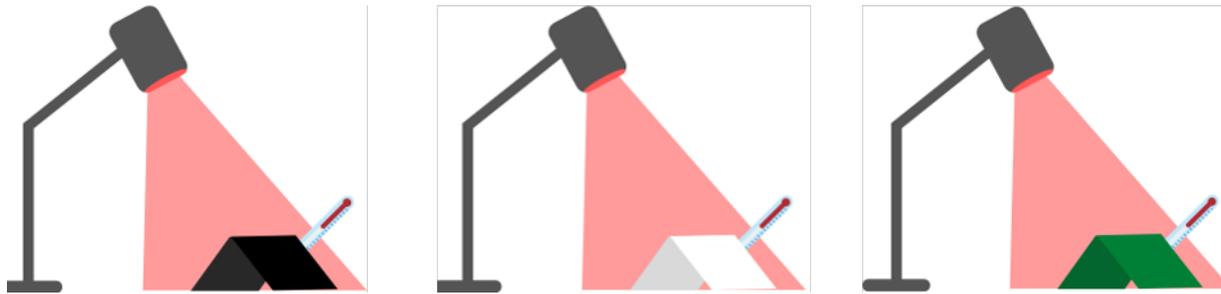


Figura 1. Simulación de los experimentos

Para finalizar, se realiza una puesta en común de los resultados y se emiten conclusiones. Algunas preguntas orientativas pueden ser ¿qué características de los suelos y tejados de las ciudades contribuyen a aumentar la temperatura ambiental?, ¿qué colores favorecen el incremento de la temperatura en las ciudades? ¿cuáles contribuyen a que la temperatura sea más agradable?, ¿qué materiales son más amigables con las temperaturas?, ¿cómo afecta esto a la temperatura?, etc.

Propuesta de indagación 2. Degradación de materiales en el medio

Justificación de la propuesta

La actividad humana genera grandes cantidades de desechos que, principalmente mediante los ríos, son transportados hasta mares y océanos o directamente se depositan en ellos. Como consecuencia, muchos ecosistemas y fundamentalmente los marinos, se encuentran en un nivel crítico de contaminación. Algunos contaminantes se disuelven en el agua, como los nutrientes o los metales pesados, sin embargo, otros como los plásticos u otros materiales permanecen suspendidos en el agua (Escobar, 2002).

Objetivo de la propuesta

Realizar una indagación en torno a la degradación de materiales en el medio natural para desarrollar concienciación en el alumnado sobre los problemas de contaminación ambiental, así como tratar algunas estrategias para mitigar esta cuestión. Esta actividad permite trabajar los ODS 4 (educación de calidad), 14 (vida submarina) y 15 (vida de ecosistemas terrestres).

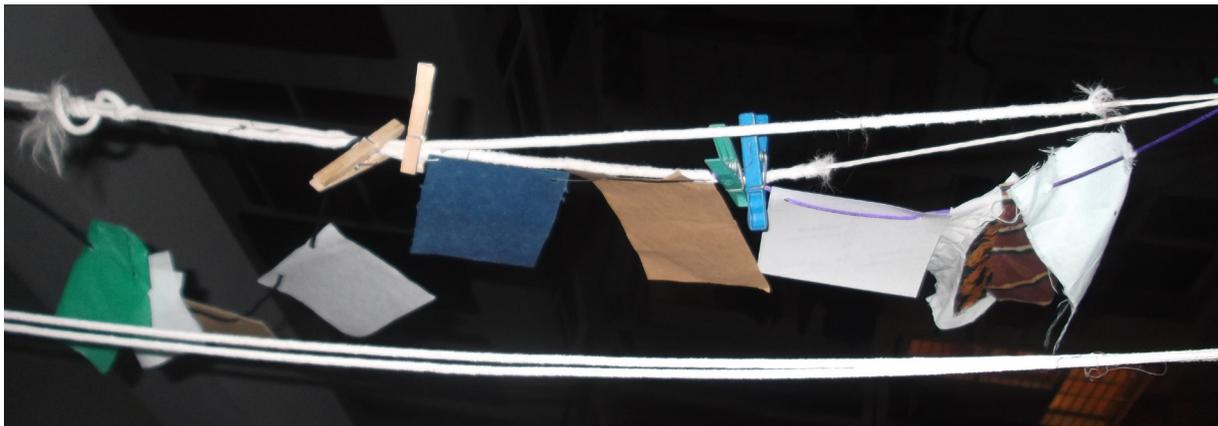
Descripción de la propuesta

Esta indagación aborda el proceso de degradación de diferentes materiales de uso cotidiano (papel, cartón, plástico, tela). Se plantea a través de la pregunta ¿todos los materiales se degradan por igual de forma natural? Para ello, los estudiantes deben identificar diferentes variables implicadas en la degradación de materiales y formular hipótesis al respecto ayudados por el docente. La tabla 3 recoge posibles variables a tener en cuenta.

Tabla 3. Posibles variables a investigar durante la indagación

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Tipo de material	Papel, cartón, tela, plástico, etc.
Tamaño del material	10x10 cm., 15x30 cm., 20x15 cm., etc.
Duración de la exposición	Una semana, un mes, un año, etc.
Lugar de exposición	A la intemperie, en un patio, etc.

Como variables independientes es interesante comparar diferentes materiales como papel, cartón o plástico que pueden ser expuestos a las condiciones climatológicas (Figura 2). A modo de ejemplo, las variables controladas pueden ser las dimensiones de los materiales, la duración del experimento, el lugar de exposición o la forma de sujeción del material.

**Figura 2.** Muestras sometidas a condiciones ambientales durante los experimentos.

Es importante que el alumnado diseñe una tabla donde anotar las observaciones periódicas que vayan teniendo lugar (variables dependientes) como cambios de color, aparición de dobleces, roturas o manchas, etc., así como las condiciones climatológicas de cada día (temperatura, humedad, lluvia, nieve, etc.) para poder relacionar de forma argumentada los cambios con las mismas. De esta forma recogen y analizan datos. También deben tomar fotografías de los materiales durante períodos de tiempo iguales para apreciar mejor los cambios que van apareciendo. La Tabla 4 ilustra la degradación sufrida de un trozo de papel, un cartón grueso de almacenaje y una bolsa de plástico en un período de 100 días donde no predominó la lluvia como elemento principal meteorológico.

Tabla 4. Degradación observada en diferentes materiales en 100 días

	TROZO DE PAPEL	CARTÓN GRUESO DE ALMACENAJE	TETRABRIK DE LECHE
ESTADO INICIAL DE LA MUESTRA			
ESTADO FINAL DE LA MUESTRA			

Al finalizar la recogida de datos, se ponen en común los resultados y se plantean las conclusiones que deben dar respuesta al problema inicial. Para guiar las conclusiones el docente realiza preguntas abiertas como ¿cuál es el material más resistente?, ¿por qué algunos materiales no han sufrido cambios? o ¿qué consecuencias puede tener esto en el medio ambiente? Se debe insistir especialmente en la lenta degradación sufrida por los plásticos y su impacto ambiental.

Habilidades de pensamiento crítico en las indagaciones

Ambas indagaciones permiten desarrollar diferentes habilidades de pensamiento crítico. Por una parte, el tratamiento de un problema de una forma integral (Blanco, España y Franco-Mariscal, 2017) promueve el abordaje de las distintas implicaciones que tienen lugar. Así, en el caso de la indagación en torno a las ciudades contra el calor permite trabajar implicaciones sociales, ambientales, sanitarias, tecnológicas, etc. Las implicaciones sociales aparecen porque afectan a todas las personas que viven en las ciudades mientras que las implicaciones ambientales están presentes porque el cambio climático no contribuye a solucionar el problema y algunas de las propuestas como el uso de aires acondicionados solo incrementan aún más la situación. Además, las implicaciones sanitarias surgen como consecuencia de que el incremento de las temperaturas aumenta también el riesgo de golpes de calor, problemas de asma, alergias, así como otras enfermedades. Estas implicaciones deben discutirse en el transcurso de la indagación, y en particular, en las conclusiones.

Por otra parte, mientras que el pensamiento analítico permite a los estudiantes definir las similitudes y diferencias en las variables y tendencias en los datos, el pensamiento crítico les ayuda a definir la causa de un cambio en cada variable y el efecto de una variable sobre otras. A través del pensamiento crítico los alumnos y alumnas pueden recurrir a muchos

recursos diferentes para explicar los acontecimientos y predecir resultados (DiPasquale, Mason y Kolkhorst, 2003).

Por último, la indagación pone el énfasis en comprender y explorar fenómenos científicos, así como mejorar la resolución del problema, la discusión científica y la construcción de estructuras cognitivas y el trabajo en grupo (Tseng, Tuan y Chin, 2012). Asimismo, a través de las discusiones que tienen lugar los estudiantes se sienten como auténticos científicos y pueden aprender a abordar los problemas de una forma crítica (De Boer, 2000).

Argumentación y pensamiento crítico

Este apartado recoge dos propuestas relacionadas con la práctica científica de argumentación en torno a la contaminación por microplásticos y la alimentación sostenible.

Propuesta de argumentación 3. Pajitas de refresco y microplásticos en los polos, ¿están relacionados?

Justificación de la propuesta

El consumo de objetos de plástico está en aumento, y con ello su deposición en los ecosistemas, mayoritariamente marinos. Los plásticos son materiales resistentes que no se degradan. Los efectos del medio ambiente, como la radiación o las corrientes marinas, causan su fragmentación física en partículas cada vez más pequeñas y fáciles de dispersar. Las partículas inferiores a cinco milímetros se denominan microplásticos y actualmente las podemos encontrar en casi cualquier parte del mundo, incluidos los polos de la Tierra (Anfuso et al., 2020; Bergami et al., 2020).

Objetivo de la propuesta

Su objetivo es que los estudiantes elaboren un diagrama de flujo que explique de forma argumentada la relación existente entre el consumo de plásticos y la presencia de microplásticos en los polos terrestres. Del mismo modo, se pretende también desarrollar concienciación en el alumnado sobre las consecuencias ambientales, sociales y económicas de este problema. Esta actividad aborda los ODS 4 (educación de calidad), 14 (vida submarina) y 15 (vida de ecosistemas terrestres).

Descripción de la propuesta

En primer lugar, se plantea el problema sobre si existe alguna relación entre usar pajitas de refresco y la aparición de microplásticos en los polos. Se pide al alumnado realizar en pequeños grupos un diagrama de flujo que trate de explicar esta posible relación. Para ayudar en su elaboración se facilitan algunas tarjetas (Figura 3) que representan algunos pasos intermedios en el proceso y que se deben incluir en el diagrama. El docente debe actuar como guía para que los estudiantes logren el objetivo, interviniendo en aquellos pasos más complejos. Por último, se realiza una puesta en común.

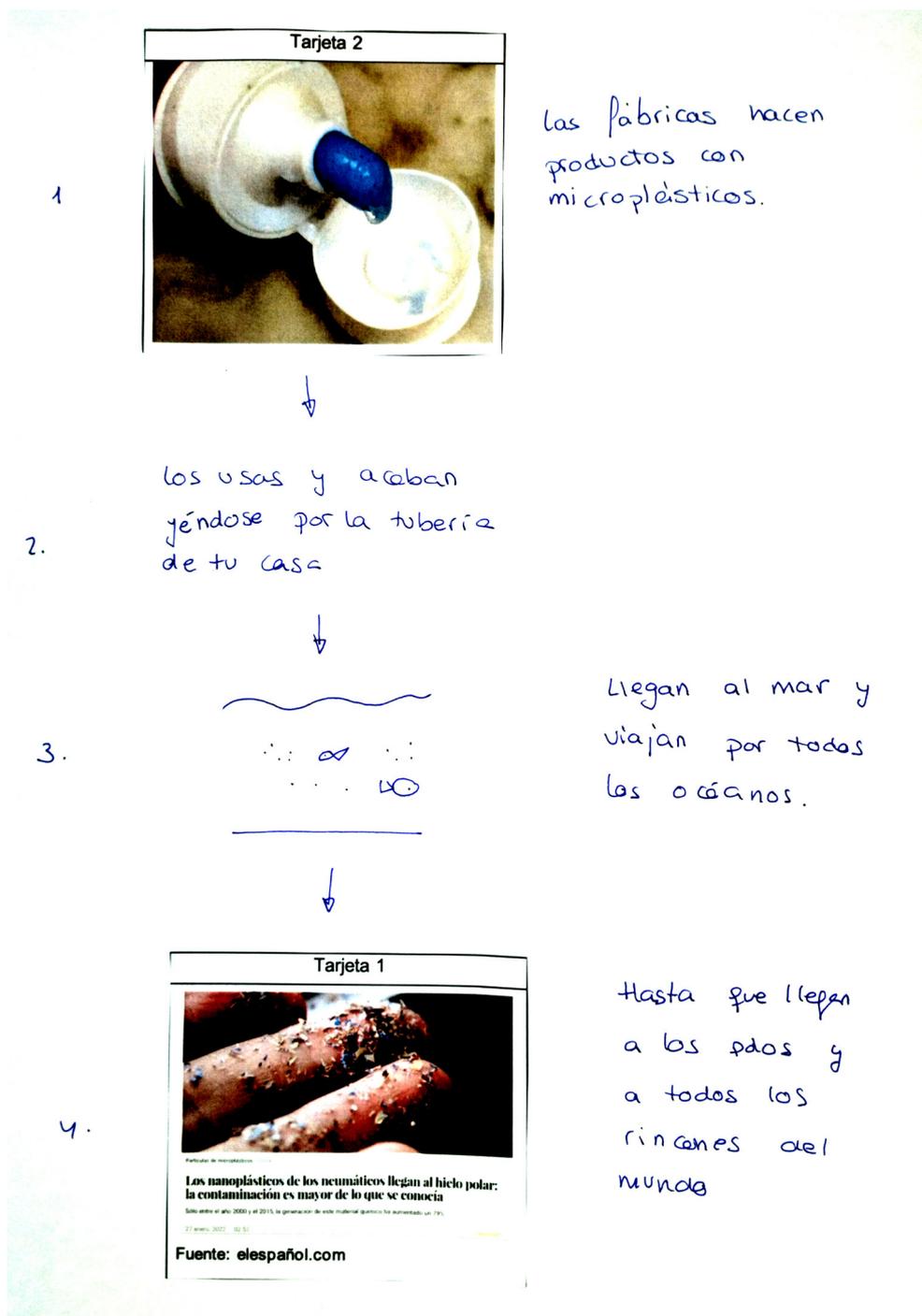
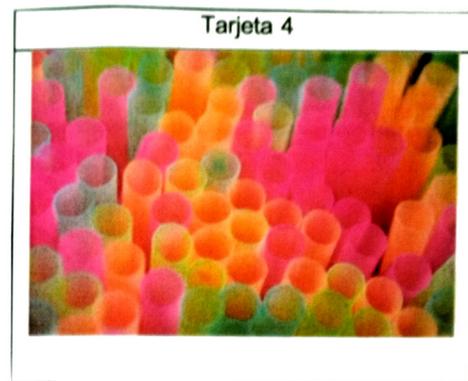


Figura 3. Ejemplos de elementos a incluir en el flujograma

La Figura 4 muestra dos diagramas de flujo elaborados por estudiantes de secundaria. Como se aprecia, los estudiantes construyen el diagrama centrándose principalmente en pruebas, pero no apoyándose en justificaciones. Por ello, el docente debe aprovechar estos diagramas para que el alumnado aporte distintas justificaciones a esas pruebas, enriqueciendo de esta forma los argumentos que presentan.



Hay microplásticos en muchos productos



Usamos plásticos para todo

se desechan



llegan al mar

no todos se reciclan

se fragmentan más

circulación oceánica



Figura 4. Diagramas de flujo realizados por los estudiantes

Propuesta de argumentación 4. Alimentos que dejan huella

Justificación de la propuesta

La industria alimentaria se fundamenta en grandes avances científicos con efectos tanto para la agricultura, el procesamiento de alimentos, su transporte o su consumo. Es importante que el alumnado vea la importancia de ello para la sociedad, la necesidad del desarrollo tecnológico para que este proceso suceda, así como los impactos ambientales ocasionados. La alimentación derivada de la agricultura intensiva o el consumo de alimentos producidos en el otro hemisferio del mundo genera problemas no solamente ambientales, también está ligado al hambre en otras zonas del mundo, la pérdida de suelo fértil o la sequía. Las soluciones deben ser integrales, contemplando a las sociedades agrícolas, las cuestiones culturales ligadas, las necesidades sociales y, por supuesto, apostando por la sostenibilidad.

En resumen, el modelo productivo de alimentos se ha transformado y un aspecto a considerar es su impacto ambiental. La huella de carbono de los alimentos pretende dar a conocer las emisiones de dióxido de carbono directas e indirectas de toda la cadena de producción, considerando otros aspectos como el consumo de agua o los kilómetros recorridos desde su origen (Aguilera et al., 2020). De esta manera, debemos tomar conciencia de que nuestra alimentación genera un impacto global en el ambiente.

Objetivo de la propuesta

Su finalidad es conocer el problema de la alimentación entendiendo el impacto ambiental de los alimentos que consumimos y concienciando sobre su influencia respecto al hambre en otras partes del mundo. Esta actividad permite trabajar los ODS 2 (hambre cero), 4 (educación de calidad) y 12 (producción y consumo responsable).

Descripción de la propuesta

Los estudiantes, trabajando en grupo, deberán realizar una compra simulada para hacer una ensalada con un presupuesto máximo de cinco euros. Deberán escoger entre alimentos de diferente origen, características, modelos productivos, etc. Cada alimento reflejará una breve descripción, su precio, su origen y el valor energético que presenta. Una vez finalizada la compra, los estudiantes calculan la huella de carbono de su cesta a partir de la información proporcionada por el docente sobre las emisiones de dióxido de carbono que conlleva producir y transportar cada alimento. Durante esta tarea rellenan una ficha en la que muestran los alimentos elegidos, el porqué de su elección, el coste y el cálculo de la huella de carbono (Figura 5).

Responde a las siguientes cuestiones en grupo:

¿Qué alimentos has elegido? Mencionalos, indicando nombre, cantidad y precio

Aceite de oliva	- 625 ml - 0'37€	Pollo	- 200g - 0'32€
Masa (lata)	- lata (50g) - 0'8€	Frutos secos	- 100g - 1€
Huevo	- 2 huevos - 0'34€	Cebolla	- 250g - 0'23€
Lechuga de huerta	- 500g - 0'75€		
Tomate huerta	- 400g - 0'4€		
Zanahoria	- 100g - 0'07€		

¿Por qué los has elegido? ¿En qué aspectos te has fijado?

Hemos elegido esos alimentos porque son los que más nos gustan para añadir a nuestra ensalada. Además, hemos elegido los justos para que encajasen en nuestro presupuesto.

¿Cuál ha sido el presupuesto total?

En total, la ensalada nos ha costado 4,28€.

¿Cuánta cantidad de CO₂ ha producido tu ensalada?

$$0,16 + 0,75 + 5 + 0,25 + 0,5 + 0,1 + 4,63 + 0,3 + 0,08 = 11,77 \text{ kg CO}_2$$

$$5,5 \cdot 10^6 + 7 \cdot 10^6 + 2 \cdot 10^7 = 3,25 \cdot 10^7 \text{ g CO}_2 / \text{A} \cdot \text{km} = 3,25 \cdot 10^4 \text{ kg CO}_2$$

$$\text{CO}_2 \text{ total} = 3,25 \cdot 10^4 + 11,77 = 32511,77 \text{ kg CO}_2$$

Figura 5. Ejemplo de ficha de la actividad cumplimentada por un grupo de estudiantes

A continuación, y con la información de la cantidad de dióxido de carbono emitida por cada alimento, cada grupo realiza una segunda compra con el mismo presupuesto debiendo elegir entre los mismos alimentos y volviendo a calcular la huella de carbono. En esta ocasión se pide que den argumentos sobre los siguientes aspectos: ¿has cambiado algún alimento entre una cesta de la compra y otra?, ¿qué cesta de la compra presenta menor huella ecológica?, ¿es importante conocer el origen de los alimentos para ayudarnos a saber cuál es su huella ecológica?, ¿nos fijamos en este tipo de características al hacer la compra?, ¿qué consecuencias puede tener la compra de alimentos sin contemplar su huella ecológica? o ¿cómo afecta nuestro consumo poco responsable a otras regiones del planeta que sufren escasez de alimentos? La Figura 6 muestra un argumento dado por uno de los grupos justificando la elección de alimentos en la segunda compra.

Como se observa, esta actividad fomenta la argumentación a través de una reflexión sobre la importancia de comprar alimentos locales, que además de favorecer a la economía de la ciudad, contribuye a la sostenibilidad del planeta.

Responde a las siguientes cuestiones en grupo:

¿Qué alimentos has elegido? Menciónalos, indicando nombre, cantidad y precio

lechuga de huerta, tomate de huerta, aceite de oliva virgen extra,
atún, queso de cabra criadas en libertad, pollo criado en libertad
y zanahoria.

¿Por qué los has elegido? ¿En qué aspectos te has fijado?

Porque todos vienen de España, por lo que el transporte no
produce mucho CO₂, y además son de huerta y respetan el
bienestar animal.

Figura 6. Argumento dado para justificar la elección en la segunda compra.

Habilidades de pensamiento crítico en las propuestas de argumentación

Ambas propuestas trabajan como principal habilidad de pensamiento crítico la argumentación. Supone que los estudiantes sean capaces de elaborar argumentos que presenten pruebas, justificaciones y conclusiones, y que, del mismo modo, sean capaces de construir contraargumentos para rebatir otras ideas con las que no están de acuerdo. Este tipo de tareas son fundamentales y permitirán avanzar al alumnado en la elaboración de argumentos cada vez más completos, que aporten distintas pruebas que consideren todos los aspectos relacionados con el problema, y que justifiquen la conclusión.

Además, la última propuesta aborda también la habilidad de toma de decisiones, puesto que es necesario que, durante la actividad, los estudiantes hagan elecciones racionales sobre los alimentos a elegir para que su cesta de la compra tenga la mejor huella de carbono. Esta toma de decisiones requiere previamente de un análisis crítico de la información, en este caso de la procedencia de cada alimento y forma de cultivo.

Reflexiones finales

Las problemáticas ambientales son reales y demandan medidas urgentes que hagan frente a esta situación, coordinadas desde tres áreas fundamentales: tecno-científicas, políticas o administrativas y educativas (Vilches y Gil, 2009). En este punto, la educación es clave y se deben fomentar propuestas de desarrollo de pensamiento crítico como las aquí planteadas.

No obstante, los problemas ambientales aquí abordados requieren de medidas complejas, pues deben tener en cuenta un entramado de elementos en distintos ámbitos (sociales, científicos, ambientales, económicos, etc.). Por ello, se debe tener extremado cuidado en no transmitir la idea de creer que es posible encontrar soluciones únicas, simples y concretas para cada problema individual, porque no existen. Los problemas son complejos y están todos enlazados, así como las soluciones requieren comprender todas las perspectivas y apostar

por actitudes conjuntas, desde un enfoque global. Es por ello, que necesitamos educar con habilidades de pensamiento crítico que les permitan entender que una pequeña acción en sus vidas diarias puede tener efectos globales, y para este fin las prácticas científicas de indagación y argumentación pueden ser muy útiles para contribuir desde la enseñanza de las ciencias a estos problemas ambientales.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Proyecto I+D+i «Ciudadanos con pensamiento crítico: Un desafío para el profesorado en la enseñanza de las ciencias», referencia PID2019-105765GA-I00, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033. El estudio se realizó de acuerdo con el protocolo aprobado por el Comité Ético de Experimentación de la Universidad de Málaga (CEUMA) referencia 31-2022-H.

Referencias bibliográficas

- Aguilera, E., Piñero, P., Infante, J., González de Molina, M., Lassaletta, L. y Sanz Cobeña, A. (2020). Emisiones de gases de efecto invernadero en el sistema agroalimentario y huella de carbono de la alimentación en España. Real Academia de Ingeniería, Madrid, España.
- Anfuso, G., Bolívar, H.J., Asensio, F., Manzolli, R.P., Portz, L. y Daza, D.A. (2020). Beach litter distribution in Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111657.
- Bergami, E., Rota, E., Caruso, T., Birarda, G., Vaccari, L. y Corsi, I. (2020). Plastics everywhere: first evidence of polystyrene fragments inside the common Antarctic collembolan *Cryptopygus antarcticus*. *Biology Letters*, 16(6), 20200093.
- Blanco, Á., España, E. y Franco-Mariscal, A.J. (2017). Estrategias didácticas para el desarrollo del pensamiento crítico en el aula de ciencias. *Ápice, Revista de Educación Científica*, 1(1), 107-115.
- De Boer, G.E. (2000). Scientific literacy: another look at its historical and contemporary meanings and its relationships to science education reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 583-599.
- DiPasquale, D.M., Mason, C.L. y Kolkhorst, F.W. (2003). Exercise in inquiry. *Journal of College Science Teaching*, 32, 388-393.
- Duran, M. y Dökme, I. (2016). The effect of the inquiry-based learning approach on student's critical thinking skills. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(12), 2887-2908.
- Erduran, S., Simon, S. y Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's Argument Pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915-933.
- Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. CEPAL, Santiago de Chile, Chile.

- Gómez, I. (2020). Desarrollo sostenible. Editorial Elearning, S.L. Madrid, España.
- Hwang, G.J. y Chang, H.F. (2011). A formative assessment-based mobile learning approach to improving the learning attitudes and achievements of students. *Computers & Education*, 56, 1023-1031.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. (2010). 10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas. Barcelona: Graó.
- Leal, W. (2009). La educación para la sostenibilidad: iniciativas internacionales. *Revista de Educación*, extra, 163-277.
- National Research Council (1996). National science education standards. Washington, DC: National Academy Press.
- Novo, M. (2009). El desarrollo sostenible. Madrid, España: Editorial Universitas.
- Tseng, C.H., Tuan, H.L. y Chin, C.C. (2012). How to help teachers develop inquiry teaching: Perspectives from experienced science teachers. *Research in Science Education*. Perceptions from teachers with successful experience. Paper presented at the ASERA, July 3-5, 2008, Brisbane, Australia.
- Vilches, A. y Gil, D. (2009). Una situación de emergencia planetaria a la que debemos y podemos hacer frente. *Revista de Educación*, extra, 101-122.
- Villanueva, J., Ranfla, A. y Quintanilla, A. L. (2013). Isla de calor urbana: modelación dinámica y evaluación de medidas de mitigación en ciudades de clima árido extremo. *Información Tecnológica*, 24(1), 15-24.

Para seguir leyendo

• ***Sobre actividades relacionadas con el problema ambiental de los plásticos:***

López-Fernández, M.M., González-García, F. y Franco-Mariscal, A.J. (2021). Desarrollo de prácticas científicas en una secuencia de enseñanza-aprendizaje sobre la contaminación por plásticos en educación secundaria obligatoria. En Cebrián, D., Franco-Mariscal, A.J., Lupión, T. Acebal, M.C., Blanco, Á. (Coords.), *Enseñanza de las ciencias y problemas relevantes de la ciudadanía: Transferencia al aula* (Vol. 23) (pp. 51-64). Graó.

• ***Sobre un juego de rol sobre los plásticos para fomentar la argumentación y toma de decisiones como habilidades de pensamiento crítico:***

López-Fernández, M. M., González-García, F., & Franco-Mariscal, A. J. (2021). Should We Ban Single-Use Plastics? A Role-Playing Game to Argue and Make Decisions in a Grade-8 School Chemistry Class. *Journal of Chemical Education*, 98(12), 3947-3956.

• ***Sobre cómo desarrollar pensamiento crítico a través de problemas socio-científicos:***

López-Fernández, M. M., González-García, F., & Franco-Mariscal, A. J. (2022). How Can Socio-scientific Issues Help Develop Critical Thinking in Chemistry Education? A Reflection on the Problem of Plastics. *Journal of Chemical Education*, 99(10), 3435-3442.

Sitios web recomendados

- **Artículo de divulgación sobre ciudades como islas de calor:**

https://www.gradahoy.com/ciencia_abierta/Ciudades-islas-calor_0_1702930203.html

- **Artículo de divulgación sobre microplásticos:**

https://www.gradahoy.com/ciencia_abierta/cepilla-dientes-microplasticos-Ciencia-abierta_0_1698731940.html

SECCIÓN II

MODELOS Y MODELIZACIÓN

CAPÍTULO 6

La elaboración de modelos científicos computacionales con Scratch en la formación inicial de maestros

Víctor López-Simó y Cristina Simarro

CRECIM - Universitat Autònoma de Barcelona.

victor.lopez@uab.cat ; csimarr2@xtec.cat

Resumen

A pesar de la relevancia que tienen los modelos y la modelización en la enseñanza de las ciencias, el papel que pueden jugar los entornos de modelización computacional en la enseñanza básica y en la formación inicial de profesorado es aun una temática poco explorada. En este trabajo nos centramos en explorar las producciones digitales (en forma de animación, simulación o videojuego) que elaboran los futuros docentes de primaria con el entorno de programación Scratch, caracterizando cómo son y qué tipo de modelo computacional subyace en ellas. Para ello, se analizan $n=41$ producciones elaboradas en un curso de formación inicial, mediante una rúbrica de evaluación que permite definir el nivel de robustez de cuatro componentes clave de un modelo computacional: los objetos materiales, las entidades, los procesos y las interacciones. Los resultados muestran que se priorizan animaciones de geología y simulaciones y videojuegos de biología, y que el grado de robustez de los modelos subyacentes es muy distinto entre ellos. Mientras que los futuros docentes incorporan objetos y variables, hay una escasez de procesos e interacciones.

Introducción

En los medios de comunicación y las redes sociales oímos y leemos diariamente cómo las y los científicos profesionales construyen y usan modelos para explicar y predecir el comportamiento de todo tipo de fenómenos naturales, ya sea sobre el clima, sobre la propagación de una epidemia o sobre cosmología. En todos estos casos existe un denominador común: la existencia de un conjunto de ideas, reglas y relaciones creadas por humanos, de carácter teórico, que actúan como representación -siempre parcial- del

mundo real, y tienen la función de describir, explicar y/o predecir un comportamiento de un evento, proceso o sistema. Estos constructos es lo que comúnmente denominamos **modelos científicos**, creados y usados por los científicos para razonar, para simplificar o idealizar fenómenos complejos, para ayudar a la visualización de entidades abstractas, para apoyar la interpretación de resultados experimentales o para argumentar y orientar la toma de decisiones (Justi, 2006). Para expresar, usar y poner a prueba estos modelos, las y los científicos suelen apoyarse en herramientas computacionales, creando así **modelos computacionales** (Louca et al., 2011). Mediante algoritmos, ecuaciones y otros tipos de relaciones lógicas y matemáticas, las y los científicos desarrollan animaciones y simulaciones de todo tipo que ayudan a visualizar y analizar sus fenómenos de estudio, así como a compartir y consensuar sus explicaciones dentro de su comunidad.

Evidentemente, las herramientas computacionales que se usan en la ciencia profesional para desarrollar modelos (que son muchas y cada vez más variadas) están muy lejos de lo que podrían llegar a usar nuestro alumnado, pero sí que existen formas de involucrar al alumnado en prácticas de modelización computacional mediante entornos y lenguajes de programación específicamente diseñados para estas edades. Si bien no siempre han tenido una acogida masiva entre el profesorado, algunas evidencias muestran un potencial que estas herramientas digitales para promover el aprendizaje científico, y también para la formación inicial de maestros (Louca et al. 2011; Domènech-Casal, 2020).

Una de estas herramientas es el lenguaje de programación Scratch (<https://scratch.mit.edu/>), que, si bien no se concibió estrictamente para la modelización computacional, diferentes estudios han señalado su potencial para ello (López-Simó y Hernández, 2015; Balouktsis y Kekkeris, 2016; Aksit, 2018; Fussero y Occelli, 2022). Con el objetivo de comprender qué papel puede desempeñar esta herramienta digital en la formación inicial de maestros, nos proponemos analizar las producciones digitales que elaboran un grupo de futuros docentes de primaria, presentadas en forma de animaciones, simulaciones y videojuegos.

Los modelos y la modelización en la enseñanza de las ciencias

La enseñanza de las ciencias basada en modelos ha ocupado una parte importante de la investigación y la innovación didáctica, con una amplia variedad de propuestas teóricas, metodológicas y epistemológicas (Oh y Oh, 2011). En realidad, la definición estricta de modelo científico incluye una gran cantidad de matices, polisemias y visiones filosóficas distintas (Adúriz-Bravo y Izquierdo-Aymerich, 2009), por lo que tampoco existe una visión uniforme sobre qué y cómo abordar los modelos en la enseñanza de las ciencias (Oliva, 2021). No obstante, podemos identificar algunas ideas centrales que gozan de un cierto consenso, y que nos permiten orientar el uso de modelos en el aula.

En primer lugar, hay que partir de la premisa que en la escuela primaria y secundaria no se suele trabajar con modelos científicos stricto sensu, sino con los denominados **modelos científicos escolares o MCE** (Izquierdo-Aymerich, 2005), es decir, una versión adaptada de los modelos científicos para cada nivel educativo. Los modelos científicos escolares también

tienen la función de interpretar el mundo natural al nivel adecuado para cada etapa del aprendizaje. Estos MCE pueden concebirse en forma de ramificación, es decir, en base a grandes familias de modelos entorno de las grandes ideas de la ciencia, que a su vez contienen modelos y submodelos más concretos y específicos.

Otra premisa importante es que los procesos de aprendizaje de las ciencias no solamente dependen de estos modelos científicos escolares, sino también de los **modelos mentales** de los que dispone el alumnado en cada momento, que a menudo son alternativos o alejados de los que se pretende que aprendan (Gutiérrez, 2004). Por lo tanto, trabajar con modelos no pasa solamente por transmitir al alumnado las ideas que conforman un modelo, sino que conviene hacer al alumnado partícipe del proceso de expresión y revisión sus propios modelos mentales para acercarlos a dichos modelos escolares. Este proceso se denomina **modelización**, y suele considerarse una de las prácticas científicas clave, junto con la indagación y la argumentación. Cuando esta práctica de modelización se estructura en una serie de fases (donde la expresión de los modelos mentales propios precede a su evaluación y revisión a la luz de las evidencias de que se dispone), se suele hablar de **ciclo de modelización** (Garrido-Espeja y Couso, 2017).

Finalmente, una última premisa importante es que una enseñanza basada en modelos debería contribuir no solo a construir mejor algunas ideas científicas, sino también a comprender cómo la ciencia construye sus modelos y cuál es su epistemología (Osborne, 2014). Los modelos y la modelización son una oportunidad para compartir con el alumnado una concepción más realista y menos ortodoxa de la ciencia, evitando comunicar la existencia de un único método científico que nos acerca irremediamente a una verdad absoluta, y poniendo en valor aspectos clave en el desarrollo científico como la creatividad y la búsqueda del consenso dentro de la comunidad (Feurzeig y Roberts, 1999).

A pesar del interés suscitado por la modelización como práctica escolar, la comprensión en profundidad de cómo se lleva a cabo los procesos de modelización del propio alumnado es algo que todavía requiere de clarificación (Chiu y Lin, 2019). Por un lado, las formas de modelizar difieren enormemente entre personas expertas y noveles (Hsu et al., 2006). Además, no existe una única “metodología para modelizar”, sino más bien un amplio abanico de enfoques que pueden englobarse dentro de la lógica de la modelización (Oliva, 2021). En algunos casos la modelización está mediada por **analogías** que ayuden al alumnado a establecer “reglas de juego” a través de la similitud entre un fenómeno conocido con otro alejado de su experiencia (por ejemplo, el símil entre un circuito eléctrico y un circuito hidráulico). También existen las **experiencias de corporeización**, donde el alumnado usan su propio cuerpo para representar o teatralizar el comportamiento de un sistema físico (por ejemplo, un estudiante moviéndose como si fuera una partícula o una célula). Otras veces, en cambio, podemos hablar de la **modelización basada en la indagación** o MBI (Hernández et al. 2015), donde los modelos se expresan y se revisan a partir de experimentos científicos, que a su vez pueden ser experimentos reales, o bien simplemente **experimentos mentales** (Justi y Gilbert, 2002). En muchos otros casos, la modelización se asocia al uso de algún tipo de representación externa, ya sea material o virtual. Hablamos de modelos físicos o materiales cuando se usan maquetas y otros

sistemas mecánicos donde el alumnado puede manipular físicamente sus elementos (por ejemplo, una maqueta del Sistema Solar), mientras que hablamos de **modelos computacionales** aquellos que se presentan a través de una pantalla, donde el alumnado manipula virtualmente los elementos del sistema (por ejemplo, una representación virtual del enlace químico).

La modelización computacional como actividad científica escolar

Si ponemos el foco concretamente en este último tipo de recursos, los modelos computacionales, a su vez podemos distinguir entre diferentes aproximaciones. En primer lugar, podemos hablar de **animaciones virtuales** cuando el modelo computacional simplemente se muestra al estudiante, pero sin que este pueda modificar ninguna variable ni determinar el comportamiento del sistema (Pintó et al., 2010). Por ejemplo, una animación permite al estudiante comprender un cambio químico, visualizando qué enlaces se crean y se rompen, pero como si se tratara de un video.

En cambio, en las **simulaciones virtuales** el estudiante tiene una mayor interacción, ya que puede modificar alguna variable, parámetro u otra condición mediante elementos interactivos como barras, flechas o botones (por ejemplo, además de visualizar las moléculas, el estudiante puede modificar la temperatura y la concentración de los reactivos para visualizar cómo cambia la velocidad de la reacción química). Además, según la forma en la que se presenta la simulación, a veces se usa el término **laboratorios virtuales** cuando la interfaz emula el aspecto de un laboratorio (Rutten, et al., 2012), o también **videojuegos científicos** cuando la interacción persona-simulación viene mediada por dinámicas y mecánicas relacionadas con lograr un objetivo, ganar o perder puntos, sobrevivir, pasar una pantalla, etc (López-Simó y Domènech-Casal, 2018).

Finalmente, en **los entornos de modelización computacional**, a diferencia de los dos anteriores, no existe un modelo computacional preestablecido que se presenta por pantalla y con el que el estudiante debe interactuar, sino que se presentan un conjunto de herramientas para que sea el propio alumnado el que defina las reglas de juego. Así, cuando el estudiante usa un entorno de modelización, el producto final que obtiene puede ser a su vez una animación, una simulación o un videojuego, pero el rol del alumnado es completamente distinto: el alumnado no es el que “consume” un producto elaborado por terceros, sino el que “produce” esta animación o simulación. En este sentido, la demanda cognitiva de estos entornos de modelización es distinta a la que conlleva el uso de animaciones y simulaciones, conllevando en el primer caso un papel del alumnado más activo, más profundo y auténtico desde el punto de vista epistémico, ya que se asemeja más al quehacer científico (Evagorou et al., 2009). Por el contrario, los productos digitales hechos por el alumnado a través de un programa de modelización no tendrán a priori la estética, la calidad ni la coherencia de los que hacen las instituciones o empresas educativas responsables del diseño de animaciones y simulaciones científicas (López-Simó et al., 2017), del mismo modo que si se pide al alumnado

que exprese una idea científica mediante un dibujo a mano, este no tendrá la calidad que de una ilustración hecha por profesionales como las que aparecen en los libros de texto, pero sí mucha más autenticidad (Hennessy, 2011).

Pese a su potencialidad, los programas de modelización han tenido una acogida muy modesta en las aulas de ciencias, sobre todo si lo comparamos con el éxito que han tenido y tienen las animaciones y simulaciones desde la emergencia de Internet. Hace algunas décadas aparecieron diferentes entornos y lenguajes creados ad hoc para dicha función educativa: involucrar al alumnado en el proceso de identificar variables en un sistema físico, definir objetos e interacciones, establecer relaciones lógicas y matemáticas, etc., de modo que después el propio estudiante pudiera ejecutar su programa, visualizar su comportamiento y compararlo con el del sistema real que se quisiera reproducir. Algunos ejemplos de estos programas ad hoc son Model-It (Metcalf et al., 2000), Variables & Relationships (Lawrence, 2004), Coach (Heck et al., 2009), Modelus (Teodoro y Neves, 2011) o Stella (Costanza y Voinov, 2001). Según sus promotores, estos entornos de programación permitían modelizar un rango muy amplio de fenómenos, promovían la exploración individual a la vez que la discusión en grupo, y combinaban una aproximación cualitativa a los fenómenos naturales previa a su matematización. No obstante, el impacto real fue muy limitado, a excepción de situaciones muy concretas, debido a factores como el tiempo necesario para habituarse a cada lenguaje o la alta demanda cognitiva requerida.

Otra forma distinta de plantear la modelización computacional en el aula, en vez de usar entornos de modelización ad hoc de difícil adopción por parte del profesorado de ciencias, ha sido a través del uso de programas y entornos ampliamente conocidos por los docentes. En algunos casos se ha propuesto directamente el uso de hojas de cálculo tipo Excel para que el alumnado puede establecer variables y relaciones entre ellas mediante reglas lógicas y matemáticas. Lingard (2003), por ejemplo, muestra cómo el alumnado modeliza diferentes fenómenos eléctricos y nucleares mediante una hoja de cálculo, Grigore y Barna (2015) lo usan para modelizar fenómenos de gravitación, y Domènech-Casal (2020) lo utiliza con su alumnado para modelizar el crecimiento de una especie en un ecosistema.

Finalmente, otra forma de abordar la modelización computacional en las aulas de ciencias ha sido a través de entornos de programación que, si bien están más pensados para aprender a programar que para aprender ideas científicas propiamente dichas, ofrecen un gran potencial modelizador. Hace décadas aparecieron algunas primeras experiencias de este tipo que usaban entornos como Stagecast Creator o Microworlds EX (Papaevridiou et al., 2007), pero seguramente la eclosión de este tipo de actividades llegó de la mano de la plataforma Scratch, la cual ha generado a su alrededor una comunidad de usuarios muy rica y dinámica, que va desde niños hasta adultos de todo el mundo.

Scratch como entorno de modelización científica

El lenguaje Scratch está basado en la construcción de bloques de programación a partir de piezas, como si se tratara de un sencillo rompecabezas. Una vez definidos los personajes

que formarán parte del programa y el escenario en el que se ubicarán, el uso de bloques que incluyen funciones condicionales, operadores matemáticos y todo tipo de variables permiten definir el comportamiento de los personajes y las interacciones entre los mismos (Figura 1).



Figura 1. Principales componentes del entorno de programación por bloques Scratch

Siguiendo esta lógica de programación, existen diferentes experiencias donde se discute el potencial de Scratch para involucrar al alumnado en prácticas de modelización científica sobre cinemática (Farias y Rivera, 2017; Aksit, 2018), energías renovables (Balouktsis y Keckeris, 2016), la propagación de una epidemia (Crusells y López-Simó, 2020) o la ingeniería genética (Fussero y Occelli, 2022). Además, como afirman Peel y Friedrichsen (2018), el uso de un entorno computacional como Scratch contribuye al desarrollo del pensamiento computacional, que corresponde una de las 8 prácticas científicas definidas por los *Next Generation Science Standards*. Por ejemplo, en la figura 2 aparece un ejemplo de producción digital hecha con Scratch por estudiantes: la simulación de un vehículo donde se puede modificar la fuerza resultante y la masa, y a la derecha el código Scratch donde se usan las relaciones mecánicas entre masa, fuerza, velocidad y aceleración.

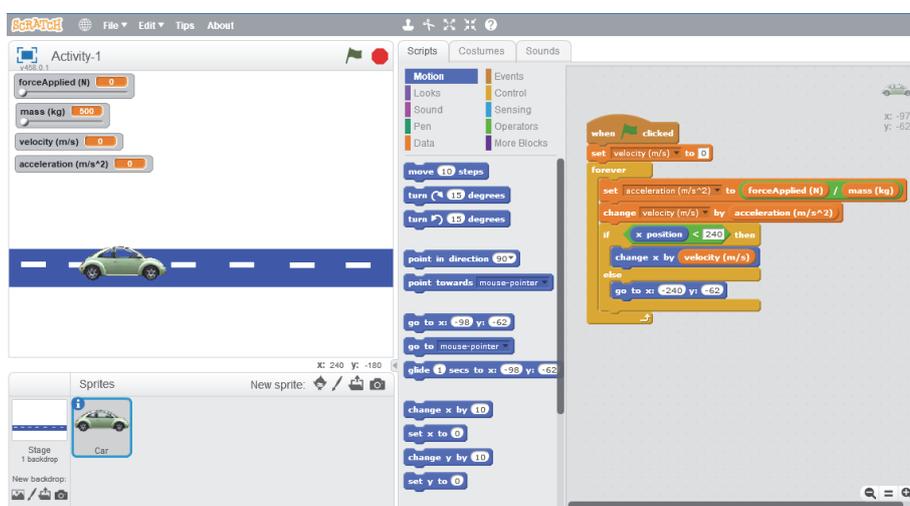


Figura 2. Ejemplo de simulación sobre la 2ª ley de Newton, obtenida de Aksit (2018: pg. 50).

Componentes de un modelo computacional

Cualquier producción computacional que busque describir, predecir o explicar un fenómeno natural de índole científica (ya sea una animación, una simulación o un videojuego) tiene un modelo computacional subyacente. A partir de la aproximación propuesta por Gutiérrez (2004), donde todo modelo científico está compuesto por objetos con propiedades y/o variables asociadas, así como leyes que declaran el comportamiento o funcionamiento de estos objetos, podemos preguntarnos qué componentes permiten analizar y cómo son los modelos computacionales que se pueden elaborar con Scratch. Según Louca et al. (2011) podemos hablar de cuatro distintas componentes:

- Los **objetos materiales** que componen el sistema representado (las partículas puntuales, las moléculas, los cuerpos rígidos, los fluidos, los orgánulos...).
- Las **entidades abstractas** que se usan para representar las características de los objetos materiales representados (la velocidad, la temperatura, la concentración salina, la densidad de población...).
- Los **procesos y comportamientos** de los objetos, que reflejan el mecanismo que subyace el comportamiento de cada objeto por separado (los cambios en las magnitudes, los desplazamientos, las transformaciones, la muerte de individuos...).
- Las **interacciones y relaciones** entre objetos, entidades y comportamientos, que permiten unificar los mecanismos subyacentes del modelo (la atracción y repulsión, los intercambios de materia y energía...).

Trasladando estas cuatro componentes a Scratch, los objetos materiales se representarían en los *personajes* de cada programa, mientras que las entidades abstractas se establecerían con la creación y uso de *variables*. En el ejemplo de la figura 2 el personaje coche sería el objeto materia y las entidades abstractas las variables fuerza aplicada, masa, velocidad y aceleración. Por su parte, el uso de operadores matemáticos, funciones lógicas y demás definirían los procesos y comportamientos de los objetos y sus variables asociadas, a la vez que los eventos y la comunicación entre personajes que contempla Scratch regularía las interacciones y relaciones entre los personajes y variables, y resultaría en los comportamientos observados en la ventana de visualización (cambios de posición, de aspecto, de forma, etc.). Siguiendo con el mismo ejemplo, la posición del coche, por ejemplo, varía en función de la variable “velocidad”, que a su vez viene dada por la interacción “fuerza”.

Evidentemente, limitar el análisis de modelos computacionales exclusivamente a estas cuatro componentes tiene ciertas limitaciones, ya que su existencia no permite determinar la precisión ni la validez de cada modelo computacional, por lo que Louca et al. (2011) proponen añadir una quinta componente: el grado de ajuste entre el modelo y el sistema modelado. Sin embargo, estos mismos autores afirman que existe una relación entre el aprendizaje científico del alumnado y la robustez de las componentes de los modelos computacionales expresados. Según Papaevripidou y Zacharias (2015), para analizar la

robustez de los modelos computacionales es posible determinar diferentes niveles para cada una de las componentes estructurales, que van desde su ausencia a su incorporación auténtica en el código del programa computacional.

Para ejemplificar estos diferentes niveles de robustez de un modelo computacional seguimos con el ejemplo mostrado en la figura 2, pensando en la entidad “velocidad”, que va asociada al objeto material “coche”. En la figura 3 se presentan tres posibles formas de definir el desplazamiento. En el primer bloque de código, no se usa explícitamente una variable velocidad para definir computacionalmente el desplazamiento del objeto, por lo que implicaría un nivel nulo de desarrollo de esta entidad. En el segundo se incorpora la variable velocidad, pero se le asigna un valor numérico, por lo que implicaría un nivel intermedio. En el tercer caso, la entidad velocidad es una variable del programa, y su ritmo de cambio viene definida por otra variable, la aceleración, por lo que implicaría un nivel de robustez más alto.



Figura 3: Tres formas de definir computacionalmente el desplazamiento de un objeto a través de Scratch, que implican tres niveles distintos de robustez del modelo computacional subyacente.

Planteamiento del problema y preguntas de investigación

Como hemos señalado anteriormente, algunas investigaciones han identificado el potencial del entorno de programación Scratch para involucrar al alumnado en la expresión de modelos, así como para acercarlos al ámbito del pensamiento computacional (López-Simó y Hernández, 2015; Peel y Friedrichsen, 2018; Aksit, 2018). El hecho de disponer de un lenguaje de programación de muy fácil acceso, de un abanico de reglas lógicas y matemáticas muy intuitivas, y de diferentes herramientas de edición de imagen, hace de Scratch un recurso de gran interés para las aulas de ciencias. Dadas estas potencialidades, cabe preguntarse si este entorno de programación puede ser también una herramienta adecuada en el contexto de la formación inicial de maestros, teniendo en cuenta que, durante su formación, el futuro profesorado debe desarrollar tanto un conocimiento del contenido científico como un conocimiento didáctico del mismo. Es decir, que el uso de Scratch para elaborar pequeñas

producciones digitales tipo animación, simulación o videojuego, puede plantearse tanto para involucrar al alumnado en una actividad de aprendizaje científico como una actividad de aprendizaje didáctico.

Este interés por Scratch como herramienta para la formación inicial de docentes llevó a dos profesores a introducir este entorno de programación en una asignatura del grado de maestro de primaria en la UAB (Barcelona). Se trataba de una asignatura optativa de 4º curso, de 40 horas de duración, donde el alumnado aprendía sobre herramientas digitales para la enseñanza de las ciencias. La asignatura ofrecía un amplio abanico de herramientas digitales educativas: sensores digitales para experimentar en el aula, lupas digitales, geolocalización GPS, animaciones 3D, y también se dedicaba 6 horas de la asignatura a aprender el entorno de programación Scratch y su uso didáctico. Concretamente, se dedicaron 2 horas a enseñar el funcionamiento de la plataforma Scratch y su lenguaje (dado que la mayoría de alumnado desconocía su uso), 2 horas más a abordar las ideas de modelo científico y de modelo computacional, y 2 horas de trabajo dirigido para orientar el diseño de una producción digital, en pequeños grupos de 3 o 4 estudiantes, sumado a las horas de trabajo autónomo en casa que cada grupo dedicó a finalizar sus producciones. Así, como producto final, los futuros maestros debían presentar una animación, una simulación o un videojuego que pudiera servir para ser usado como recurso educativo para la enseñanza de algún tipo de contenido científico escolar curricular propio de la escuela primaria (6-12 años).

Así pues, con el objetivo de analizar cómo eran estas producciones digitales y cómo era, en caso de existir, el modelo computacional subyacente que usaron para su diseño, planteamos las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Qué tipo de producciones digitales hechas con Scratch priorizan los futuros docentes de primaria según el tipo de producto y según el contenido científico?
2. ¿Hasta qué punto estas producciones digitales incorporan un modelo computacional subyacente y cuál es su robustez?

Metodología

La secuencia de 6 horas de formación docente en Scratch se implementó durante 5 años académicos consecutivos. El número de estudiantes matriculados fue oscilando entre las 25 y las 35 personas, y el número de producciones digitales también fue oscilando entre las 6 y las 8 por curso. Estas producciones fueron almacenadas en una unidad de almacenamiento denominada Estudio (por ejemplo, en este enlace se muestran las 6 producciones correspondientes al curso 2014: <https://scratch.mit.edu/studios/457076>). Al final de los 5 cursos, se habían recogido un total de n=41 producciones digitales hechas con Scratch, pensadas todas ellas como recurso educativo. Estas producciones fueron clasificadas según el tipo de producción (animación, simulación o videojuego) y según su contenido científico (biología, geología, química o física), con el objetivo de identificar las

prioridades de los futuros docentes. Para analizar la existencia y la robustez de los modelos computacionales subyacentes en estas producciones digitales se diseñó una rúbrica basada en las definiciones de componentes estructurales y sus niveles de gradación propuestas por Louca et al. (2011), que presentamos en la tabla 2.

Tabla 2. Rúbrica usada para analizar las 41 producciones digitales elaboradas con Scratch a partir de 4 componentes definidas por Papaevripidou et al. (2007).

	NIVEL 0	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
OBJETOS	No hay objetos representados	1 solo objeto representado (ej: 1 flor)	Varios objetos representados, pero no integrados en un sistema (ej: diferentes tipos de alimentos)	Varios objetos representados, que configuran un sistema (ej: las partes del sistema digestivo)
ENTIDADES	No hay entidades representadas	1 entidad implícita (ej: la densidad)	1 o más entidad definida (ej: la intensidad de la luz, la temperatura, etc.)	Varias variables definidas relacionadas entre ellas (ej: el punto de ebullición que depende de la temperatura y de la presión)
PROCESOS Y COMPORTAMIENTOS	No hay procesos representados (no sucede nada)	1 proceso lineal (antes – después): (ej: la evaporación)	Más de un proceso que puede ocurrir en paralelo o en cadena (ej.: el ciclo de vida de un gusano de seda)	Rica variedad de procesos posibles que generan un diagrama de árbol (ej: el ciclo del agua complejo)
INTERACCIONES Y RELACIONES	No hay interacciones representadas	1 interacción simple (ej: un animal come a otro)	1 o más interacción compleja (ej: una cadena trófica)	Rica variedad de interacciones entre varios objetos o entidades (ej: un ecosistema)

Resultados y discusión

En la figura 4 se presenta el resultado del análisis de las 41 producciones. Cada producción corresponde a una serie horizontal de 4 casillas, cada una de las cuales expresa el nivel asignado a cada una de las 4 componentes del modelo (de izquierda a derecha: objetos, entidades, procesos e interacciones), a través de un valor numérico del 0 al 3 y de una tonalidad creciente, para facilitar su visualización. Estas series de datos se agrupan según el tipo de producción (filas) y según su contenido científico (columnas).

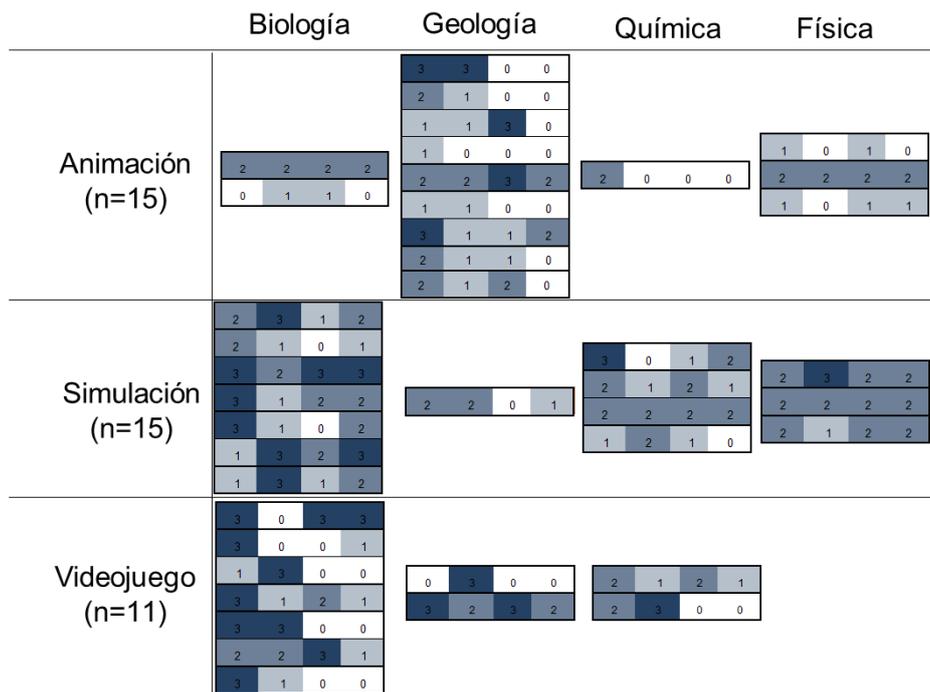


Figura 4. Representación del análisis de las n=41 producciones digitales en series de 4 casillas que corresponden a las 4 componentes de cada modelo subyacente. Las series de datos se organizan según el tipo de producción y según el contenido científico. Cada serie está compuesta por el valor asignado a las 4 componentes del modelo (objetos, entidades, procesos e interacciones), y la escala de color representa el nivel, siendo el blanco el nivel 0, el color claro el nivel 1, el color intermedio el nivel 2 y el color oscuro el nivel 3.

Si nos centramos exclusivamente en qué tipo de producciones digitales priorizan los futuros docentes, se aprecia una distribución desigual. Un grueso importante de producciones las compone **las animaciones de geología** (principalmente sobre el ciclo y los usos del agua y sobre fenómenos Sol-Tierra-Luna), seguidas por las **simulaciones y los videojuegos de biología** (cuyas temáticas giraban entorno del cuerpo humano, la reproducción animal y la reproducción vegetal). En menor medida aparecen las **simulaciones de física y química**, destacando las temáticas de cambios de estado del agua y la flotación.

En la figura 5 izquierda se muestra un ejemplo de animación de geología hecha por uno de los grupos de estudiantes, concretamente sobre las fases de la Luna. Se presentan 8 momentos de un ciclo lunar mostrando para cada uno la posición relativa Sol – Tierra – Luna y el aspecto de la Luna visto desde la Tierra. En este modelo subyacente los objetos Sol, Tierra y Luna forman un sistema (objetos nivel 3), pero solamente se usa una variable – el tiempo – para mostrar una sucesión de posiciones (entidades nivel 1). Se representa el movimiento orbital de la Luna, no la translación ni la rotación de la Tierra (procesos nivel 1), y se incluyen una interacción compleja que combina iluminación y posición relativa (interacciones nivel 2).

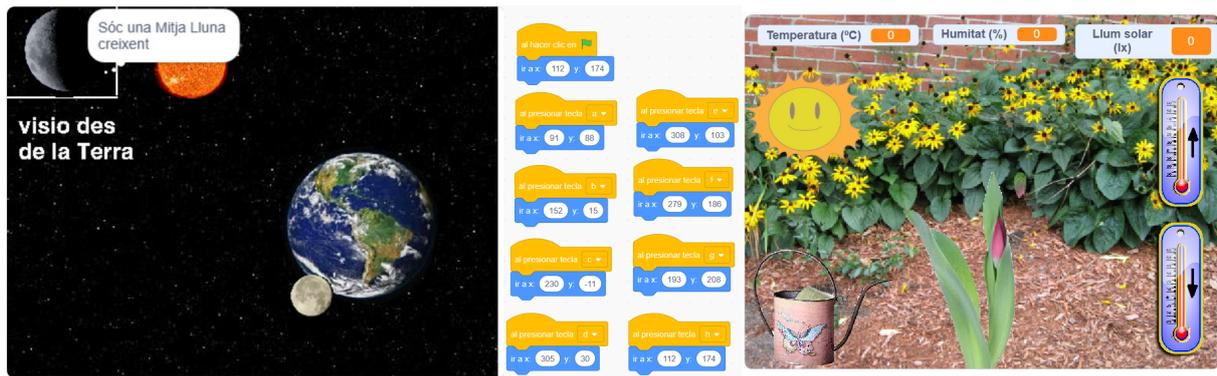


Figura 5. Izquierda: Ejemplo de una animación de geología. Derecha: Ejemplo de una simulación de biología.

En cambio, en la figura 5 – derecha, se muestra una simulación sobre el crecimiento de una tulipa. Aunque solamente aparece un objeto material -la planta-, ya que el resto de los personajes son iconos de interacción (objetos nivel 1), se definen hasta 3 variables computacionales independientes - temperatura, luz y humedad- (entidades nivel 3). Se muestra más de un proceso, ya que el objeto planta puede crecer, florecer y marchitar de forma no lineal (procesos nivel 2), y estos procesos dependen de las tres variables a la vez (interacciones nivel 3).

Al analizar la distribución global de niveles para cada una de las componentes considerando las n=41 producciones digitales, observamos diferencias en esta distribución según la componente, tal como se muestra en la figura 6. La componente objetos presenta más casos correspondientes a niveles superiores (29% de casos en nivel 3, y 71% entre los niveles 2 y 3), seguida por la componente entidades (22% en nivel 3 y 46% entre 2 y 3). En cambio, las componentes de procesos e interacciones presentan más del 50% de casos en niveles 0 o 1, es decir, que más de la mitad de las producciones digitales o bien no presentan procesos e interacciones (34 y 39% respectivamente) o bien presentan 1 único proceso / interacción de carácter simple (22 y 20% respectivamente).

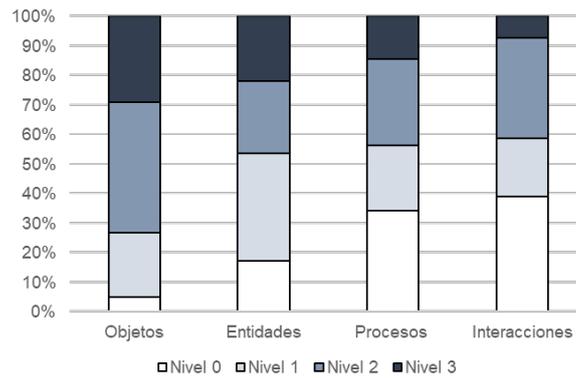


Figura 6. Distribución de los niveles de las 4 componentes para las n=41 producciones digitales.

Si además miramos los datos separando por tipología de producción digital, se pueden observar diferencias en la distribución de niveles, tal como se muestra en la figura 7. Las animaciones se sitúan en niveles más bajos para todas las componentes, incluso en la componente objetos, por lo que en algunos casos se puede afirmar que no existe un modelo computacional subyacente, y en otros casos que este modelo subyacente es muy simple. Por el contrario, los videojuegos son el tipo de producción donde sus objetos y entidades corresponden a niveles más altos de la rúbrica, pero no ocurre lo mismo con los componentes procesos e interacciones, donde entorno del 50% de los videojuegos carece de ellas. En el caso de las simulaciones, a pesar de no presentar tantos casos de componentes objetos y entidades en nivel 3, hay muchos más casos de componentes procesos e interacciones de nivel 2 y 3, por lo que parece que sus modelos subyacentes son más robustos.

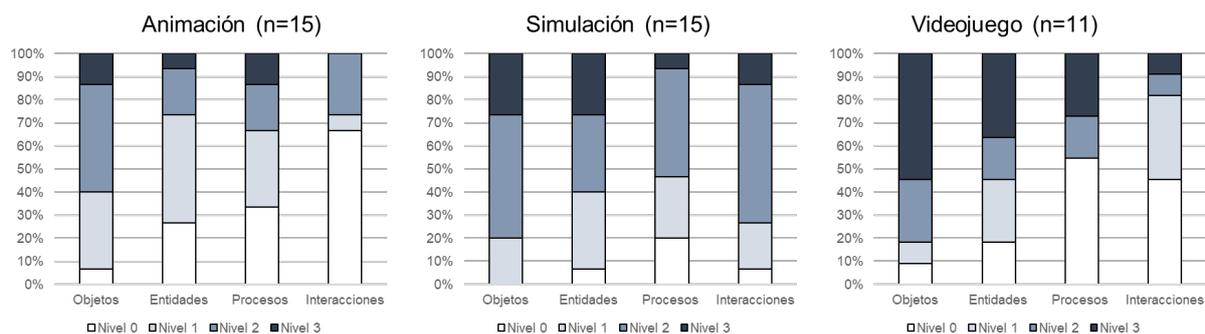


Figura 7. Distribución de los niveles de las 4 componentes para las n=41 producciones digitales

Conclusiones

Se han analizado un total de 41 producciones digitales con Scratch en forma de animación, simulación o videojuego elaboradas por maestros en formación inicial durante diferentes cursos. La variedad en la tipología de producciones, en su contenido científico y en la

robustez de sus modelos subyacentes parecen indicar que esta actividad con Scratch ofrece oportunidades didácticas, pero no garantiza por sí la expresión de modelos computacionales robustos. Si bien en algunos casos la actividad ayuda a expresar un conjunto de ideas, reglas y relaciones propias de la definición de modelo (Justi, 2006), en otros casos el diseño se centra en los aspectos más superficiales (los objetos) y menos en los más profundos (las interacciones). Posiblemente esta falta de robustez de los modelos por lo que respecta a procesos e interacciones está en parte influida por la falta de dominio del propio lenguaje de programación Scratch, pero también es cierto que se han hallado resultados similares en otros entornos de modelización computacional como StageCast Creator (Papaevripidou y Zacharia, 2015), y también con otro tipo de representaciones externas, como los diagramas elaborados para expresar el modelo de ciclo de agua (Márquez et al., 2006).

Además, se observan algunos patrones que se repiten a lo largo de los 5 cursos académicos, ya que los fenómenos más representados son de biología (cuerpo humano y crecimiento de animales y plantas) y de geología (Sol-Tierra-Luna y ciclo del agua), ya que son algunas de las temáticas más recurrentes en las ciencias de primaria. Cabe destacar que mientras para los fenómenos de geología los futuros maestros usan principalmente animaciones, en el caso de la biología se usan simulaciones y videojuegos, donde todas las componentes tienden a situarse en niveles más altos. A su vez, en el primer patrón existe la tendencia a focalizarse en las estructuras (en nuestro caso, los objetos y variables), sin embargo, en el segundo los modelos incorporan mayores niveles de procesos e interacciones, especialmente cuando se trata de simulaciones.

Como limitaciones, cabe destacar que no se ha incorporado al análisis el grado de similitud entre el fenómeno de estudio y el modelo computacional, tal como defienden Louca et al. (2011). Además, el análisis se ha centrado estrictamente en las producciones finales presentadas por los futuros docentes, y no en los procesos propios de modelización y diseño computacional, en las barreras, la toma de decisiones, etc., que arrojaría más luz a la falta de conocimiento señalado por Nicolau y Constantinou (2014), y Chiu y Lin (2019), sobre cómo se dan los procesos de modelización y qué andamiajes y estrategias de evaluación son adecuadas. En este sentido, la rúbrica diseñada como instrumento de evaluación de los modelos computacionales subyacentes podría ser también la base para futuras investigaciones en esta nueva línea.

Referencias bibliográficas

- Adúriz-bravo, A. y 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(3), 40–49.
- Aksit, O. (2018). *Enhancing Science Learning through Computational Thinking and Modeling in Middle School Classrooms: A Mixed Methods Study*. North Carolina State University.
- Balouktsis, I. y Kekeris, G. (2016). Learning renewable energy by scratch programming. *Επιστημονική Επετηρίδα Παιδαγωγικού Τμήματος Νηπιαγωγών Πανεπιστημίου Ιωαννίνων*, 9(1), 129-141.

- Chiu, M.H. y Lin, J.W. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 1-11.
- Costanza, R. y Voinov, A. (2001). Modeling ecological and economic systems with STELLA: Part III. *Ecological Modelling*, 143(1-2), 1-7.
- Crusells, J. y López-Simó, V. (2020). Covid19 i Scratch: involucrant a l'alumnat en la modelització computacional de la propagació d'una epidèmia. *Ciències: revista del professorat de ciències de Primària i Secundària*, (41), 0002-8.
- Domènech-Casal, J. (2020). Diseñando un simulador de ecosistemas. Una experiencia STEM de enseñanza de dinámica de los ecosistemas, funciones matemáticas y programación. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 17(3), 320201-320217.
- Evagorou, M., Korfiatis, K., Nicolaou, C. y Constantinou, C. (2009). An investigation of the potential of interactive simulations for developing system thinking skills in elementary school: A case study with fifth-graders and sixth-graders. *International Journal of Science Education*, 31(5), 655-674.
- Farias, F. y Rivera, J. (2017). O uso do programa Scratch na abordagem dos conceitos iniciais de cinemática para alunos do 1º ano do ensino médio. *Revista Amazônica de Ensino de Ciências*, 9(18), 197-213.
- Feurzeig, W. y Roberts, N. (1999). *Modeling and simulation in science and mathematics education* (Vol. 1). Springer Science & Business Media.
- Fussero, G. B. y Occelli, M. (2022). Construcción de modelos de Ingeniería Genética a través de la programación con Scratch. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(2), 280201-280216.
- Garrido Espeja, A. y Couso, D. (2017). La modelización en la formación inicial de maestros: ¿qué mecanismos o estrategias la promueven? *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), 0137-144.
- Grigore, I. y Barna, E.S. (2015). Using Excel spreadsheets to study the vertical motion in a gravitational field. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 191, 2769-2775.
- Gutiérrez, R. (2004). La modelización y los procesos de enseñanza/aprendizaje. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, (42), 8-18.
- Heck, A., Kedzierska, E. y Ellermeijer, T. (2009). Design and implementation of an integrated computer working environment for doing mathematics and science. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 28(2), 147-161.
- Hennessy, S. (2011). The role of digital artefacts on the interactive whiteboard in supporting classroom dialogue. *Journal of computer assisted learning*, 27(6), 463-489.
- Hernández, M.I., Couso, D. y 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.
- Hsu, Y., Hwang, F., Wu, H., Li-Fen, L. y I-Chung, K. (2006). Analysis of Experts' vs. Novices' Modeling. In *Modelling in Physics and in Physics Education*. GIREP 2006. University of Amsterdam.

- Izquierdo-Aymerich, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 111-122.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 24(2), 173-184.
- Justi, R.S. y Gilbert, J.K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of science education*, 24(4), 369-387.
- Lawrence, I. (2004). Modelling simply, without algebra: beyond the spreadsheet. *Physics education*, 39(3), 281-288.
- Lingard, M. (2003). Using spreadsheet modelling to teach about feedback in physics. *Physics Education*, 38(5), 418.
- López-Simó, V., Couso, D., Simarro, C., Garrido-Espeja, A., Grimalt-Álvaro, C., Hernández Rodríguez, M.I. y Pintó, R. (2017). El papel de las TIC en la enseñanza de las ciencias en secundaria desde la perspectiva de la práctica científica. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra), 0691-698.
- López-Simó, V. y Domènech-Casal, J. (2018). Juegos y gamificación en las clases de ciencia: ¿una oportunidad para hacer mejor clase o para hacer mejor ciencia?. *Revista Eletrônica Ludus Scientiae*, 2(1), 34-44.
- Lopez-Simó, V. y Hernandez, M.I. (2015). Scratch as a computational modelling tool for teaching physics. *Physics Education*, 50(3), 310.
- Louca, L.T., Zacharia, Z.C., Michael, M. y Constantinou, C.P. (2011). Objects, entities, behaviors, and interactions: A typology of student-constructed computer-based models of physical phenomena. *Journal of Educational Computing Research*, 44(2), 173-201.
- Márquez, C., Izquierdo, M. y Espinet, M. (2006). Multimodal science teachers' discourse in modeling the water cycle. *Science Education*, 90(2), 202-226.
- Metcalf, S.J., Krajcik, J. y Soloway, E. (2000). Model-It: A design retrospective. *Innovations in science and mathematics education*, 77-115.
- Nicolaou, C.T. y Constantinou, C.P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52-73.
- Oh, P. y Oh, S. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.
- Oliva, J.M. (2021). Líneas y resultados de investigación en torno a la dimensión instrumental de la modelización en la enseñanza de las ciencias. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 5(2), 01-16.
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196.
- Papaevripidou, M., Constantinou, C.P. y Zacharia, Z.C. (2007). Modeling complex marine ecosystems: An investigation of two teaching approaches with fifth graders. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(2), 145-157.
- Papaevripidou, M. y Zacharia, Z.C. (2015). Examining how students' knowledge of the subject domain

affects their process of modeling in a computer programming environment. *Journal of Computers in Education*, 2(3), 251-282.

Peel A. y Friedrichsen P. (2018) Algorithms, Abstractions and Iterations: Teaching Computational Thinking Using Protein Synthesis Translation. *The American Biology Teacher*, 80(1), 21-28.

Pintó, R., Couso, D. y Hernández Rodríguez, M.I. (2010). An inquiry-oriented approach for making the best use of ICT in the classroom. *eLearning papers*, 20, 1-14.

Rutten, N., Van Joolingen, W.R. y Van Der Veen, J.T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153

Teodoro, V.D. y Neves, R.G. (2011). Mathematical modelling in science and mathematics education. *Computer Physics Communications*, 182(1), 8-10.

Para seguir leyendo

- Couso, D., Jiménez-Liso, R., Refojo, C. y Sacristán, J.A. (2020). ***Enseñando Ciencia con Ciencia. FECYT & Fundación Lilly. Madrid: Penguin Random House.***

- Lopez-Simó, V. y Hernandez, M.I. (2015). ***Scratch as a computational modelling tool for teaching physics. Physics Education, 50(3), 310.***

- Louca, L.T., Zacharia, Z.C., Michael, M. y Constantinou, C.P. (2011). ***Objects, entities, behaviors, and interactions: A typology of student-constructed computer-based models of physical phenomena. Journal of Educational Computing Research, 44(2), 173-201.***

- Oliva, J.M. (2021). ***Líneas y resultados de investigación en torno a la dimensión instrumental de la modelización en la enseñanza de las ciencias. Ápice. Revista de Educación Científica, 5(2), 01-16.***

Sitios Web recomendados

- <https://scratch.mit.edu/>

El sitio permite acceder a Scratch, visitar y remasterizar proyectos elaborados por otras personas. Se promueve la colaboración a través de compartir los proyectos de manera abierta para que otras personas puedan reutilizarlos.

CAPÍTULO 7

La modelización como práctica científica y la competencia de metamodelado: Desafíos para la enseñanza de la biología

Silvana Ferragutti^{1,2}, Carola Astudillo¹ y Gonzalo M.A. Bermudez^{2,3}

¹*Facultad de Ciencias Exactas, Físico- Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 2 CONICET.*

³*Facultad de Ciencias, Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.*

¹*sferragutti@exa.unrc.edu.ar*; ²*castudillo@exa.unrc.edu.ar*; ³*gbermudez@unc.edu.ar*

Resumen

En el presente capítulo nos proponemos reflexionar sobre cómo los desarrollos actuales en torno a modelos y modelización como práctica científica y la competencia de metamodelado son fructíferos para una enseñanza de la Biología que aporte una visión actualizada de la ciencia, que promueva la construcción de conocimiento sobre modelos científicos relevantes de la disciplina y que involucre la participación de estudiantes en prácticas auténticas de modelización, incluyendo el abordaje de saberes metacientíficos de relevancia en el marco de las perspectivas epistemológicas actuales.

Introducción

La nueva generación de reformas curriculares puestas en marcha en muchos países, en sintonía con las aportaciones de la investigación internacional en el campo de la Didáctica de las Ciencias Naturales, reflejan un renovado interés por una educación científica basada no solo en los contextos, entre otros aspectos, sino también en la participación del alumnado en las *prácticas científicas* (Bahamonde, 2014; Jiménez-Aleixandre, 2012; Osborne, 2014; Schwarz et al., 2009). En términos generales, este planteamiento propone que *para aprender ciencia haciendo ciencia* es propicio integrar procesos cognitivos, habilidades procedimentales, así como también, conocimientos científicos y metacientíficos (García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2018).

Recuperando estas perspectivas, abordaremos algunas consideraciones teóricas focalizadas sobre la *modelización como práctica científica* y la competencia de metamodelado, en tanto las consideramos aportes de relevancia y pertinencia central de cara a estos desafíos. Finalmente, y a modo de reflexiones finales, dejaremos planteadas algunas inquietudes que han surgido a partir del desarrollo del capítulo. Estas se vinculan con los desafíos que la enseñanza basada en modelos y modelización (MoMo) puede plantear cuando se trata de nociones complejas y estructurantes de las Ciencias Biológicas que conectan con problemáticas ambientales de relevancia en la educación científica actual.

Las prácticas científicas y su importancia en la enseñanza de las ciencias

Desde una perspectiva epistemológica y como una primera aproximación, las *prácticas científicas* podrían considerarse como un constructo integrado por todo aquello que las y los científicos hacen en - y para poder desarrollar- sus investigaciones, abarcando aspectos *epistémicos y no epistémicos* (García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2018). Los primeros, involucran cuestiones epistémicas asociadas a lo cognitivo y al proceso de justificación del conocimiento basado en argumentos y explicaciones a partir de pruebas científicas y marcos teóricos (Cardoso, 2020). En tanto los aspectos no epistémicos, refieren a factores de naturaleza sociológica, además de aspectos afectivos, contextuales, conductuales, éticos, comunicativos, organizativos, políticos, culturales, entre otros, que también intervienen en la construcción de ese conocimiento (Acevedo-Díaz, 2006; Gandolfi 2019).

Dentro de este contexto, involucrar a estudiantes y docentes en escenarios educativos que incluyan las prácticas científicas es una prioridad para muchas de las reformas educativas en Europa (Organization for Economic Cooperation and Development [OECD], 2006) y EEUU (National Research Council [NRC], 2012). Particularmente el último caso, refiere a una de las propuestas más influyentes en la educación científica a nivel mundial. *A Framework for K-12 Science Education* (NRC, 2012) es el documento de reforma para la educación científica preuniversitaria de Estados Unidos, que propone ocho prácticas de ciencia entre las que se encuentran: 1) Formular preguntas; 2) Desarrollar y usar modelos; 3) Planificar y llevar a cabo investigaciones; 4) Analizar e interpretar datos; 5) Usar pensamiento matemático y computacional; 6) Elaborar explicaciones científicas; 7) Participar en la argumentación a partir de pruebas y 8) Obtener, evaluar y comunicar información. Como puede observarse, las prácticas científicas seleccionadas están sesgadas hacia una visión esencialmente epistémica de la ciencia; o, al menos, las sugerencias que se ofrecen para su desarrollo en el aula se enmarcan primordialmente en tal visión (García-Carmona, 2020).

Complementariamente a esta tendencia en auge que considera a las prácticas científicas desde la visión epistémica, otro grupo de investigaciones (García Carmona, 2021; Kelly, 2008; Kelly y Licon, 2018) manifiesta la necesidad de involucrar al estudiantado en estas prácticas haciendo hincapié en que no sólo participen de actividades cognitivas y procedimentales, sino también discursivas y sociales que les permitan desarrollar razonamiento, habilidades

y argumentaciones propias de la ciencia, subrayando el papel de la interacción social en el aprendizaje de la ciencia mediante prácticas científicas. Al respecto, Duschl (2008) propone que el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia escolar debería atender, de forma integrada y equilibrada, a tres dominios: las estructuras conceptuales y procesos cognitivos utilizados al razonar científicamente, los marcos epistémicos puesto en juego a la hora de desarrollar y evaluar el conocimiento científico, y los procesos sociales y contextos que determinan cómo ese conocimiento es comunicado, representado, argumentado y debatido.

En Argentina, en consonancia con los principales lineamientos curriculares internacionales, se propone garantizar una educación científica de calidad a partir de procesos de construcción de modelos científicos por parte de la/os estudiantes, contextualizados en temas de relevancia y actualidad. A su vez, se expresa a favor de profundizar sobre las formas de trabajo de la actividad científica, a partir del diseño y desarrollo de procesos de indagación escolar y de actividades de promoción y valoración de la ciencia, con el propósito de que las y los estudiantes se impliquen en temas relacionados con ella y puedan interpretarla como una actividad humana de construcción colectiva, con historicidad, asociada a ideas, lenguajes y tecnologías específicas (Bahamonde, 2014).

Algunas consideraciones teóricas sobre Modelos y Modelización

En relación a los orígenes de las investigaciones sobre MoMo en Didáctica de las Ciencias Naturales (DCN), Gutiérrez (2014) señala que aparecen tímidamente en la década de los 80, adquiriendo impulso a fines de los 90. Sin embargo, puede decirse que con la publicación del libro *Developing models in Science Education* (Gilbert y Boulter, 2000) y el número monográfico sobre modelización y aprendizaje del *International Journal of Science Education* -22(9)- del mismo año, se produce una auténtica cascada de publicaciones sobre el tema.

La importancia del tema fue creciendo hasta nuestros días, especialmente en estos últimos 15 años (Gómez Galindo, 2014). Dando cuenta de ello, las revisiones de artículos publicadas en las principales revistas especializadas en DCN, tales como las de Lee et al. (2009) y Lin et al. (2014), sitúan a MoMo entre los primeros tópicos de investigación dentro de las tendencias de investigación en la enseñanza de las ciencias. Asimismo, cabe destacar el monográfico sobre el tema publicado en *Science & Education* de 2007 - 16(7-8)-, así como, en el contexto iberoamericano, los monográficos en español de la revista *Bio-grafía, Escritos sobre la Biología y su Enseñanza* de 2014 - 7(13)- y de la revista *Didacticae: Revista de Investigación en Didácticas Específicas* de 2019- 3(5)-. Particularmente, en el segundo caso se realiza un aporte sobre las tendencias investigativas actuales de la enseñanza de la Biología basada en MoMo en el contexto hispanohablante.

Respecto a la noción de *modelo científico*, cuando Oh y Oh (2011) hacen su revisión de la literatura, encuentran que la definición está lejos de ser clara en la mayoría de los artículos observados y dan cuenta de la polisemia del término. En este sentido, diferentes autores acuerdan que el término modelo científico tiene diversas acepciones y significados

(Adúriz-Bravo, 2013; Chamizo, 2013; Mendonça y Justi, 2014; Oliva, 2019). Entre las diferentes definiciones, se advierte consenso en torno a considerar como modelo a la *representación de un objeto o fenómeno con un objetivo específico* (Gilbert et al., 2000). En esta línea, Adúriz Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009) recuperan la concepción de Giere respecto de la noción de modelo teórico, por considerarla sencilla, amplia y potente para el trabajo en las aulas de ciencias naturales; y lo definen como “cualquier representación subrogante, en cualquier medio simbólico, que permite pensar, hablar y actuar con rigor y profundidad sobre el sistema que se está estudiando” (p. 46).

Desde esta conceptualización de modelo, la *modelización científica escolar* (MCE) se constituye en una estrategia didáctica potente, que habilita a la/os estudiantes a que piensen sobre hechos clave, reconstruidos teóricamente con el fin de dar sentido a los fenómenos del mundo que la ciencia intenta explicar. De esta forma, las actividades de MCE se valen de representaciones semióticas (símbolos, ecuaciones, juegos), que permiten explicar y comprender diferentes fenómenos y conceptualizaciones (como biodiversidad, ser vivo, nutrición, sistema nervioso, etc.). Dichas representaciones son creadas con un propósito particular, ya sea *comunicativo* -para negociar significados, describir, explicar-, *cognitivo* -para razonar, responder preguntas, poner a prueba teorías-, u *operatorio* -para resolver problemas- (Bermudez, 2022; Gómez Galindo, 2013).

La modelización como práctica científica en la enseñanza de las ciencias

Si la noción de modelo resulta polisémica, la idea de modelización también lo es. En este sentido, Oliva (2019) identifica al menos cinco acepciones diferentes para este término en el contexto de la enseñanza de las ciencias, dependiendo si el interés se sitúa en los modelos en sí mismos, en los procesos que lo acompañan, en las demandas que requiere del estudiantado, en los recursos instrumentales que permiten representarlos o en las estrategias que regulan en conjunto cada una de esas posibilidades. Así la modelización se presenta: 1) *como progresión de modelos*; 2) *como práctica científica*; 3) *como competencia*; 4) *en su dimensión instrumental* y 5) *como estrategia de enseñanza*.

En este capítulo pretendemos aportar principalmente en el ámbito de esta segunda acepción, en tanto que consideramos que involucrar a estudiantes en estas prácticas, en contraposición a rutinas en las que suelen ser sólo consumidores de productos del conocimiento científico, contribuye a que entiendan no solo ideas centrales disciplinares, sino también a construir conocimiento epistemológico para comprender cómo se construyen y evalúan esas ideas (Acher, 2014; Duschl y Grandy, 2008).

En este sentido, la comunidad de la DCN viene trabajando desde hace tiempo en diferentes perspectivas para llevar prácticas de modelización científica auténticas a las aulas de ciencias (Acher, 2014). Al respecto, Gilbert y Justi (2016) distinguen dos perspectivas en relación a la enseñanza de las ciencias a través de la modelización. La primera, *Model-Based Teaching* (enseñanza basada en modelos), se relaciona con el proceso de enseñanza en

el cual los modelos son proporcionados por el/la docente y estos son utilizados por la/os estudiantes en diversas actividades. La segunda perspectiva, que ha cobrado centralidad en las investigaciones actuales, *Modelling-Based Teaching* (enseñanza basada en la modelización), hace referencia al proceso educativo en el que las y los estudiantes participan en la modelización de una entidad determinada.

Es importante mencionar aquí, el aporte de Digna Couso (2014) quien analiza críticamente las diferentes formas que ha tomado este enfoque en la enseñanza de las ciencias, indicando cómo la discusión ha reorientado la mirada hacia la *“indagación centrada en la modelización”* (Model-Based Inquiry, MBI); proponiendo la indagación para la generación, utilización y revisión de modelos. En esta línea, cabe mencionar los estudios de Jiménez Liso et al. (2022) en el marco de secuencias de instrucción que articulando un ciclo de indagación y un ciclo de modelización, enfatizan la construcción de conocimiento basado en evidencia y, al mismo tiempo, otorgan centralidad al modelo explicativo.

Como puede observarse, coexisten diferentes enfoques educativos basados en MoMo y que no son mutuamente excluyentes, sino que pueden presentarse en las aulas propiciando diferentes niveles de complejidad cognitiva (Gilbert, 2004). Sin embargo, ha ido in crescendo la tendencia de buscar el protagonismo del estudiantado en la construcción crítica de modelos, entendiéndose la modelización como una oportunidad de propiciar la inmersión de los mismos en prácticas científicas auténticas (Campbell y Oh, 2015).

Modelizar desde un punto de vista epistémico, comportaría una gama de procesos estrechamente vinculados a los componentes del ciclo de investigación científica. Desde esta perspectiva, involucrar al alumnado en prácticas auténticas de modelización implicaría comprometerse en la formulación, uso y evaluación de modelos. Al respecto, Justi y Gilbert (2002) proponen cinco posibilidades a la hora de incorporar la modelización en el aula, en una secuencia lógica de progresión con desafíos de complejidad creciente:

- **Aprender modelos ya dados**, el interés se centra en el contenido científico, es decir, en que las y los estudiantes aprendan un modelo dado para un contenido disciplinar específico, un “producto de la ciencia”;
- **Usar modelos**, luego de presentarse el modelo a las y los estudiantes, deben aplicarlo en contextos diferentes en los cuales el modelo también funcionará, posibilitando la explicación del fenómeno;
- **Revisar y cambiar los modelos que ya conocen**, las y los estudiantes tienen la oportunidad de cambiar el modelo con el fin de aplicarlo a un contexto diferente al inicial o para utilizarlo con fines diferentes a los originalmente propuestos;
- **Reconstruir modelos ya existentes**, las y los estudiantes recrean un modelo que conocen, utilizando modos de representación distintos a los que se utilizaron para el desarrollo del modelo original; y
- **Crear modelos nuevos**, las y los estudiantes trabajan sin conocer previamente el modelo, lo que implica pensar la noción u entidad que se está modelando, intentando representarla de la mejor manera posible.

Tal y como lo proponen estos y otros autores, poner en juego estas prácticas de modelización en el aula en sus diferentes formatos supone desafíos cognitivos de complejidad creciente, invitando al desarrollo de pensamientos de orden superior (Anderson, 1999; Krathwohl, 2002), tales como la evaluación para la reconstrucción o la creación de *novo* de modelos. De esta forma, la incorporación de la modelización en la enseñanza de las ciencias, particularmente en estas últimas configuraciones, resulta una puerta de entrada al razonamiento científico y a la construcción de habilidades para la comprensión del mundo natural, trascendiendo el reduccionismo de la dimensión técnica del “hacer”, que suele ser aún frecuente en las clases de ciencias.

La competencia de metamodelado en la construcción de saberes metacientíficos

Como se mencionó previamente, otra acepción de la modelización en el contexto de la enseñanza de las ciencias, alude al tipo y nivel de desempeño que demanda la actividad de modelizar en estudiantes, *la competencia de modelización* (Nicolaou y Constantinou, 2014; Oliva, Aragón y Cuesta, 2015). Podemos entender la misma como un conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y valores epistémicos necesarios para llevar a cabo la tarea de modelizar en su dimensión más amplia (Oliva, 2019); constituyendo, de esta forma, una de las facetas integrantes de la *competencia científica*, junto a otras como la indagación y la argumentación en ciencias (Jiménez-Aleixandre y Crujeiras-Pérez, 2012).

El trabajo de Nicolaou y Constantinou (2014) propone que la competencia de modelización abarcaría dos aspectos: las prácticas de modelización y el metaconocimiento. El primero de ellos, comprende las destrezas que permiten usar reflexivamente y expresar una variedad de representaciones y modelos; y el segundo, es entendido como conocimiento epistémico y actividad metacognitiva en tanto permite percibir adecuadamente la naturaleza y el alcance de los modelos.

En síntesis, las prácticas de modelización, se relacionan con el uso –total o parcial– del ciclo de modelización científica, lo que implica generar modelos, aplicarlos, revisarlos, compararlos y validarlos, evaluando su utilidad para explicar y hacer predicciones (Gilbert, 2004; Justi y Gilbert, 2002); y el metaconocimiento, conocimiento de segundo orden que implica dos dimensiones principales: la *metamodelización* y el *conocimiento metacognitivo*. Particularmente en este caso, nos interesa el primero de ellos (Figura 1).

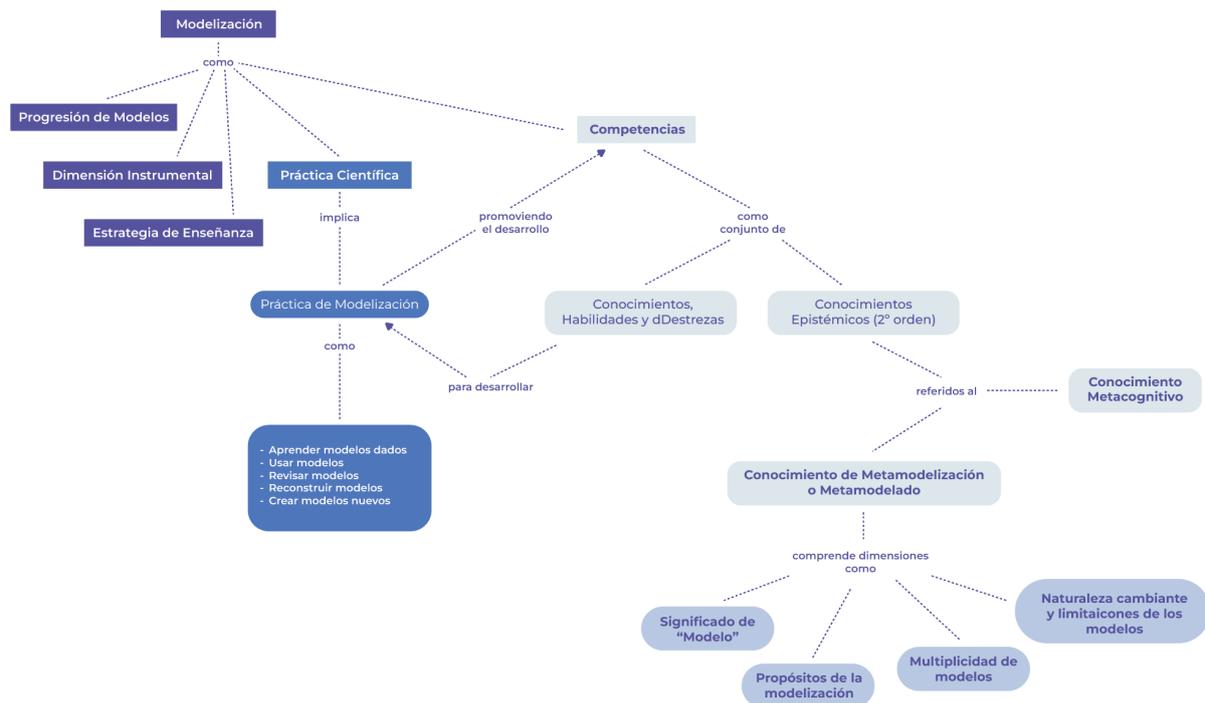


Figura 1: La modelización como práctica científica y la competencia de metamodelado en la enseñanza de las ciencias (Fuente: Elaboración propia)

En cuanto al conocimiento de *metamodelización* o *Metamodelado*, que supone comprender la naturaleza de MoMo (White et al., 2011). Diversos autores han caracterizado este conocimiento e incluso algunos han planteado instrumentos para su evaluación (Krell y Krüger, 2016). Estos últimos, señalan que coexisten dos visiones acerca de MoMo: la *visión retrospectiva*, que concibe al modelado como representación de algo (*modelos de algo*) y la *visión prospectiva*, que concibe al modelado como práctica científica para dar sentido al mundo (*modelos para algo*). Krell y Kruger (2017), no sólo ponen énfasis en la importancia del conocimiento del metamodelado para la práctica e investigación de la educación científica, sino también, en el reconocimiento de que los modelos son ambas perspectivas a la vez, aunque exista una preponderancia de docentes y estudiantes en considerarlos principalmente dentro de la primera de ellas.

Diversos autores (Acevedo et al., 2017; Adúriz Bravo, 2012; Adúriz y Ariza, 2012; 2014; Chamizo, 2006; Oh y Oh, 2011) han propuesto las siguientes dimensiones para la caracterización del conocimiento del metamodelado, las cuales pretenden comprender la naturaleza de MoMo:

a) Significados de “modelo”

Oh y Oh (2011), señalan que no hay una única definición de modelo, pero que comúnmente se entiende como la “representación” de un referente. Los referentes representados por los modelos pueden ser varias entidades, como objetos, fenómenos, procesos, ideas, o sistemas. Asimismo, un modelo también se considera como un puente o mediador que conecta una teoría y un fenómeno, ya que ayuda a desarrollar una teoría desde los datos y pone en relación la teoría con el mundo natural, lo cual supone que no existiría una relación directa entre lo

que se dice del mundo (teoría) y la manera en que los fenómenos se muestran. Los modelos, además, guardan una relación de similaridad con la realidad a la que refieren o representan. De allí que Adúriz-Bravo y Ariza (2014) refieran al carácter analógico de los modelos respecto del mundo. La reflexión sobre esta naturaleza de los modelos nos conduce a reconocer que no son réplicas exactas de la realidad.

b) Propósito de la modelización

Como instrumento para pensar y comunicarse, un modelo científico tiene el propósito de describir, explicar y predecir fenómenos naturales y comunicar ideas científicas a otros. Estos roles funcionales se potencian expresando los modelos con recursos semióticos no lingüísticos, usando analogías y permitiendo simulaciones mentales y externas del mismo.

Reflexionar sobre los propósitos de los modelos nos permite reconocer su carácter intencional y que están impregnados por valores vigentes en la ciencia de un lugar y una época determinada. Los científicos realizan un recorte de la realidad cuando pretenden estudiar un fenómeno, seleccionando sólo aquellos aspectos que son de su interés. Así, los modelos suponen una mirada no neutral sobre el mundo, atravesada por determinados modos de ver que se proyectan sobre la realidad (Adúriz y Ariza, 2014).

c) Multiplicidad de modelos

Debido a que la comunidad científica y las y los científicos pueden tener diferentes ideas acerca de cómo es el referente y de cómo funciona, es posible construir muchos modelos distintos para un mismo fenómeno. Además, es importante destacar que existe una variedad de recursos semióticos disponibles para la construcción de modelos, lo que también contribuye a la multiplicidad de los mismos.

Asimismo, y como ya hemos mencionado, se debe tener en cuenta que los modelos sólo se enfocan en determinados aspectos del fenómeno, por lo que para una misma porción de la realidad pueden corresponderse diferentes modelos teóricos según cuáles sean las preguntas que los científicos pretenden abordar y los valores e intenciones que estas preguntas impliquen.

d) Naturaleza cambiante y limitaciones de los modelos

Los modelos, en tanto son consensuados por la comunidad científica a lo largo de la historia, se someten a permanente revisión. Ello significa que un modelo científico puede cambiarse, debido a la aparición de nuevos conocimientos o nuevas perspectivas provenientes de evaluaciones empíricas o conceptuales. En consecuencia, no se refiere a los modelos como verdaderos o falsos en términos absolutos. Más bien interesa focalizar la atención en el grado de semejanza que existe entre el modelo (determinado por la teoría) y el sistema real, reconociendo que el modelo sólo refleja una faceta específica de ese sistema, con un grado de precisión limitado, siendo su naturaleza siempre parcial y relativa. De esta manera, el foco sobre esta dimensión contribuye a reflexionar sobre el carácter falible y provisorio del conocimiento científico.

Considerando estas dimensiones en conjunto, la modelización como práctica científica y la construcción de competencias vinculadas al metamodelado hacen lugar al abordaje y la reflexión explícita acerca de la naturaleza de la ciencia que se aprende en función de las perspectivas epistemológicas vigentes. Nos referimos a los modelos de ciencia de realismo y racionalidad moderados, que resultan superadores de las visiones clásicas y permiten problematizar ideas preconcebidas y deformadas acerca de la ciencia y la actividad científica. Así, la reflexión metacientífica emerge como escenario para la construcción de una imagen más real, completa y dinámica de la ciencia que recupere, entre otros aspectos, la naturaleza provisoria y no neutral del conocimiento científico, comprendiendo a la ciencia como actividad profundamente humana, anclada en el contexto histórico y social, que construye modelos explicativos en permanente revisión, que son siempre representaciones de los sistemas reales en estudio (Adúriz-Bravo, 2005; Bahamonde, 2014).

A modo de reflexiones finales

A lo largo de este capítulo hemos intentado argumentar cómo la modelización como práctica científica y la competencia de metamodelado son aportes de relevancia para la educación científica actual, integrando la construcción de conocimiento científico para dar sentido a los fenómenos del mundo y para construir una visión más adecuada y actualizada de la ciencia.

En este sentido, es necesario mencionar las nuevas posibilidades que abre MoMo, desde la perspectiva que hemos planteado, en torno a revisar conceptos y/o teorías en relación a modelos clásicos en Biología tales como el de ADN, célula, ser vivo. En este sentido, diversos autores (Acevedo et al., 2017; Passmore et al., 2014; White et al., 2011) plantean que MoMo, y en particular, el conocimiento de metamodelado, ofrecen criterios y aportes para superar las clásicas prácticas de enseñanza en torno a modelos de la Biología que se reducen a la identificación y etiquetado de componentes y memorización de funciones (*modelos de*). El desafío es, entonces, superar este reduccionismo que pone en primer plano la forma, enfatizando la intención y funcionalidad de los modelos (*modelos para*).

Creemos, además, que estas perspectivas son una contribución para procesos de alfabetización científica que posicione al estudiantado en mejores condiciones para construir explicaciones y comunicar posiciones y decisiones razonadas y argumentadas respecto de asuntos científicos (Bahamonde, 2014). En este marco, y como perspectiva abierta para seguir pensando, nos preguntamos acerca de qué prácticas de modelización proponer en las aulas de Biología cuando nos proponemos abordar nociones complejas de la disciplina que conectan necesariamente con problemas sociales que pueden ser relevantes y de interés considerando los contextos de vida de las y los estudiantes. La inclusión de este criterio de relevancia sociocientífica nos conduce a reconocer la complejidad que es inherente a los nuevos escenarios sociales donde estas problemáticas se insertan, involucrando una trama de aspectos sociales, culturales, económicos, políticos, éticos.

Asimismo, resulta evidente que la construcción de modelos científicos en Biología actualmente posee también implicancias de diversa índole reclamando de abordajes complementarios que combinan el ámbito epistemológico específico y su vinculación sociocultural, tecnológica e histórica. Específicamente, muchos conceptos estructurantes de la disciplina (pensemos por ejemplo en las nociones de ecosistema, biodiversidad, alimentación) plantean nexos interdisciplinarios y suponen fuertes implicancias éticas, socioculturales y tecnocientíficas, siendo marco de nuevas ideas fértiles en otras múltiples disciplinas (etnobiología, biología de la conservación, antropología, arquitectura, agronomía, etc.).

Frente a estas consideraciones quizás sea necesaria una apertura hacia otros modelos teóricos que, con un enfoque multirreferencial, interdisciplinar y multidimensional, permitan profundizar sobre estas nociones complejas y estructurantes de la Biología y promover nuevos intercambios de conocimientos (Bahamonde, 2014). Ello supondrá un descentramiento de la ciencia convencional, reconociendo las visiones de mundo, intereses y contextos donde la noción cobra singularidad y relevancia.

Referencias bibliográficas

- Acevedo-Díaz, J.A. (2006). Relevancia de los factores no-epistémicos en la percepción pública de los asuntos tecnocientíficos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 370–391. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i3.03
- Acevedo-Díaz, J., García-Carmona, A., Aragón-M., M. y Oliva-M., J.M. (2017). Modelos científicos: significado y papel en la práctica científica. *Revista Científica*, 30(3), 155-166. <https://doi.org/10.14483/23448350.12288>
- Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné, Episteme y Didaxis:TED*, 36, 63-75. <https://doi.org/10.17227/01213814.36ted63.75>
- Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación Química*, 23(S2), 248-256. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2012.2%20Ext.53169>
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-A., 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. (2013). A 'Semantic' View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 22(10), 1593–1611. <https://doi.org/10.1007/S11191-011-9431-7>
- Adúriz-Bravo, A. y Ariza, Y. (2012). Qué son los modelos científicos: introduciendo la escuela semanticista en la Didáctica de las Ciencias Naturales. En: *Memorias III Congreso Internacional y VIII Nacional de*

Investigación en Educación, Pedagogía y Formación Docente. pp. 1134- 1150.

- Adúriz-Bravo, A. y Ariza, Y. (2014). Una caracterización semanticista de los modelos científicos para la ciencia escolar. *Bio-grafía- Escritos sobre la Biología y su enseñanza*, 7(13), 25-34. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia25.34>
- Bermudez, G.M.A. (2022). Una didáctica para la enseñanza de la biodiversidad: explicitar concepciones, recuperar la historia y realizar prácticas científicas de modelización. En: E.O. Valbuena Ussa., J.A. Castro Moreno y R. Roa Acosta (Comp.), *Educación en biodiversidad. Perspectivas y retos* (pp. 291-323). Serie Cátedra Doctoral N° 10. Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional.
- Bahamonde, N. (2014). Pensar la educación en biología en los nuevos escenarios sociales: la sinergia entre la modelización, naturaleza de la ciencia, asuntos socio-científicos y multirreferencialidad. *Bio-grafía*, 7(13), 87-98. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia87.98>
- Campbell, T. y Oh, P.S. (2015). Engaging students in modeling as an epistemic practice of science: An introduction to the special issue of the Journal of Science Education and Technology. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 125-131. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9544-2>
- Cardoso, P.C. (2020). De que conhecimento sobre natureza da ciência estamos falando? *Ciência & Educação*, 26, e20003. <https://doi.org/10.1590/1516-731320200003>
- Chamizo, J.A. (2006). Los modelos de la química. *Educación Química*, 17(4), 476-482. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2006.4.66030>
- Chamizo, J.A. (2013). A New Definition of Models and Modeling in Chemistry's Teaching. *Science & Education*, 22(10), 1613-1632.
- Couso, D. (2014). De la moda de "aprender indagando" a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. *XXVI Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Huelva, Andalucía.
- Duschl, R. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32, 268-291. <http://dx.doi.org/10.3102/0091732X07309371>
- Duschl, R. y Grandy, R. (2008). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: framing the debates. En: R. Duschl y R. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry. Recommendations for research and implementation* (pp. 1-37). Rotterdam: Sense Publisher.
- García-Carmona, A. y Acevedo-Díaz, J.A. (2018). The nature of scientific practice and science education. *Science & Education*, 27(5-6), 435-455. <https://doi.org/10.1007/s11191-018-9984-9>
- García-Carmona, A. (2020). From inquiry-based science education to the approach based on scientific practices. *Science & Education*, 29(2), 443-463. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-020-00108-8>
- García-Carmona, A. (2021). Prácticas no-epistémicas: ampliando la mirada en el enfoque didáctico basado en prácticas científicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1108. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1108
- Gilbert, J.K. (1993). *Model and modelling in science education*. Hatfield, Reino Unido: The Association for Science Education.

- Gilbert, J.K. (2004). Models and modelling: Routes to a more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115-130. <http://dx.doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4>
- Gilbert, J.K., Boulter, C.J. y Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. En: J.K. Gilbert, y C.J. Boulter (Eds), *Developing models in Science Education*, Dordrecht: Kluwer.
- Gilbert, J.K. y Justi, R. (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education, Models and Modelling in Science Education*. Springer International Publishing: Switzerland.
- Gobert, J.D. y Buckley, B.C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894. <https://doi.org/10.1080/095006900416839>
- Gómez Galindo, A.A. (2013). Explicaciones narrativas y modelización en la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 11-28. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n1.733>
- Gómez Galindo, A.A. (2014). Enseñanza de la Biología basada en modelos y modelización: una introducción. *Bio-grafía- Escritos sobre la Biología y su enseñanza*, 7(13), 21-23.
- Gutiérrez, R. (2014). Lo que los profesores de ciencias conocen y necesitan conocer acerca de los modelos: aproximaciones y alternativas. *Bio-grafía*, 7(13), 37- 66. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia37.66>
- Jiménez-Alexandre, M.P. (2012). Las prácticas científicas en la investigación y en el aula de ciencias. Conferencia plenaria. *XXV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 9-14.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. y Crujeiras-Pérez, B. (2012). La naturaleza de la ciencia en acción: Prácticas sociales científicas y metacognición en la clase y el laboratorio. Comunicación presentada en el VII Seminario Ibérico/ III Seminario Iberoamericano CTS no Ensino das Ciências. OEI y AIA-CTS. Madrid. España.
- Jiménez-Liso, M.R., Bellocchi, A., Martínez-Chico, M. y López-Gay, R. (2022). A Model-Based Inquiry Sequence as a Heuristic to Evaluate Students' Emotional, Behavioural, and Cognitive Engagement. *Research in Science Education*, 52, 1313-1334. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10010-0>
- Justi, R. y Gilbert, J. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Kelly, G.J. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. En: R. A. Duschl, y R. E. Grandy (eds.), *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp. 99-117). Rotterdam: Sense.
- Kelly, G.J. y Licona, P. (2018). Epistemic practices and science education. En: M. R. Matthews (ed.), *History, philosophy and science teaching* (pp. 139-165). Dordrecht: Springer.
- Krell, M. y Krüger, D. (2016). Testing models: A key aspect to promote teaching activities related to models and modelling in biology lessons? *Journal of Biological Education*, 50(2), 160-173. <https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1028570>

- Krell, M. y Krüger, D. (2017). University students' metamodelling knowledge. *Research in Science & Technological Education*. <https://doi.org/10.1080/02635143.2016.1274724>
- Lee, M.-H. Ying-Tien Wu, Y.-T. y Tsai, C.-C. (2009). Research Trends in Science Education from 2003 to 2007: A content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 31(6), 1999–2020. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690802314876>
- Lin, T.-Z., Lin, T.-J. y Tsai, C.-C. (2014). Research Trends in Science Education from 2008 to 2012: A systematic content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 36(8), 1346–1372. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.864428>
- Mendoça, P.C.C. y Justi, R. (2014). An Instrument for Analyzing Arguments Produced in Modeling-Based Chemistry Lessons. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(2), 192–218. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.21133>
- National Research Council- NRC. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington D.C.: The National Academies Press.
- Nicolaou, C.T. y Constantinou, C.P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52-73. <https://doi.org/10.1016/J.EDUREV.2014.10.001>
- 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. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Oh, P.S. y Oh, S.J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33 (8) 1109–1130. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- Organization for Economic Cooperation and Development- OECD (2006). Evolution of Student Interest in Science and Technology Studies. Policy Report.
- Osborne, J. (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>
- Passmore, C., Gouvea, J.S. y Giere, R. (2014). Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making. En: *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 1171-1202). Springer, Dordrecht.
- Schwarz, C.V., Reiser, B.J., Davis, E.A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632- 654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Torres, J. y Vasconcelos, C. (2017). Desarrollo y validación de un instrumento para analizar las visiones de los profesores sobre modelos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 181-198. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i1.14
- Vasques Brandão, R., Solano Araujo, I. y Veit, E.A. (2015). Validación de un cuestionario para investigar concepciones de profesores sobre ciencia y modelado científico en el contexto de la física. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 6(1), 43-60. <http://dx.doi.org/10.54343/reiec>

v6i1.68

White, B., Collins, A. y Frederiksen, J. (2011). The Nature of Scientific Meta-Knowledge. En: M. Khine y I. Saleh, (Edit.) *Models and Modeling, Cognitive Tools for Scientific Enquiry* (pp. 41-76) Dordrecht: Springer.

Para seguir leyendo

• **Modelización y argumentación en la enseñanza de las ciencias experimentales. Sección monográfica. Didacticae, 5, 3-72. <https://revistes.ub.edu/index.php/didacticae/issue/view/2145>**

Esta sección monográfica presenta marcos teóricos, reflexiones, investigaciones y recomendaciones de enseñanza en torno a la modelización y argumentación científica escolar y, en algunos casos, se apunta a posibles integraciones entre ellas.

• **Maguregi González, G., Uskola Ibarluzea, A., y Burgoa Etxaburu, B. (2017). Modelización, argumentación y transferencia de conocimiento sobre el sistema inmunológico a partir de una controversia sobre vacunación en futuros docentes. Enseñanza de las Ciencias, 35(2), 29-50. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2237>**

Este artículo ofrece un ejemplo concreto sobre el uso de cuestiones sociocientíficas en clases de Biología para el desarrollo de la competencia argumentativa y la modelización.

Sitios Web recomendados

• **<https://www.youtube.com/watch?v=7EN72cZRIj8>**

Conferencia PH. D. Digna Couso. “El reto de aprender ciencia haciendo ciencia: modelizar para aprender las grandes ideas de la ciencia”. Congreso Nacional e Interregional del Programa ICEC (2020). Este webinar, entre otros aspectos, desarrolla dos ideas principales, la práctica de modelización y los modelos centrales en el aula de ciencias.

• **<https://www.youtube.com/watch?v=397p5VSFmmg>**

Conferencia Dra. Alma Adrianna Gómez Galindo: “Qué enseñar en ciencias y cómo analizar el aprendizaje: modelos escolares y análisis multimodal”. Jornadas IEPE- FECEFYN-UNC (2020). En esta conferencia, la especialista reflexiona acerca de cómo situar a la modelización en las escuelas de Latinoamérica reconociendo que los hechos que se abordan están insertos en un mundo culturalmente diseñado y cómo hacer que la explicación de estos hechos sea una tarea con relevancia en las vidas de los estudiantes, recuperando sus saberes, intereses y necesidades.

CAPÍTULO 8

Propuesta para analizar los saberes docentes sobre modelos y modelización en ciencias naturales, a partir del Conocimiento Didáctico del Contenido

María Emilia Ottogalli y Gonzalo M.A. Bermudez

*Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Universidad Nacional de Córdoba) –
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)*

emilia.ottogalli@unc.edu.ar; gbermudez@unc.edu.ar

Resumen

Trabajar con modelos y modelización como práctica científica favorece el acercamiento a una ciencia real, promoviendo prácticas cognitivas, discursivas y socioculturales de construcción y validación de conocimiento. Durante la enseñanza, esto tiene particular importancia ya que la visión de ciencia que se presenta al estudiantado cobra centralidad en la que irán construyendo a lo largo de su trayectoria escolar. En ese sentido, se reconoce la importancia de los saberes docentes para crear situaciones de enseñanza basadas en el uso de modelos y la modelización. Desde este punto, vinculamos al constructo del Conocimiento Didáctico del Contenido, considerado como un saber propio de las y los docentes y que se pone en juego para hacer que un tópico sea más comprensible para sus estudiantes. Con ello en mente, proponemos una serie de categorías y preguntas orientadoras, para guiar el análisis y caracterización de los conocimientos docentes al enseñar contenidos de biología que involucren a los modelos y la modelización.

Este capítulo está estructurado en dos grandes apartados. En la primera parte, presentamos una breve descripción de las prácticas científicas y el significado asociado a cada una de ellas, luego nos adentramos en los modelos y la modelización (MoMo) en ciencias naturales. En ese sentido, desarrollamos las principales ideas para MoMo, diferenciando sus significados y acepciones. A continuación, nos detenemos en el constructo del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), sus características principales, los modelos teóricos que se utilizan para definirlo y algunos resultados de trabajos de investigación realizados para conocer el

CDC del profesorado, particularmente de Biología, al enseñar contenidos que abarquen modelos y la modelización.

La segunda parte de este capítulo está enfocada en una propuesta de abordaje metodológico que presenta una serie de categorías y preguntas orientadoras, construidas a partir de los aportes de trabajos expuestos en la primera parte, así como otras de elaboración propia. Tanto las categorías como las preguntas tienen por objetivo servir de insumo para analizar los conocimientos que poseen las y los docentes de biología al enseñar contenidos relacionados a los modelos y la modelización, y pueden ser de utilidad para docentes en ejercicio como para investigadores/as de la enseñanza de las ciencias naturales. Un resumen gráfico de lo expuesto aquí se puede ver en la figura 1.

Dado que el desarrollo teórico sobre modelos y modelización y CDC es muy rico y extenso, hacemos un recorrido sintético a los fines de este capítulo, e invitamos a profundizar en la temática a partir de algunos trabajos reseñados en el apartado final “para seguir leyendo”.

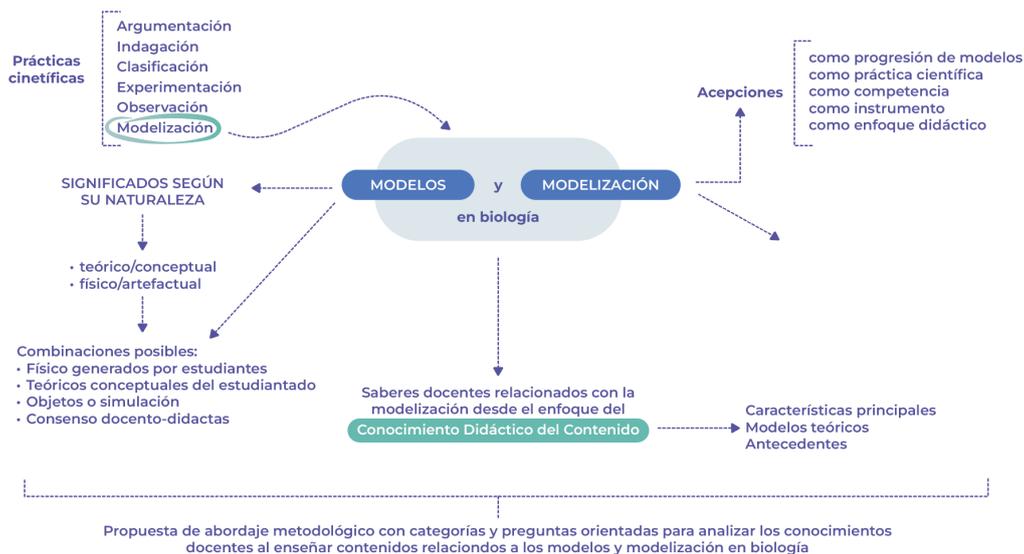


Figura 1: El siguiente esquema es un resumen gráfico del capítulo, el cual incluye las nociones y clasificaciones existentes sobre MoMo, su relación con el constructo del CDC y la vinculación con la propuesta metodológica de este trabajo.

Primera parte

Un recorrido por las diferentes prácticas científicas

Las ciencias naturales son disciplinas con un origen que se remonta a tiempos muy antiguos y cuyos procesos de diferenciación han sido largos y complejos; por ejemplo, desde considerar a la física como la madre y modelo a seguir, hasta la diferenciación de la química y la biología como disciplinas independientes.

Respecto a la enseñanza de las ciencias, en los últimos años ha surgido una corriente didáctica que sostiene que una buena forma de aprenderlas es mediante la participación en

prácticas científicas. Para Osborne (2014), desarrollar la comprensión de las y los estudiantes de la base epistémica de la ciencia, es decir, cómo sabemos lo que sabemos, requiere que se involucren en las prácticas comunes de la ciencia.

Ahora bien, al hablar de prácticas científicas nos referimos a ciertos cuerpos de construcción de conocimiento investigados en la didáctica de las ciencias naturales (Prego y Puig, 2016), estos son:

1. Argumentación: para las autoras Crujeiras et al. (2020), es la práctica científica desarrollada por las personas de ciencia para relacionar pruebas con conclusiones a través de justificaciones y respaldos, y es necesaria para comprender cómo se construye, evalúa y comunica el conocimiento científico. Además, mencionan la importancia de trabajar la argumentación con las y los estudiantes, con el objetivo de desarrollar el pensamiento crítico frente a temáticas controvertidas socialmente.

2. Indagación: implica el diseño y la puesta en práctica de experimentos y el análisis de datos obtenidos (Prego y Puig, 2016). En la enseñanza de la ciencia, requiere que las y los estudiantes desarrollen ideas científicas para entender y participar responsablemente en el mundo en el que viven, se hagan preguntas, recopilen datos, revisen y analicen pruebas, discutan los resultados y obtengan conclusiones (García-Carmona, 2021).

3. Modelización: esta práctica consiste en construir, revisar, aplicar y proponer modelos para explicar fenómenos naturales (Prego y Puig, 2016). Trabajar con ella durante la enseñanza, permite al alumnado experimentar y entender cómo se construyen y evalúan las grandes ideas en ciencia (Oliva, 2019). Sin embargo, a pesar de las posibilidades que ofrecen, Prego y Puig (2016) advierten que los modelos raramente se utilizan en el aula de ciencias y, en la mayoría de los casos, se emplean como ilustraciones, más que como herramientas de construcción de conocimiento. En este trabajo optamos por ahondar sobre esta práctica científica, por lo cual profundizaremos en ella en los próximos apartados.

4. Clasificación, experimentación y observación: son otras de las prácticas llevadas a cabo por personas de ciencia. Todas ellas pueden ser trabajadas durante la enseñanza y el aprendizaje ofreciendo otros modos de acercarse al trabajo científico, fomentando el desarrollo de nuevas habilidades cognitivas, así como herramientas y competencias de la alfabetización científica (Erduran y Dagher, 2014).

Los modelos y la modelización (MoMo) en ciencias naturales.

Tal como señala Diéguez (2013), las ciencias biológicas cuentan con una gran variedad de modelos que, a su vez, designan cosas muy diferentes, por ejemplo, pueden ser organismos (como *Drosophila melanogaster*), objetos materiales, interpretaciones teóricas de la estructura y función de entidades o procesos biológicos (como el modelo de bicapa lipídica), conjunto de ecuaciones que describen el comportamiento de sistemas biológicos complejos, entre otros.

Sin embargo, cuando hablamos de MoMo es importante distinguir sus significados y los avances de las investigaciones para cada uno de ellos.

Comencemos señalando que el término *modelo* se utiliza con distintos significados, debido al carácter polisémico que posee (Oliva, 2019).

Los modelos son representaciones de fenómenos del mundo natural que se usan para describirlo, predecirlo y/o explicarlo o interpretarlo (Couso et al., 2021a). Se puede decir también que los modelos juegan un papel central tanto en la ciencia como en la educación científica, siendo en ambos casos mediadores entre el mundo y las teorías (Oliva, 2019).

En esta línea, Couso et al. (2021a) proponen que los modelos útiles en el aula poseen dos tipos de naturaleza: 1) teórico/conceptual: que refiere al mundo de las ideas; 2) físico/artefactual: referido al mundo de lo que se puede realizar, ya sea material o no. A partir de esto se generan cuatro tipos de combinaciones posibles: a) modelos físicos generados por el estudiantado; b) modelos teóricos conceptuales de las y los estudiantes, c) el objeto (ej: maqueta, diagrama) o simulación que ofrece cada docente; d) el consenso que tienen las y los docentes y didactas acerca de lo que se debería saber sobre un determinado tema de las ciencias naturales (Figura 2).

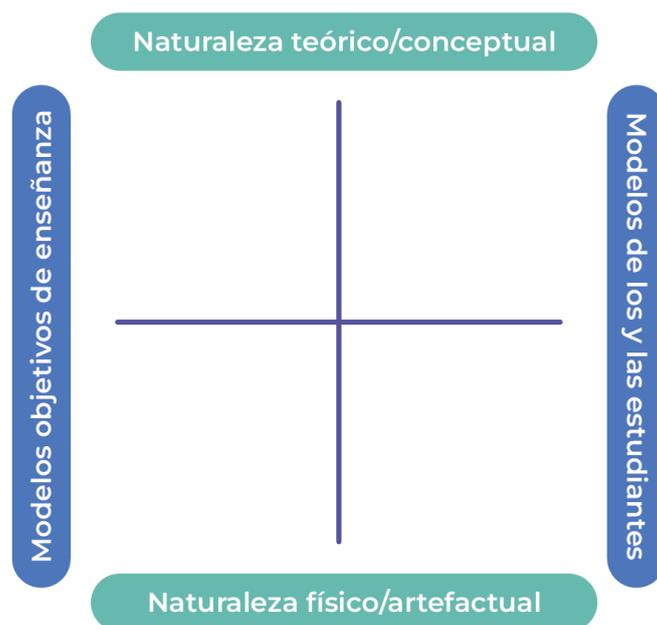


Figura 2: Imagen adaptada de Couso et al. (2021a), donde presentan cuatro tipos de combinaciones posibles de modelos basados en su diferente naturaleza. Fuente: elaboración propia.

Por su parte, la *modelización*, y las metodologías de enseñanza y aprendizajes centradas en ella, permiten promover en el aula la construcción de modelos científicos escolares (Couso et al., 2021b), fomentando así el aprendizaje de conceptos o núcleos disciplinares de las ciencias (Oliva, 2019).

Muchas veces el término *modelizar* es utilizado con diferentes acepciones en la literatura de la didáctica de las ciencias. En este sentido, Oliva (2019) distingue cinco significados:

1) la modelización como progresión de modelos: se concibe la enseñanza y el aprendizaje como un recorrido de progresión, que parte de los modelos intuitivos del alumnado, persiguiendo la evolución de los mismos, teniendo como referentes otros más complejos y coherentes con el currículum escolar.

2) la modelización como práctica científica: desde esta perspectiva se considera a la modelización como la oportunidad de que las y los estudiantes puedan introducirse en las prácticas científicas ya que se contemplan procesos relacionados al quehacer investigativo (plantear problemas, formular predicciones, recoger y analizar información para comprobarla, elaborar nuevas ideas y explicaciones, etc.). Este significado de modelización y su inclusión durante la enseñanza, permite al alumnado participar en actividades similares a las desarrolladas por las personas que hacen ciencia, es decir, prácticas cognitivas, discursivas y socioculturales de construcción y validación de conocimiento (Couso et al., 2021b).

3) la modelización como competencia: la tarea de modelizar implica conocer los modelos de las ciencias, pero también trabajar con ellos, elaborarlos, revisarlos, entender su valor, su utilidad, así como sus limitaciones y su carácter aproximativo. Concebida así, refiere al conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y valores epistémicos necesarios para llevar a cabo la tarea de modelizar en su dimensión más amplia.

4) la modelización como instrumento: en ciertas ocasiones, los modelos se presentan utilizando recursos e instrumentos retóricos que se consideran como apoyo de la modelización en la clase de ciencias (dibujos, maquetas, metáforas, analogías, simulaciones, etc). Funcionan como “artefactos epistémicos” que ayudan a la creación y validación de los modelos (Gilbert y Justi, 2016) y permiten que se desarrollen tareas como imaginar, reflexionar, visualizar, ilustrar, etc.

5) la modelización como enfoque didáctico: consiste en articular el conjunto de decisiones que adopta cada docente para promover una evolución en los modelos del estudiantado. Dichas decisiones afectan a la selección de contenidos que se deben enseñar y la forma como se organizan. Se pone énfasis en el carácter social de los procesos de elaboración de modelos y se resalta el papel de las interacciones en el aula para promover ambientes de enseñanza que faciliten el aprendizaje.

Desde una visión de modelización como la actividad de construir modelos conceptuales (no materiales o artefactos), Couso (2020) propone un ciclo de modelización que incluye tanto las actividades del alumnado como las de las y los docentes (Figura 3). En palabras de la autora, ello brinda al profesorado una herramienta de andamiaje para guiar la planificación, implementación y evaluación de la práctica de enseñanza. El ciclo de modelización está compuesto por seis fases, siendo la primera de utilidad para problematizar y generar interés para modelizar, y el resto de las fases como promotoras de distintas prácticas de modelización (Garrido Espeja et al., 2022). Estas fases se definen de la siguiente manera:

- 1.Reconocer la necesidad de un modelo
- 2.Expresar/ utilizar el modelo
- 3.Evaluar el modelo
- 4.Revisar el modelo
- 5.Consensuar un modelo final
- 6.Aplicar un modelo final

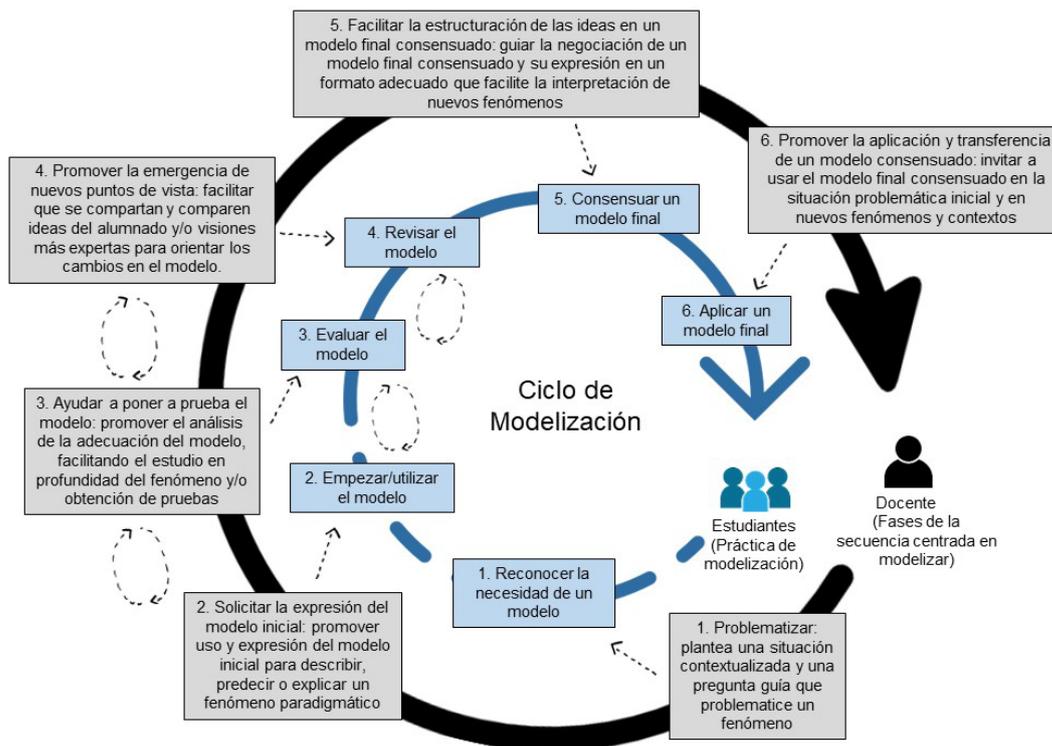


Figura 3. Adaptación del ciclo de modelización tomado de Couso (2020), presentado en el trabajo de Garrido Espeja et al. (2022). Fuente: elaboración propia.

Saberes de los docentes relacionados con MoMo desde el enfoque del Conocimiento Didáctico del Contenido.

Muchas veces la ciencia se transmite como conocimientos acabados o con métodos inflexibles que alejan a las y los estudiantes de la naturaleza provisional de la ciencia (Prego y Puig, 2016). Sumado a ello, los investigadores Krell y Krüger (2015) mencionan que, al momento de enseñar, las y los profesores de biología necesitan una comprensión acabada sobre MoMo y sobre cómo desarrollar actividades de enseñanza relacionadas. Además, de Sá Ibraim y Justi (2021), señalan que varios autores han reconocido la importancia del papel docente en la creación y conducción de situaciones de enseñanza basadas en prácticas científicas, particularmente en la modelización, y han enfatizado la necesidad de que las y los docentes desarrollen y demuestren conocimientos didácticos relacionados con ella para enseñar contenidos de ciencias naturales que involucran la modelización.

Desde ese lugar vinculamos el concepto de Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC),

entendido como un conocimiento propio de cada docente y que representa la amalgama entre el contenido y la pedagogía en un esfuerzo por comprender cómo ese contenido es organizado, representado y adaptado al grupo de estudiantes y presentado para su enseñanza (Shulman, 1987). En ese sentido, el CDC es una construcción interna y propia de cada docente que surge a través de la transformación e integración de los conocimientos académicos y que se vincula con creencias de otros núcleos de saber, con el objetivo de dar respuesta a conceptualizaciones personales de la enseñanza (Ravanal Moreno et al., 2022).

Desde la promulgación del CDC, hubo consenso sobre su valor para la enseñanza; pero ante la ambigüedad de las definiciones iniciales surgieron diversos modelos. Así, se formularon varios modelos con base en los contextos de investigación, y actualmente hay una fuerte tendencia a recuperar aquellos que abordan la integración de diferentes componentes del CDC. Particularmente, Park y Chen (2012) exploraron la integración de cinco componentes de un modelo pentagonal, en el cual el CDC se ubica en el centro del polígono y en interacción con cinco componentes (Orientaciones para la Enseñanza de las ciencias; Conocimiento de la Comprensión de los Estudiantes sobre las ciencias; Conocimiento y creencias acerca del Currículo de ciencias; Conocimiento sobre Estrategias para enseñar ciencias; Conocimiento sobre Evaluación en ciencias) (Figura 4).

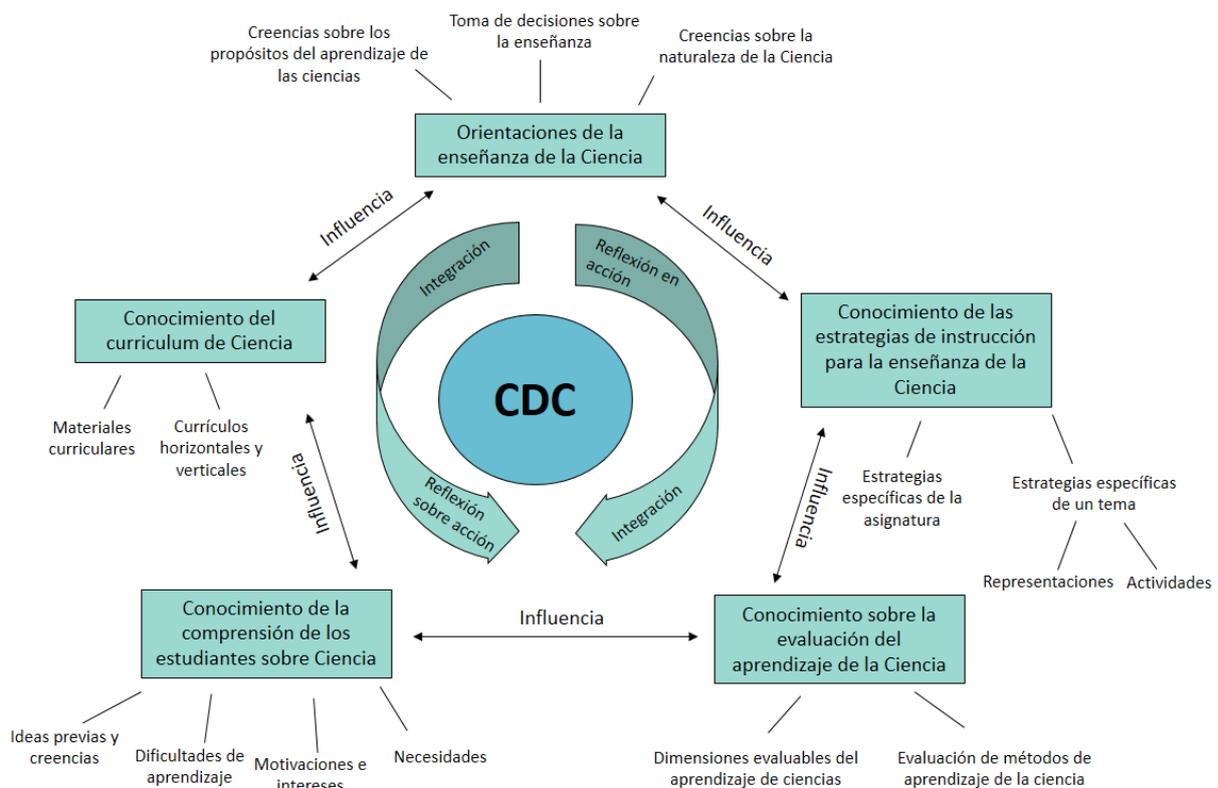


Figura 4. Modelo pentagonal del CDC, adaptado de Park y Chen (2012). Fuente: elaboración propia.

Al considerar trabajos que utilizan el constructo CDC para caracterizar el conocimiento docente relacionado a MoMo, podemos decir que encontramos una reciente producción.

Así, se considera que uno de los primeros estudios en este campo surge en el continente europeo y fue desarrollado por Justi y van Driel (2005), quienes elaboraron una propuesta para la enseñanza del modelado para contenidos de química y biología (de Sá Ibraim y Justi, 2021).

Posteriormente, y ubicados en la misma región, surgen otras producciones en donde participaron docentes de diferentes disciplinas, en algunos casos desde la química (De Jong et al., 2005; Bindernagel y Eilks, 2009), otras desde la física (Henze et al., 2008) y en otros casos desde la biología (Günther et al., 2019; Krell y Krüger, 2015). Entre algunos de los resultados, destacamos los informados por Krell y Krüger (2015), quienes advierten, en primer lugar, que las y los docentes de biología poseen una comprensión limitada de los modelos, reducidos a copias o representaciones idealizadas que se emplean para mostrar o explicar; mientras que solo unos pocos describen los modelos como entidades hipotéticas y herramientas de investigación. En segundo lugar, los autores señalan que rara vez los modelos son contrastados con o evaluados en función de otros existentes por las y los docentes encuestados.

Ahora bien, si consideramos las producciones realizadas en otros continentes, como en el caso de América Latina, notamos que solo se hallan investigaciones desarrolladas en Brasil. Profundizando en estas producciones, identificamos que algunos realizan una revisión sobre el constructo CDC y su utilidad para caracterizar el conocimiento de las y los docentes sobre prácticas científicas como modelización (de Sá Ibraim y Justi, 2021), otros contribuyen con categorías de análisis desde la química para fomentar el desarrollo del conocimiento del profesorado sobre modelaje durante formación inicial y/o continua (Justi y Figueirêdo, 2014), y otros indagan, a través de entrevistas, el CDC de docentes sobre MoMo para contenidos de química y biología (Justi y Gilbert, 2002).

A partir del recorrido realizado, podemos decir que no identificamos trabajos en Argentina, donde se aborde el uso del constructo del CDC para caracterizar el conocimiento docente relacionado con MoMo en ciencias, en particular de la biología.

Por ello, con el objetivo de aportar al campo de la enseñanza sobre los conocimientos del profesorado sobre MoMo en biología, presentamos una serie de categorías y preguntas orientadoras para identificar los conocimientos sobre MoMo durante la enseñanza. Las mismas podrían ser utilizadas por investigadores o investigadoras e incluso docentes en ejercicio que deseen reflexionar sobre sus propias prácticas.

Segunda parte

Categorías de análisis para caracterizar los saberes de docentes de biología sobre modelos y modelización.

Las categorías propuestas (Tabla 1) están asociadas a los componentes del CDC del modelo pentagonal (Park y Chen, 2012) y fueron construidas tomando aportes propios y de los artículos sobre MoMo de Couso et al. (2021a), Justi y Figueirêdo (2014) y Oliva (2019). Además, se ofrecen algunas preguntas orientadoras para guiar el procedimiento de análisis de la práctica. Dado que el CDC de cada docente se refleja en la acción de enseñar, sugerimos como fuente de datos para analizar la enseñanza de contenidos que comprendan modelos y modelización, las observaciones y/o grabaciones de clase, y las entrevistas.

Tabla 1: Categorías de análisis y preguntas orientadoras para el análisis de la práctica áulica.

Vinculación con los componentes del CDC	Categorías de análisis propuestas	Preguntas orientadoras
Orientaciones para la enseñanza de contenidos de biología que involucren MoMo.	1) Ideas del profesorado sobre modelos y naturaleza de los mismos: i) Teórico/conceptual. ii) Físico/artefactual.	¿Hay indicios que nos llevan a reconocer un modelo teórico conceptual o físico artefactual?, ¿cuáles son esos indicios? Si detectamos evidencia de ambos, ¿podemos decir que uno prevalece sobre el otro?
	2) Sobre MoMo, la o el docente expresa o refleja en su práctica: i) Reconocimiento de la existencia de los modelos para un determinado tema de las ciencias naturales. ii) Uso de objetos, simulación, otros. iii) Validez o importancia de los modelos en ciencias. iv) Consideración del carácter construido, contextual y provisional de los modelos. v) Referencia sobre el metamodelado.	¿Se utiliza MoMo al enseñar temas de biología?, ¿cuáles?, ¿Qué ofrece la o el docente para trabajar con los modelos? ¿Se aborda el valor que tiene el trabajo con modelos en la ciencia?, ¿se ofrecen ejemplos?, ¿hace alusión al carácter construido, contextual y provisorio de los modelos o se asemeja más a modelos definidos y estáticos?, ¿qué elementos permiten identificar ese posicionamiento?, ¿al trabajar con modelos, se hace referencia a su naturaleza de esos modelos (tipo, contenidos del modelo), el proceso de modelado o el propósito de utilizarlos?
	4) Concepciones sobre modelización en la enseñanza de las ciencias naturales: i) Como progresión de modelos. ii) Como práctica científica. iii) Como competencia. iv) Como instrumentos. v) Como enfoque didáctico.	¿Cuáles son las concepciones sobre modelización que posee la o el docente?, ¿podemos decir que se evidencia más de una concepción en sus clases?, ¿qué elementos permiten evidenciarlo?

Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza para contenidos de biología que involucren MoMo.	3) Tipos de modelos que se promueven al grupo de estudiantes en las clases: i) Modelos físicos/materiales generados por las y los estudiantes. ii) Modelos teóricos conceptuales de las y los estudiantes.	¿Qué tipo de modelos se promueven en la clase?, ¿son considerados en un momento particular del desarrollo del tema?, ¿se los asocia a algo en particular? Si se consideran tanto modelos físicos/materiales como conceptuales, ¿podríamos decir que prevalece uno sobre otro?
	5) La modelización como estrategia de enseñanza: i) Acciones que realiza la o el docente durante el proceso de modelización. ii) Acciones que desarrolla el estudiantado durante el proceso de modelización.	¿Cuáles son las acciones que realiza la o el docente durante el proceso de modelización? ¿Cuáles son las acciones que realiza el estudiantado durante el proceso de modelización? ¿Hay alguna que ocupe más tiempo durante el desarrollo de la clase?, ¿Es posible identificar cuál/es de esas acciones que realiza el estudiantado jerarquizan o validan las y los docentes?, ¿cómo son integradas en el proceso de modelización?
Conocimiento de la comprensión de las y los estudiantes sobre contenidos de biología que involucren MoMo.	6) Conocimiento de sus estudiantes y sus ideas sobre MoMo: i) Adaptación a los distintos contextos. ii) Reconocimiento de modelos iniciales del grupo de estudiantes. iii) Reconocimiento de las dificultades o aspectos más fáciles al trabajar con modelos y modelización durante el proceso de enseñanza.	¿Se utilizan actividades acordes al contexto del grupo de estudiantes e institución?, ¿cuáles son los indicios de ello?, ¿la o el docente indaga sobre los modelos del grupo de estudiantes previo a desarrollar los aceptados por la ciencia? ¿Advierte dificultades durante el trabajo con MoMo?, ¿cómo las aborda?
Conocimiento del Currículum. sobre contenidos de biología que involucren MoMo.	8) Currículum y MoMo: i) Relevancia de trabajar con MoMo en ciencias con las y los estudiantes. ii) Abordaje de MoMo durante la enseñanza.	La o el docente, ¿expresa, manifiesta o indica en algún documento curricular, la relevancia de trabajar con MoMo en ciencias con las y los estudiantes?, ¿cómo se aborda MoMo durante la enseñanza?, por ejemplo, ¿se trabajan vinculados a un contenido específico, se trabajan de manera horizontal al programa, otras formas de trabajarlos?
Conocimiento de la evaluación de contenidos de biología que involucren MoMo.	7) La evaluación de los modelos y la modelización: i) Dimensiones que deben ser evaluadas. ii) Objetivos de evaluar los modelos o la modelización iii) Formas e instrumentos adecuados para evaluar el proceso de modelización o modelos en ciencias. iv) Evaluación o puesta a prueba de los modelos.	¿La o el docente, reconoce las dimensiones específicas a ser evaluadas?, ¿manifiesta los beneficios para el aprendizaje de las y los estudiantes a partir de la enseñanza basada en modelaje? ¿Identifica formas e instrumentos específicos para evaluar los procesos de MoMo en ciencias?, ¿cuáles?, ¿los instrumentos están destinados a evaluar conceptos y habilidades desarrolladas por las y los estudiantes?, ¿se desarrollan propuestas que apunten a una reflexión metacognitiva por parte del alumnado? ¿los modelos trabajados son puestos a prueba?, ¿de qué manera?, ¿se considera que pueden ser reemplazados por otros superadores?, ¿se comparan los modelos iniciales de las y los estudiantes con los modelos en ciencias?, ¿Hay indicios de evaluación de la propuesta de enseñanza sobre los modelos o modelización utilizada?

Reflexiones finales

Optar por trabajar con una práctica científica promueve el trabajo con otras, ya que al modelizar también se puede argumentar e indagar. Por ello, enseñar ciertos contenidos con este enfoque, no solo permitirá que las y los estudiantes se acerquen a una ciencia más auténtica, sino que además favorecerá el desarrollo de diversas habilidades cognitivas no limitadas a la repetición o memorización. Además, como mencionan Justi y Figueirêdo (2014), para que el estudiantado desarrolle conocimientos sobre las prácticas científicas es necesario que vivencie una formación que le conlleve a soportes teóricos y prácticos.

Acceder a los conocimientos que posee el profesorado sobre MoMo desde el CDC es una forma de conocer y reflexionar sobre la ciencia que se enseña durante la escolaridad y que repercutirá luego en la forma de concebir su naturaleza.

Las categorías y preguntas aquí presentadas, ofrecen una puerta hacia la reflexión sobre las propias prácticas en relación a estas prácticas científicas o una guía para orientar la investigación del CDC de docentes. Por su parte, la escasez de trabajos que indaguen el CDC de los docentes al trabajar con MoMo, particularmente en Argentina, enfatiza la necesidad de promover su investigación y así favorecer la reflexión de los propios conocimientos.

Referencias bibliográficas

- Bindernagel, J.A. y Eilks, I. (2009). Evaluating roadmaps to portray and develop chemistry teachers' PCK about curricular structures concerning sub-microscopic models. *Chemistry Education Research and Practice*, 10, 77–85. <https://doi.org/10.1039/B908245J>
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En D. Cous, M. R., Jiménez-Liso, C. Refojo y J. A. Sacristán (Eds.), *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 63-74). Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, FECYT. Recuperado de: <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>
- Couso, D., Garrido-Espeja, A. Hernández, M.I. (7-10 de septiembre de 2021a). Modelizar para enseñar y aprender ciencias. En A. Marzabal (Moderador). Hacia una educación científica orientada a la construcción de modelos científicos escolares. Simposio. Universidad de Extremadura, Lisboa, Portugal.
- Couso, D., Garrido-Espeja, A. y Hernández, M.I. (2021b). Modelizar para enseñar y aprender ciencias. En F. Cañada y P. Reis (Eds.), *Actas Electrónicas Del XI Congreso Internacional En Investigación En Didáctica De Las Ciencias 2021* (pp.455-458). Lisboa: Revista Enseñanza de las Ciencias. 978-84-123113-4-1. https://congresoenseciencias.org/wp-content/uploads/2021/09/Actas-electronicas-del-XI-Congreso_compressed.pdf
- Crujeiras-Pérez, B., Martín-Gamez, C., Díaz-Moreno, N. y Fernández-Oliveras, A. (2020). Trabajar la argumentación a través de un juego de rol: ¿debemos instalar el cementerio nuclear? *Enseñanza de las Ciencias*, 38(3), 125-142 <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2888>

- de Sá Ibraim, S. y Justí, R. (2021). Discussing paths trodden by PCK: An invitation to reflection. *Research in Science Education*, 51(2), 699-724. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-09867-z>
- De Jong, O., Van Driel, J.H. y Verloop, N. (2005). Preservice Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Using Particle Models in Teaching Chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(8), 947-964. <https://doi.org/10.1002/tea.20078>
- Diéguez, A. (2013). La función explicativa de los modelos en biología. *Contrastes. Revista Internacional de Filosofía*, 18, 41-54. Recuperado de: <https://www.revistas.uma.es/index.php/contrastes/article/view/1157/1112>
- Erduran, S., y Dagher, Z.R. (2014). *Reconceptualizing nature of science for science education*. Springer.
- García-Carmona, A. (2021) Prácticas no-epistémicas: ampliando la mirada en el enfoque didáctico basado en prácticas científicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(1), 1108. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1108
- Garrido Espeja, A., Soto Alvarado, M. y Couso Lagarón, D. (2022). Formación inicial de docentes de ciencia: posibles aportes y tensiones de la modelización. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(1), 87-105. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3286>
- Gilbert, J.K. y Justí, R. (2016). Approaches to modelling-based teaching. En J.K. Gilbert y R. Justí (Eds.), *Modelling-based Teaching in Science Education. Models and Modeling in Science Education* (pp.57-80). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3_4
- Günther, S.L., Fleige, J., Upmeier zu Belzen, A. y Krüger, D. (2019). Using the case method to foster preservice biology teachers' content knowledge and pedagogical content knowledge related to models and modeling. *Journal of Science Teacher Education*, 30(4), 321-343 <https://doi.org/10.1080/1046560X.2018.1560208>
- Henze, I., van Driel, J. y Verloop, N. (2008). Development of experienced science teachers' pedagogical content knowledge of models of the solar system and the universe. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1321-1342. <https://doi.org/10.1080/09500690802187017>
- Justí, R. y Figueirêdo, K.L. (2014). Conocimiento Pedagógico del contenido (PCK) de profesores sobre modelización. En C. Merino, M. Arellano y A. Adúriz-Bravo. (Eds), *Avances en Didáctica de la Química: modelos y lenguajes*. (1ra ed., pp. 63-77). Salesianos S. A. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Cristian-Merino-Rubilar/publication/274381053_Avances_en_didactica_de_la_quimica_Modelos_y_lenguajes/links/55db2bd908aed6a199ac3290/Avances-en-didactica-de-la-quimica-Modelos-y-lenguajes.pdf#page=64
- Justí, R., y Gilbert, J.K. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of science education*, 24(12), 1273-1292. <https://doi.org/10.1080/09500690210163198>
- Justí, R. y van Driel, J. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process, *International Journal of Science Education*, 27(5), 549-573. <https://doi.org/10.1080/0950069042000323773>
- Krell, M. y Krüger, D. (2015). Testing Models: A Key Aspect to Promote Teaching Activities Related to

Models and Modelling in Biology Lessons? *Journal of Biological Education*, 50(2), 160-173. <https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1028570>

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. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>

Osborne, J. (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>

Park, S., y Chen, Y.C. (2012). Mapping out the integration of the components of pedagogical content knowledge (PCK): Examples from high school biology classrooms. *Journal of research in science teaching*, 49(7), 922-941. <https://doi.org/10.1002/tea.21022>

Prego, N.A. y Puig, B. (2016). Modelizar la expresión de los genes para el aprendizaje de enfermedades genéticas en secundaria. *Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 18(1), 65-84. <https://doi.org/10.1590/1983-21172016180104>

Ravanal Moreno, E.R., Rojas, F., Ferrando, M., Sánchez, B., y Palacios, E. (2022). Conocimiento didáctico de alfabetización inicial de una profesora principiante y una experimentada. *Perfiles Educativos*, 44(176), 65-82. <https://doi.org/10.22201/iissue.24486167e.2022.176.59602>

Shulman, L.S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform *Harvard Educational Review*, 57, 1-22. <https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411>

Para seguir leyendo

Como lectura ampliatoria, compartimos el libro coordinado por Digna Couso, Rut Jiménez-Liso, Cintia Refojo y José Antonio Sacristán, titulado: “*Enseñando Ciencia con Ciencia*” en donde se presentan resultados de investigaciones relacionadas a la neurociencia, la psicología del aprendizaje, la pedagogía y didáctica de las ciencias, aportando pruebas científicas y consensos sobre lo que hoy día sabemos que funciona y no funciona en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, con el objetivo es orientar la docencia hacia una práctica más científica.

- <https://www.fecyt.es/es/publicacion/ensenando-ciencia-con-ciencia>

Además, compartimos algunos trabajos de investigación que desarrollan secuencias de clase utilizando modelos y/o modelización para diferentes temas:

- **Bahamonde, N. y Gómez Galindo, 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*, 34(1), 129-147. <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/handle/11162/165366>
- **Lozano, E.E., Adúriz-Bravo, A. y Bahamonde, N. (2020).** *Un Proceso de Modelización de la Membrana Celular en la Formación del Profesorado en Biología en la Universidad.* *Ciência & Educação (Bauru)*, 26, 1-15. <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/>

cqgXXpNbCqFq9wGdcg85X6G/abstract/?lang=es

• **Bermudez, G.M.A. (2022).** *Una didáctica para la enseñanza de la biodiversidad: explicitar concepciones, recuperar la historia y realizar prácticas científicas de modelización.* En: E.O. Valbuena Ussa, J. A. Castro Moreno & R. Roa Acosta (Comp.), *Educación en biodiversidad. Perspectivas y retos* (pp. 291-323). Serie Cátedra Doctoral N° 10. Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional. <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/17198/Versi%C3%B3n%20Preliminar%20Catedra%2010%20Educaci%C3%B3n%20en%20biodiversidad-Rp.pdf?sequence=1>

Sitios Web recomendados

Ofrecemos la conferencia de la Dra Digna Couso sobre “Ciclo de Modelización” en el Congreso Nacional e Interregional del Programa ICEC (desde el 44.57min) <https://www.youtube.com/watch?v=7EN72cZRIj8&t=2697s>

Además, compartimos los siguientes sitios de internet que presentan variadas simulaciones para ser utilizadas en la clase::

- <https://phet.colorado.edu/es/>
- <https://cienciascontic.github.io/simuladores/> *Simulaciones digitales.*
- <https://learn.concord.org/> *Experiment with Ecosystems:*

CAPÍTULO 9

Propuesta de una secuencia didáctica para promover el aprendizaje de la relación estructura-función del hígado utilizando la modelización como eje

Andrea S. Rópolo¹, Belkys Maletto¹ y Leticia Garcia Romano²

¹Departamento de Bioquímica Clínica. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Nacional de Córdoba.

²Departamento de Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.

aropolo@immf.uncor.edu

Resumen

La Histología es una disciplina orientada al estudio de la estructura, composición, organización y características de los tejidos que conforman un órgano. De la observación comprensiva de la estructura microscópica se interpreta la relación entre estructura y función y luego se complejiza con las modificaciones que suceden durante un proceso patológico. Considerando que los modelos y la modelización pueden ser herramientas útiles para facilitar el aprendizaje, particularmente cuando son construidos por las/los estudiantes como parte de las actividades áulicas, es que proponemos una actividad didáctica para abordar la enseñanza del hígado. La propuesta se centra en el recorrido del metabolito bilirrubina desde el bazo hasta su eliminación en el intestino delgado, con el paso previo por el hígado. Se pretende que las/los estudiantes profundicen tareas tales como explicación, argumentación, pensamiento crítico y comunicación, y que esta actividad facilite la comprensión de procesos particulares que ocurren a nivel celular y tisular.

Introducción

Durante el dictado de la asignatura Anatomía e Histología Humana (AH&H) algunas estructuras y procesos que se desarrollan resultan difíciles de visualizar y entender por

parte de las/los estudiantes. Esta asignatura se dicta en el quinto cuatrimestre de la carrera de Bioquímica de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, y en ella se enseñan la estructura, composición, organización y las características de los distintos tipos de tejidos que conforman un órgano. La forma de aproximarse a este estudio es utilizando cortes ultra-finos de tejidos que son visualizados a través de un microscopio óptico, la cual se complementa con el estudio de los contenidos teóricos disponibles en libros o en las clases teóricas dictadas por las/los profesores. El desafío que enfrentan las/los estudiantes que se adentran en el estudio de la Histología están relacionadas principalmente a que deben desarrollar competencias para comprender de manera analítica la observación de los tejidos, integrando lo observado con los conocimientos teóricos referidos a ese órgano. Finalmente deben razonar para combinar lo visual con el conocimiento previo de manera de integrar la información y lograr la identificación de los tejidos (Pani et al., 2007; Sherman et al. 2009). A partir de esa observación comprensiva de la estructura microscópica de tejidos y órganos se interpreta la relación entre estructura y función, y luego se pueden inferir los cambios que suceden en situaciones patológicas.

A&HH se cursa en el primer cuatrimestre del área biomédica o pre-profesional y tiene actividades teóricas (no obligatorias) y prácticas (obligatorias). A lo largo del dictado de esta asignatura se produce un proceso de acompañamiento a las/los estudiantes para que progresivamente internalicen contenidos y los relacionen, sin embargo, a lo largo de los años hemos observado que hay algunos tejidos y órganos que las/los estudiantes encuentran particularmente desafiantes de visualizar y de comprender. En esos casos, experimentan grandes barreras para el aprendizaje (Crowther, 2017; Lujan et al., 2013; Rodenbaugh et al., 2012), que les impiden luego, en las asignaturas subsiguientes, complejizar los contenidos de histología particularmente en el estudio de la fisiología y la patología, dando evidencia de la complejidad de los sistemas vivos (Mayr, 2006). Uno de estos órganos que pertenece al sistema digestivo es el hígado, el cual cumple funciones tanto endócrinas como exócrinas, las cuales están directamente relacionadas a la arquitectura del mismo. Entre las funciones endócrinas se pueden describir la síntesis de proteínas, hidratos de carbono, entre otros que son vertidos a la sangre para su distribución en el organismo. Por otro lado, entre las funciones exócrinas se destacan la eliminación de metabolitos, entre ellos la bilirrubina conjugada hacia la vesícula biliar y finalmente al intestino delgado. Con respecto a la irrigación del hígado, particularmente este órgano se diferencia porque además de ser irrigado por la arteria hepática, que provee oxígeno y nutrientes a las células, es irrigado por la vena porta. La vena porta aporta por un lado todos los nutrientes absorbidos en el intestino delgado para que el hígado los procese, y recibe aportes además desde el bazo, que es en donde se degradan los glóbulos rojos. Uno de los pigmentos que se generan de la degradación de la hemoglobina es la bilirrubina, que es tóxica para nuestro organismo y debe ser eliminada. En este proceso, los hepatocitos cumplen una función clave, ya que conjugan la bilirrubina indirecta, que proviene del bazo, con ácido glucurónico, y la transforman en bilirrubina directa, que no necesita conjugarse a albúmina para circular, y es la forma en que es eliminada en el intestino (Ross, 2018). Cualquier situación patológica que se genere en el hígado y que impida que los hepatocitos cumplan su función resulta, entre

otras consecuencias, en un mayor color en la orina (por la bilirrubina indirecta que aumenta en sangre y es filtrada en el riñón) y disminución de color en materia fecal (porque no está siendo eliminada con las heces). A su vez, el aumento de bilirrubina indirecta produce color amarillento en la piel. Como se desprende de esta explicación, la comprensión e internalización de la histología, fisiología y patología de este órgano es clave para que el futuro bioquímico/a pueda interpretar los resultados obtenidos en muestras de sangre, orina y materia fecal.

Durante el cursado de la asignatura AH&H, las/los estudiantes comienzan el proceso de aprendizaje de este órgano, a través de la observación de extendidos histológicos, y se discuten oralmente las relaciones entre estructura y función. Sin embargo, en nuestro ámbito universitario, a partir de entrevistas informales con las/los docentes de la asignatura A&HH, como también de asignaturas dictadas en ciclos superiores se infiere que las/los estudiantes, a pesar de comprender durante la cursada los conceptos, cuando los deben retomar en asignaturas como Fisiología, para integrar la relación estructura-función, o en las asignaturas Patología Humana y Clínica I y II, donde deben relacionar el estado normal con el patológico del órgano presentan dificultades para poder construir las relaciones necesarias que le permitan integrar los conceptos. Parecería que lo estudiado en el aula durante el dictado de la asignatura A&HH y lo observado en los microscopios se circunscribe sólo a ese microambiente, y no se podría generar conocimientos a largo plazo.

Por lo tanto, recuperando conceptos que describen Erduran y Dagher (2014) es que se propone el diseño de una secuencia didáctica novedosa y alternativa a la simple observación del preparado histológico de hígado, con la intención de *transformar esta actividad en una auténtica práctica de indagación científica*. La observación en la actividad científica se considera una acción central, en donde las/los científicas/os recolectan datos para luego generar teorías, modelos y leyes. Los autores Gürol Irzik y Robert Nola expresan que no se concibe una disciplina científica que no implique hacer o depender de observaciones en algún punto y que, a su vez, la práctica de la observación varía según la disciplina científica en donde se utilice. Además, mencionan que hay una serie de similitudes y diferencias entre las disciplinas científicas considerando a las que sólo se basan en la observación o si además utilizan datos experimentales (Irzik y Nola, 2011). Particularmente en la disciplina histología la observación que se realiza carece de datos experimentales, sin embargo, es posible inferir teorías y conclusiones a través de la observación. La idea que guía esta propuesta es integrar esa observación con otras prácticas epistémicas y no epistémicas, de manera de transformarla en una práctica científica. Para ello, se pretende situar este aspecto de la actividad científica en prácticas epistémicas y discursivas amplias que lleven a dar sentido a lo observado y a integrar la teoría con la evidencia.

Desarrollo

Con este objetivo en vista, se propone una secuencia didáctica que gire alrededor de la relación entre histología-fisiología y patología del hígado y que tenga como eje didáctico

a la modelización. Debido a su naturaleza polisémica, la palabra “modelo” puede tener diversos significados (Harrison y Treagust, 2000; Gutiérrez, 2005, 2014; Chamizo, 2010; Adúriz-Bravo, 2012; Hernández, Couso y Pintó, 2015). En este trabajo, concebimos al modelo como una representación de un objeto o fenómeno con un propósito definido (Gilbert, Boulter y Elmer, 2000), en donde la representación actúa como una expresión formal y limitada de la entidad que se modela. Es importante que esta representación tenga la habilidad de abstraer y reformular de manera distinta la esencia de la entidad que evoca (Morrison y Morgan, 1999; Justi, 2006). Éstos son modelos dinámicos que deben funcionar en la mente de las/los estudiantes, a partir de las condiciones de entorno (en nuestro caso tomando los conceptos teóricos y lo observado en los preparados) y respondiendo a preguntas que dirijan su razonamiento en una situación de incertidumbre (como podría ser el análisis de otros modelos) (Oliva, 2019). Gobert y Buckley (2000) indican que, al momento del planteo de una pregunta, cada uno elabora un modelo mental para darle respuesta, que luego evalúa y revisa en caso necesario. Según Oliva (2019) así como la palabra modelo es polisémica y presenta distintos significados, la idea de modelización también posee distintas acepciones. Así, la modelización puede presentarse como una progresión de modelos, como práctica científica, como competencia, con enfoque didáctico o en su dimensión instrumental. En este trabajo abordamos la palabra modelo en su dimensión instrumental, planteando actividades en donde las/los estudiantes debían realizar representaciones con plastilina, y a la modelización como competencia, en donde se trabaja con los modelos desde una concepción más amplia, elaborándolos, revisándolos, opinando y analizando el valor y las limitaciones (Oliva, 2019). Más concretamente, Nicolaou y Constantinou (2014) caracterizaron los distintos componentes de dicha competencia en donde la modelización abarcaría prácticas de modelización y de metacognición. La primera de ellas entendida en términos del uso de destrezas que permiten a una persona usar reflexivamente y expresar una variedad de representaciones y modelos, y la segunda como conocimiento epistémico y actividad metacognitiva que permite tanto percibir adecuadamente la naturaleza y el alcance de cada uno, como gestionar su uso en situaciones particulares (Kozma y Russell, 1997; Schwarz, 2002; diSessa, 2004; Nicolaou y Constantinou, 2014).

El diseño de secuencias o actividades coherentes con el proceso de modelización pone énfasis en el carácter social de los procesos de elaboración de modelos, resalta el papel de las interacciones estudiante-profesor y estudiante-estudiante para promover ambientes de enseñanza que faciliten el aprendizaje significativo (Barak y Hussein-Farraj, 2013). Según Oliva (2019), en un esfuerzo por avanzar hacia una comprensión más definida de la modelización como enfoque didáctico, algunos autores (Oh y Oh, 2011; Campbell et al., 2015) han descrito rasgos o «pedagogías de modelización» compatibles con muchos de estos enfoques. En este trabajo consideramos la modelización desde dos dimensiones, según las propuestas por Campbell et al. (2015); como Modelización expresiva, donde las/los estudiantes describen o explican fenómenos mediante la creación de nuevos modelos o el uso de los modelos existentes y como *Modelización evaluativa*, donde las/los estudiantes comparan modelos alternativos que tratan el mismo fenómeno o problema, evalúan sus ventajas y limitaciones, y seleccionan el más apropiado. Junto a este tipo de prácticas, que

reflejan distintos propósitos, la modelización ha sido caracterizada por los referidos autores mediante el acto discursivo que acompaña a dichas tareas: explicación, argumentación, razonamiento científico, evaluación por pares, aprendizaje cooperativo/colaborativo entre iguales, andamiaje del profesor, escritura, comunicación y diálogo.

Así, la propuesta se centra en el recorrido del metabolito bilirrubina desde el bazo hasta su eliminación en el intestino delgado, con el paso previo por el hígado, y hace alusión a la función exócrina del hígado. En esta secuencia didáctica (Tabla 1) se proponen tres bloques: una primera parte exploratoria, que comienza con un disparador, como es la escucha de una canción y análisis de la letra y que finaliza con la observación microscópica clásica del preparado histológico (sombreado en amarillo); la segunda etapa tiene como eje la construcción de un modelo de hígado, en donde se analiza el recorrido del metabolito bilirrubina y que concluye con la comparación del modelo propio con los realizados por sus pares o los disponibles a través de una búsqueda en internet (sombreado en verde). En la etapa final se discutirán las posibles enfermedades que afectan al hígado y se concluirá la actividad con un escrito utilizando lenguaje coloquial (sombreado en celeste).

Tabla 1. Resumen de las actividades propuestas en la secuencia didáctica.

Actividades
Reproducción de la canción “La Bilirrubina” de Juan Luis Guerra y su grupo 4.40.
Análisis de la letra de la canción identificando todos los vocablos o frases relacionados a la salud.
Formulación de posibles explicaciones acerca del aumento de la bilirrubina. Investigación acerca de la bilirrubina.
Exposición de las conclusiones parciales a las que arribaron en el grupo de trabajo, de forma oral. Discusión y debate de sus puntos de vista.
Observación en un microscopio óptico el preparado histológico de hígado, teñido con H/E para analizar los distintos componentes anatómicos y funcionales.
Utilización de la modelización en su dimensión instrumental a través del modelado en plastilina y/o el uso de ilustraciones, para plasmar el recorrido que realiza la bilirrubina desde su génesis hasta su eliminación.
Búsqueda en páginas web de otros modelos de hígado y comparación con los diseños realizados.
Observación en un microscopio óptico el preparado histológico de hígado, teñido con H/E para analizar los distintos componentes anatómicos y funcionales.
Puesta a prueba del modelo en una situación patológica.
Exploración a través de la búsqueda en internet de situaciones patológicas donde se observa aumento de la bilirrubina.
Búsqueda de información acerca del hígado graso.
Escritura de un e-mail al cantautor justificando si, a su criterio, son correctos o incorrectos los conceptos explorados en la canción.

La propuesta está planeada para ser realizada durante las actividades presenciales en el cursado de la asignatura A&HH, preferentemente luego de que las/los estudiantes hayan asimilado los temas teóricos de sistema digestivo y sistema inmune (particularmente bazo). Participarán a su vez las/los docentes y las/los ayudantes-alumnos, como guía y asesores para el desarrollo de las actividades. Además, se plantea que el trabajo sea realizado en equipos para favorecer la cooperación y colaboración científica. Para la conformación de los grupos se

tendrán en cuenta el género, el desempeño de las/los estudiantes en los trabajos prácticos previos (con el objeto de favorecer que los grupos sean mixtos) y se les asignarán roles a las/los estudiantes. Todo esto se asocia a prácticas no-epistémicas asociadas a relaciones profesionales y personales en la comunidad científica (García-Carmona, 2021). Debido a que las reflexiones y conclusiones se expondrán de forma oral, se pretende que entre los grupos se generen intercambios y debates, que ayudan y fortalecen a la oratoria. Los desafíos a los que se enfrentarán las/los estudiantes podrían estar relacionados a este trabajo en equipo, en donde el diálogo, la negociación, el aprendizaje colaborativo serán claves para lograr una buena sincronización en el grupo. A su vez, se enfrentarán a la evaluación por pares, a la práctica de la oralidad y la argumentación, que luego serán importantes para su desempeño profesional. En la actualidad los profesionales trabajan en equipos en diferentes entornos, generalmente integrando grupos de trabajo con formación diversa, por lo que adquirir la competencia de trabajar en equipos es un propósito muy valorado (Duran-Aponte y Duran-García, 2012). Según lo observado en la bibliografía consultada, las/los estudiantes que incorporan el aprendizaje trabajando en equipos pequeños logran mayores calificaciones, aprenden a un nivel más profundo, recuerdan la información por más tiempo, adquieren mayores habilidades de comunicación y obtienen una mejor comprensión del entorno en el cual se trabaja como profesionales (revisado en Marin-García et al., 2008). Considerando las ventajas que presenta el trabajo en equipos, particularmente el aprendizaje activo centrado en las/los estudiantes (Fink, 2003), es que planteamos esta estrategia durante el desarrollo de la secuencia didáctica.

La propuesta se inicia cuando la/el docente propone la escucha de la canción “La Bilirrubina” de Juan Luis Guerra y su grupo 4.40, un cantautor dominicano que hace aproximadamente 30 años lanzó al mercado el disco Bachata rosa, que incluía esta canción¹. Esta actividad se plantea como un disparador para promover la atención de las/los estudiantes en torno a un tema de salud relacionado al romance. Luego de la escucha inicial, nuevamente se reproduce la canción, pero ahora introduciendo pautas y preguntas para que analicen la letra de la canción (Anexo I); entre ellas, la identificación de todos los vocablos o frases relacionados a la salud (en rojo en el Anexo I) y el análisis de los siguientes interrogantes: ¿En torno a qué situación se centraliza la canción? ¿Tiene relación con alguno de los órganos del trabajo práctico? ¿Es posible establecer una coherencia en relación a todos estos vocablos? Se pretende que identifiquen a la bilirrubina como el protagonista central de la canción y la relacionen con el hígado en donde este metabolito se procesa. Acá se recogerán las percepciones previas de las/los estudiantes con respecto a esta temática. Luego se propone analizar por qué Juan Luis Guerra escribe que se le subió la bilirrubina, formulando posibles explicaciones del fenómeno y respondiendo: ¿Qué es la bilirrubina? ¿En qué órgano se genera? ¿Cuál es el recorrido a través del organismo? Se pretende que retomando conocimientos teóricos previos logren realizar una descripción del contexto analizando el recorrido normal de la bilirrubina y las posibles causas que genere su aumento. Acá deberán aplicar conocimientos previos acerca del sistema digestivo en condiciones normales. En esta

1 <https://www.youtube.com/watch?v=K8PpV3yK5iA>

instancia las/los estudiantes pueden recurrir a consultas en material impreso o mediante recursos digitales. Luego de este análisis inicial que se genera dentro de cada uno de los equipos de trabajo, se les solicitará que expongan las conclusiones parciales, de forma oral, para compartirlas con sus compañeros/as. En esta instancia se pretende que las/los estudiantes expongan, discutan y debatan los distintos puntos de vista a los que arribaron en el grupo de trabajo, favoreciéndose el intercambio de ideas, el debate y la argumentación. Posteriormente, el docente les facilita a las/los estudiantes plastilina de diversos colores, marcadores, hojas, y plantea la siguiente consigna de trabajo:

“Modele el recorrido que realiza la bilirrubina desde su génesis hasta su eliminación, desde el punto de vista microscópico”.

El docente no indica ninguna pauta (referida a tamaño, formas, etc.) para permitirle la mayor libertad posible a las/los estudiantes, sin embargo, es aconsejable que los docentes circulen por las distintas mesas de trabajo para ponerse a disposición de las/los estudiantes y contestar preguntas. Durante esta etapa se realizará el primer nivel de análisis del modelo tratando de que las/los estudiantes identifiquen elementos claves del mismo. Se pretende que modelen tres órganos principales, el bazo, que es donde comienza la degradación de hemoglobina para dar el primer producto que es la bilirrubina indirecta. Para ello, deben retomar conocimientos adquiridos previamente en el estudio de sistema inmune, y modelar de forma microscópica cómo se separa el grupo hemo de la globina, y de qué manera la bilirrubina indirecta abandona el bazo a través de la vena esplénica, que es tributaria de la vena porta, y que se dirige hacia el hígado. Luego deberían modelar un lobulillo hepático mostrando el recorrido venoso, arterial y las vías biliares, indicando de qué forma entra la bilirrubina indirecta, en dónde se conjuga y de qué manera abandona el hígado. Finalmente, la modelización de la vesícula biliar y el intestino delgado completarían esta secuencia básica, mostrando que la bilirrubina es primero almacenada y concentrada y luego eliminada. Durante esta actividad posiblemente es el momento en que las/los estudiantes necesiten la guía del docente, de manera tal que no realicen un modelado de tipo macroscópico (modelando de forma general bazo, hígado e intestino delgado), sino que sean particularmente minuciosos en todo el recorrido. A modo de ejemplo en las figuras 1 y 2 se muestran dos modelos (realizados por los autores) con distintos niveles de complejidad. Una analogía que se puede emplear en esta instancia es decirles a las/los estudiantes que la consigna es equivalente al planteamiento de un viaje turístico a determinado lugar. Es muy distinto decir que se parte de una ciudad determinada, que va a visitar un lugar particular y finalmente que va a regresar, a exponer de forma detallada qué vía de transporte va a utilizar, en dónde va a comenzar el viaje, a dónde va a arribar, dónde se va a alojar, qué lugares va a visitar, qué excursiones va a realizar, y a dónde va a regresar. Esta analogía puede ser útil para situar al estudiante en el nivel de detalle que se pretende alcanzar. Finalmente, los distintos equipos de trabajos expondrán en forma oral sus modelos, lo que permitirá que se comparen modelos entre sí, se analicen los niveles de descripción alcanzados en cada uno de ellos y se comparen con lo observado en el microscopio óptico en la observación del hígado. De forma complementaria, el mismo modelo expuesto puede ser utilizado por el docente para analizar ahora la función endócrina del hígado y así completar el desarrollo del

tema. Posteriormente se les propondrá utilizar los teléfonos celulares o cualquier dispositivo para realizar la búsqueda de modelos de hígado, que pueden haber sido realizados en distintos soportes, mediante dibujos, modelización matemática, etc. Cada grupo mostrará los modelos encontrados, utilizando la argumentación y el pensamiento crítico como herramientas para exponer los análisis realizados. Aquí las/los estudiantes trabajarán con la modelización desde un enfoque más amplio al verlos como una competencia, ya que, al revisar modelos en otros contextos, les permitirá poder opinar, ver el valor de los mismos, y a su vez, considerar si son apropiados para el fin que fueron creados, considerando que si algún modelo fue realizado para la enseñanza en un contexto académico quizás tenga más nivel de detalle que otro a ser utilizado para una publicidad de algún medicamento. Aquí se pueden plantear discusiones acerca de la necesidad, en algunos casos de presentar un modelo simplificado para facilitar la comprensión del modo de acción del producto que se pretende comercializar. Este bloque concluye con la observación en un microscopio óptico el preparado histológico de hígado, procesado con la técnica histológica común y teñido con hematoxilina/eosina para analizar los distintos componentes anatómicos y funcionales. Es una oportunidad para que las/los estudiantes recorran el órgano, y les permita ubicar los elementos modelados en un corte histológico. Así, pueden observar el lobulillo hepático, analizar la ubicación de los hepatocitos de forma radial hacia la vena central, y observar la tríada portal (rama de arteria hepática, rama de vena porta, conducto biliar) en los extremos del lobulillo hepático. Hasta este punto, la carga horaria de la actividad es de aproximadamente 3 horas, por lo que consideramos que, si se va a seguir la secuencia que planeamos a continuación, se realicen en una actividad posterior, o en alguna asignatura correlativa, debido a que implica situaciones patológicas, y relaciones con la práctica profesional. De igual manera se puede desarrollar en la asignatura de Histología, con un nivel de desarrollo teórico más básico.

En el último bloque de esta secuencia didáctica se propone poner a prueba el modelo en una situación patológica, tratando de responder a las preguntas ¿qué sucedería con la bilirrubina si el hígado no puede cumplir su función? ¿Sucederá algún cambio en sangre, orina y materia fecal? En este segundo nivel de análisis del modelo se lo pondrá a prueba en una situación patológica con el objetivo de que las/los estudiantes reflexionen acerca de las consecuencias de la pérdida de función del órgano (Figura 1C). A su vez, reflexionarán acerca de las limitaciones o no del modelo realizado. En esta instancia se plantea que exploren a través de la búsqueda en Internet, en qué situaciones patológicas se observa aumento de la bilirrubina. Se pueden proponer las siguientes consignas: ¿Cuáles son los síntomas? ¿Pueden identificar alguna frase o vocablo en la canción “La bilirrubina” que se relacione al aumento de la bilirrubina? Se pretende que en esta etapa de análisis y reflexión las/los estudiantes analicen en la canción si pueden identificar algún síntoma que se relacione con el aumento de bilirrubina. Este ejercicio es clave para el diálogo entre médicos y bioquímicos en su futuro profesional. Luego de esta actividad introductoria al proceso patológico, se les presentará una patología en particular, como es el hígado graso, una patología que afecta al 25% de la población mundial. Se les propondrá que analicen cuáles son los síntomas, las causas de la patología, cómo se realiza el diagnóstico a nivel bioquímico y de qué manera

se puede prevenir. Esta consigna persigue un fin más socio-científico, ya que el hígado graso en general se relaciona a la obesidad, uso de ciertos fármacos y consumo excesivo de alcohol. Se pretende que aquí se concluya la importancia de una alimentación sana, la realización de ejercicio y el control en el consumo de alcohol, situaciones claves para llevar una vida saludable. Finalmente, y a manera de cierre, se les solicitará a los equipos de trabajo que ensayen un e-mail al cantautor justificando si, a su criterio, son correctos o incorrectos los conceptos explorados en la canción. A través de este escrito se espera que puedan plasmar de forma argumentativa y racional las conclusiones a las que arribaron, pero desde un lenguaje coloquial, que luego se pueda utilizar para divulgación del proceso de funcionamiento del hígado, utilizando a las/los estudiantes como multiplicadores de saberes.

Reflexiones finales

Las actividades de modelización y modelos son muy poco utilizadas en contextos universitarios, en parte debido al desconocimiento del potencial de esta herramienta, y además porque en muchos casos son consideradas como actividades para ser realizadas en niveles primarios y secundarios. Sin embargo, creemos que esta actividad es muy importante para ayudar a las/los estudiantes a interpretar lo estudiado de forma abstracta, relacionarlo con lo observado en el microscopio óptico en los cortes histológicos, y complementarlo con las actividades de modelado. Poder analizar de forma crítica sus propios modelos, los modelos creados por sus compañeros y los disponibles en sitios web, favorecen el pensamiento crítico y puede ayudar a que las/los estudiantes se apropien del conocimiento. A su vez, trabajar en el aula con un contenido más lúdico favorece las relaciones entre docentes y estudiantes, y más interesante aún es el diálogo y el intercambio que se produce entre pares. Por otro lado, la idea de transformar una observación en una práctica científica será un desafío a su vez para los docentes, que dictan la asignatura en un formato clásico, debiendo ahora introducir modelado, razonamiento científico, pensamiento crítico y a su vez, implica la coordinación de las evidencias y modelos a través de procesos discursivos como la argumentación. Finalmente, luego de la finalización de las secuencias, y en una instancia posterior, sería conveniente la realización de encuestas a estudiantes para analizar sus percepciones, emociones y sus opiniones que serían claves para que los docentes evalúen y consideren esta actividad para incluirla durante el dictado de la asignatura en años posteriores.

Referencias bibliográficas

Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación química*, 23, 248–256. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30151-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30151-9)

- Barak, M. y Hussein-Farraj, R. (2013). Integrating model-based learning and animations for enhancing students' understanding of proteins structure and function. *Research in Science Education*, 43(2), 619–636. <https://doi.org/10.1007/s11165-012-9280-7>
- Campbell, T., Oh, P.S., Maughn, M., Kiriazis, N. y Zuwallack, R. (2015). A review of modeling pedagogies: Pedagogical functions, discursive acts, and technology in modeling instruction. *Eurasia journal of mathematics science and technology education*, 11(1). <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1314a>
- Chamizo, J.A. (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 7(1), 26–41. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2010.v7.i1.02
- Crowther, G.J. (2017). Which way do the ions go? A graph-drawing exercise for understanding electrochemical gradients. *Advances in Physiology Education*, 41(4), 556–559. <https://doi.org/10.1152/advan.00111.2017>
- diSessa, A.A. (2004). Metarepresentation: Native Competence and Targets for Instruction. *Cognition and instruction*, 22(3), 293–331. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2203_2
- Durán-Aponte E, Durán-García M (2012). Competencias sociales y prácticas profesionales. Vivencias y demandas para la formación universitaria actual. *Cultura y Educación*, 24(1): 61-76. <http://dx.doi.org/10.1174/113564012799740777>
- Erduran, S y Zoubeida, R. 2014. Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education. *Contemporary Trends and Issues in Science Education*. 43. Springer.
- Fink LD. (2003) *Creating significant learning experiences: An integrated approach to designing college courses*. Ed. Wiley. 320 pag. ISBN: 0787971219
- García-Carmona, A. (2021) Prácticas no-epistémicas: ampliando la mirada en el enfoque didáctico basado en prácticas científicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(1), 1108. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1108.
- Gilbert, J. Boulter, C. y Elmer, R. (2000). *Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education*.
- Gobert, J.D. y Buckley, B.C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International journal of science education*, 22(9), 891–894. <https://doi.org/10.1080/095006900416839>
- Gutiérrez, R. (2005). *Polisemia actual del concepto «modelo mental»: Consecuencias para la investigación didáctica*.
- Gutiérrez R. (2014). Lo que los profesores de ciencias conocen y necesitan conocer acerca de los modelos: aproximaciones y alternativas. *Biografía*, 7(1), 37-66. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia37.66>
- Harrison, A.G. y Treagust, D.F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011–1026. <https://doi.org/10.1080/095006900416884>
- Hernández, M.I., Couso, D. y Pintó, R. (2015). *Analyzing students' learning progressions throughout a teaching sequence on acoustic properties of materials with a model-based inquiry approach*.

- Irzik, G. y Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of Science for Science Education. *Science & Education*, 20, 591–607.
- Justi R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Kozma, R.B. y Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949–968. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1098-2736\(199711\)34:9<949::aid-tea7>3.0.co;2-u](https://doi.org/10.1002/(sici)1098-2736(199711)34:9<949::aid-tea7>3.0.co;2-u)
- Lujan, H.L., Krishnan, S., Sullivan, O., Hermiz, D. J., Janbair, D.J. y DiCarlo, H. (2013). *Student construction of anatomical models for learning complex, seldom seen structures*.
- Marin-García JM, García-Sabater JJ, Miralles-Insa Cy Vidal-Carreras PI. (2008). Enseñando Administración de Empresas con docencia basada en el trabajo en equipo de los estudiantes: ventajas, inconvenientes y propuestas de actuación. *Intangible Capital* 4 (2), 143-165.
- Mayr, E. (2006). *Por qué es única la biología. Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*. Katz.
- Morrison, M. y Morgan, M.S. (1999). Models as mediating instruments. En M. S. Morgan y M. Morrison (Eds.), *Models as Mediators* (pp. 10–37). Cambridge University Press.
- Nicolaou, C. T. y Constantinou, C.P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52–73. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- Oh, P.S. y Oh, S.J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International journal of science education*, 33(8), 1109–1130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- Oliva, J.M. (2019). Different definitions for the idea of modeling in science education. *Enseñanza de las Ciencias Revista de investigación y experiencias didácticas*, 37(2), 5. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Pani, J.R., Chariker, J.H., Claudio, N.M. y Fell, R.D. (2007). Diagnostic visual information in the use of microscopes in histology. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 29(29). <https://escholarship.org/uc/item/0wt6c0gp>
- Rodenbaugh, D.W., Lujan, H.L. y DiCarlo, S.E. (2012). Learning by doing: construction and manipulation of a skeletal muscle model during lecture. *Advances in Physiology Education*, 36(4), 302–306. <https://doi.org/10.1152/advan.00093.2012>
- Ross, P. W. (2018). *Histología. Texto y Atlas color con biología Celular y Molecular*. 6ta Edición. Panamericana. 1036 p.
- Schwarz C. (2002). Is there a connection? The role of meta-modeling knowledge in learning with models. *In the Proceedings of International Conference of Learning Sciences*. Seattle, WA.
- Sherman, S. y Jue, C. (2009). Pedagogical Methods for teaching histology in anatomy and physiology courses. *HAPS-EDucator*.

ANEXO I.

Letra de la canción “*La Bilirrubina*”

Autor: Juan Luis Guerra

Oye, me dio una **fiebre** el otro día
Por causa de tu amor, cristiana
Que fui a parar a enfermería
Sin yo tener seguro (d)e cama
Y **me inyectaron suero de colores**, ey
Y **me sacaron la radiografía**
Y me diagnosticaron mal de amores, uh
Al ver **mi corazón como latía**
Oye, y me trastearon hasta el alma
Con **rayos X y cirugía**
Y es que la ciencia no funciona
Sólo tus besos, vida mía
Ay negra, mira **búscate un catéter**, ey
E **inyéctame tu amor como insulina**
Y **dame vitamina** de cariño, ¡eh!
Que **me ha subido la bilirrubina**
Ay...
Me sube la bilirrubina
¡ay! me sube la bilirrubina
Cuando te miro y no me miras
¡ay! cuando te miro y no me miras
Y **no lo quita la aspirina**
¡no! **ni un suero con penicilina**
Es un amor que contamina
¡ay! me sube la bilirrubina
Ay negra, mira búscate un catéter, ey
E inyéctame tu amor como insulina
Vestido tengo el rostro de amarillo, ¡eh!
Y **me ha subido la bilirrubina.**

Para seguir leyendo

• **Bahamonde, N. y Gómez Galindo, 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. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1748>

En este artículo se describe una secuencia didáctica referida a la modelización del sistema digestivo. Lo que destaco del mismo son los minuciosos niveles de análisis tanto de dibujos como de maquetas, que de algún modo operacionalizan el análisis de representaciones, y que puede ser útil para el análisis de otros sistemas y órganos del organismo humano.

• **García Fernández, B. y Mateos Jiménez, A. (2018).** *Comparación entre la realización de maquetas y la visualización para mejorar la alfabetización visual en anatomía humana en futuros docentes. Revista eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 15(3), 1–17. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3605

En este artículo se describen de qué manera la realización de maquetas favorece la participación activa de las/los estudiantes y tiene un fuerte impacto en la alfabetización visual de la anatomía humana.

• **Oliva Martínez, J.M. (2021).** *Líneas y resultados de investigación en torno a la dimensión instrumental de la modelización en la enseñanza de las ciencias. Ápice Revista de Educación Científica*, 5(2), 01–16. <https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.2.7629>

Este trabajo describe a la modelización en su dimensión instrumental, mostrando distintos recursos didácticos que pueden ser empleados y a su vez destaca la importancia de un rol activo tanto de docentes como de estudiantes en el desarrollo de las propuestas.

Sitios Web recomendados

• <https://www.youtube.com/watch?v=1oNPH0y8ep8>

Dr. Agustín Adúriz-Bravo - Reflexiones sobre los modelos científicos para las clases de Ciencias. En esta ponencia el Dr. Adúriz-Bravo presenta perspectivas acerca de la generación de modelos y su posible aplicación en la explicación de distintas situaciones biológicas.

SECCIÓN III
PRÁCTICAS CIENTÍFICAS EN
MATERIALES CURRICULARES

CAPÍTULO 10

La modelización en libros de texto de Educación Primaria: una aproximación a la propuesta de actividades

Natalia Celina Fernández

Departamento de Ciencias de la Educación y Educación Primaria e Inicial de la Facultad de Ciencias Humanas (sede General Pico) - Universidad Nacional de La Pampa, La Pampa - Argentina.

profesorafernandezfch@gmail.com

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo realizar algunas aproximaciones al tratamiento que proponen los libros de texto de educación primaria respecto a la modelización. Considerando que los libros de texto resultan en materiales de utilización permanente en la enseñanza y el aprendizaje, fueron seleccionadas dos actividades en tres libros, correspondientes a distintos grados de la escuela primaria, sobre las cuales se realizaron descripciones y aproximaciones al tratamiento que éstos realizan sobre la modelización.

Introducción

La enseñanza de las Ciencias Naturales tiene como objetivo educar científicamente a la población para que sea consciente de los problemas del mundo natural y de sus posibilidades de actuar sobre la realidad, como así también de las capacidades de transformar situaciones (Martín Díaz, 2002); esto conlleva el desarrollo de capacidades que permitan comprender, interpretar y actuar responsablemente sobre los problemas del mundo, permitiendo un cambio en la calidad de vida de las personas.

Jiménez Aleixandre (2010) acerca que el desarrollo del pensamiento crítico en la población está íntimamente relacionado con las nuevas competencias en la enseñanza obligatoria. Según la autora, el pensamiento crítico *“es la capacidad de desarrollar una opinión independiente, adquiriendo la facultad de reflexionar sobre la sociedad y participar en*

ella", dándole importancia a los distintos componentes de la argumentación como la búsqueda y uso de pruebas y cuestionar la autoridad, la opinión independiente y el análisis crítico de discursos legitimadores.

Para identificar si se está enseñando críticamente es necesario considerar algunos procedimientos, por ejemplo: la capacidad para hacer elecciones racionales para resolver problemas, cuestionar la validez de los argumentos, rechazar conclusiones no basadas en razones válidas, argumentar, entre otras. Así, una de las finalidades de la enseñanza y aprendizaje en el aula de ciencias es la construcción de modelos científicos escolares por parte del alumnado.

Como menciona Pujol (2003) aprender ciencias es un proceso de evolución de los modelos iniciales en los que se van explicando y articulando las convenciones implícitas en los modelos anteriores. Entonces, en las clases de ciencias, el modelado implica un proceso de construcción y reconstrucción de modelos explicativos de los fenómenos naturales. El profesorado de Ciencias Naturales utiliza en clase modelos científicos pragmáticamente adecuados –mediante la transposición didáctica– a los estudiantes (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001; Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003).

Los modelos en ciencias

Los científicos desarrollan teorías que permiten explicitar los hechos y fenómenos naturales que se condicen con los resultados experimentales. Según Giere (1992) las teorías son poblaciones de modelos organizados y jerarquizados. En esta línea, la ciencia irá elaborando modelos teóricos para dar sentido intelectual a distintos fenómenos, resolver problemas y realizar explicaciones cada vez más cercanas a modelos aceptados.

Gómez Galindo et al. (2007) propone que los modelos son aceptados considerando no sólo factores racionales sino también sociales y contextuales; se entienden como una trama de ideas organizada y jerarquizada, son abstractos y contruidos para comprender e intervenir en los fenómenos del mundo, a su vez, se constituyen como elementos que permiten explicitar leyes, conceptos, teorías y analogías, metáforas, etc. Según propone la autora, los modelos permiten "ver" o conceptualizar el mundo, interpretarlo y comunicarse; son considerados herramientas de representación teórica del mundo, auxiliares para explicarlo, predecirlo y transformarlo (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001); funcionan como un facilitador para la comprensión del mundo real (Moreira, 2002).

Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2009) acerca una concepción sencilla y amplia de modelo científico, entendiéndolo como cualquier representación sustitutiva, en cualquier medio simbólico, que permite pensar, hablar y actuar con rigor y profundidad sobre el sistema que se está estudiando, califica de modelo teórico: no solo los modelos altamente abstractos más elaborados, sino también las maquetas, las imágenes, las tablas, los grafos, las redes, las analogías, siempre que habiliten a que los estudiantes puedan describir, explicar, predecir e intervenir y no se reduzcan a menos "calcos" fenomenológicos del objeto sustituido.

Como acercan Giere (1999a, 1999b); Izquierdo-Aymerich (2000); Adúriz-Bravo (2001), esta definición de modelo abre un panorama de trabajo diferente en el aula ya que permite salir de la mera repetición de concepto, permitiendo pensar sobre ciertos hechos reconstruidos teóricamente, dando sentido a los fenómenos del mundo natural que resultan con cierta analogía.

La ciencia se concibe como una disciplina que pone en evidencia la humanización del trabajo científico, se conforma como una actividad que puede realizarse no sólo en ámbitos científicos sino en el escolar; es en la escuela, el contexto en el cual se construyen modelos explicativos que resultan significativos para los niños, reconstruyéndose desde la ciencia erudita, con el objetivo de que cobre sentido en la escuela, permitiendo la comprensión del mundo haciendo, pensando, comunicando e integrando valores y maneras de intervenir en la realidad, hablamos de una ciencia escolar (Adúriz-Bravo, 2001), donde la actividad científica escolar, aliente a los niños a pensar con modelos, que los desarrollen y los ajusten a explicaciones de fenómenos de interés científicos, con valor educativo.

El aprendizaje de las ciencias se sustenta epistemológicamente en el trabajo científico, entendiendo como la ciencia produce y construye el conocimiento, desde aquí se acerca la idea que aprender ciencias implica la utilización de prácticas científicas, en palabras de Duschl y Jiménez Aleixandre (2012) el aprendizaje de las ciencias supone participar en los objetivos epistémicos del trabajo científico, en los objetivos que tienen que ver con la construcción del conocimiento; así, proponen que aprender ciencias comprende, entre otras cosas, tomar parte en las prácticas científicas de construcción del conocimiento, o *prácticas epistémicas* (Kelly, 2008) a las que los autores denominan *prácticas científicas*, concepto tomado para este trabajo, según las identifica la autora.

Al ocuparnos de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales no podemos dejar de considerar algunos de los aportes de la investigación actual en la didáctica de las ciencias respecto a la actualización de las prácticas de enseñanza en el aula. La adecuación de la enseñanza de las ciencias según Ariza y Adúriz-Bravo (2012), implica la incorporación de las prácticas de modelización científica en el aula. Así, es válido que los niños se involucren en verdaderas prácticas científicas mediadas por la intervención docente que habilite la participación en las mismas, colaborando en la comprensión de la naturaleza propia del campo disciplinar y la forma en que construyen sus ideas.

Las prácticas científicas escolares entendidas como aquellas que tendrán sentido, según propone Osborne (2014) si: ayudan a los estudiantes a desarrollar una competencia amplia y profunda de lo que saben, cómo lo saben, y de los constructos que guían la práctica; constituyen un medio más efectivo para desarrollar ese conocimiento; y presenta una imagen más auténtica de la ciencia.

Modelos y modelización

Los modelos cumplen un rol fundamental en la ciencia como en la enseñanza de la misma, siendo en ambos casos mediadores entre el mundo y las teorías (Oliva, 2019).

La palabra “modelo” resulta un término polisémico, en esta propuesta se opta por entenderlo como una representación de un objeto o un fenómeno cuyo objetivo busca describir, explicar o predecir situaciones y hechos (Adúriz-Bravo, 2012), y en responder preguntas o poner a prueba las teorías; la representación refiere a una expresión formal y parcial de lo que será objeto de modelización; así el modelo científico se trata de una aproximación, incompleta, inexacta y más simple que el sistema representado (Oliva, 2019). La perspectiva modelo-teórica de la ciencia, la cual otorga a la noción de modelo un rol fundamental en la constitución de las teorías científicas (Adúriz-Bravo, 2013), no puede dejar de considerarse cuando se trabaja la ciencia en el aula. Entonces, la modelización, en la enseñanza de las ciencias, se vuelve un elemento fundamental y concordante con esta visión de la misma.

Así, Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001), agregan que los docentes de Ciencias Naturales utilizan en clase teorías y modelos científicos, adecuados mediante transposiciones didácticas al perfil de los estudiantes. Tomando a Galagovsky (2010), en las aulas de Ciencias Naturales de todos los niveles educativos, el procedimiento de vincular hechos y modelos, aunque trivial para la ciencia de los científicos, aparece ciertamente como novedoso para los estudiantes, ya sea que reconstruyan modelos científicos para poner en marcha, con mayor poder explicativo, los modelos aprendidos. Siguiendo a la autora, estructurar la actividad científica escolar alrededor de modelos permitiría recrear en clase un saber disciplinar que es patrimonio de todos, pero que se debería enseñar sólo en tanto que posibilite que los estudiantes comprendan el funcionamiento del mundo natural. Esta recreación auxiliada por el profesorado y por los textos, no se plantea, entonces, como un redescubrimiento de ideas complejas que llevaron tiempo de arduo trabajo a la humanidad, sino como una apropiación de herramientas intelectuales potentes que se van representando en el aula con el nivel de formalidad necesario para cada problema y cada momento de aprendizaje; entonces, los modelos deben ser enseñados con la intención de ser contruidos internamente por los propios alumnos, mediado por la transposición didáctica.

La utilización de la modelización en Ciencias Naturales, se fundamenta en la importancia de la consideración de los modelos en ciencia y en las clases de ciencias; pero también y, fundamentalmente, se basa en la distinción que hace Oliva (2019) entendimiento a la modelización como un enfoque didáctico que involucra el conjunto de determinaciones que toma el docente, buscando favorecer el aprendizaje y, de ese modo, la evolución de los modelos de sus estudiantes, focalizándose en los criterios y las secuencias de aprendizaje elaborados específicamente para ello.

El autor acerca que involucrar a los estudiantes siendo partícipes en auténticas prácticas de modelización científica en el aula, en contraposición a rutinas en las que suelen ser solo

consumidores de productos del conocimiento científico, puede ayudarlos a entender no solo ideas centrales de las distintas disciplinas de conocimiento científico, sino también cómo esas ideas se construyen y evalúan (Stewart et al., 2005).

Oliva (2019) propone categorías a través de las cuales identificar a la modelización:

- 1- La modelización como progresión de modelos.
- 2- La modelización como práctica científica.
- 3- La modelización como competencia.
- 4- La modelización como dimensión instrumental.
- 5- La modelización como enfoque didáctico.

En el análisis que se propone este escrito se considera a la modelización como práctica científica y como dimensión instrumental.

En este sentido, tomando la modelización como práctica científica, el enfoque basado en modelos permite el protagonismo de los estudiantes en la construcción crítica y cambio de sus modelos mentales acerca del mundo, entiendo a la modelización como una forma de favorecer la evolución de esos modelos y como oportunidad de propiciar la inmersión de los estudiantes en prácticas científicas auténticas. De este modo, implicarlos en procesos de modelización, en contraposición a considerarlos como meros espectadores y consumidores de productos del conocimiento científico, puede ayudarlos no solo a comprender mejor las grandes ideas de las ciencias, sino también a experimentar “en vivo” y entender cómo se construyen y evalúan esas ideas (Oliva, 2019).

La modelización como práctica implica procesos como: plantear problemas, formular predicciones, recoger y analizar información para comprobarla, elaborar nuevas ideas y explicaciones, etc., todos elementos propios del quehacer científico. Así, Oliva (2019) propone que involucrar al alumnado en prácticas auténticas de modelización implicaría comprometerlo en prácticas de formulación, uso y evaluación de modelos; participando en la búsqueda de información, aporte de ideas, toma de decisiones, etc.

La modelización en su dimensión instrumental involucra un conjunto de conocimientos y habilidades, destrezas y valores epistémicos necesarios para cumplir con la tarea de modelizar como una dimensión más amplia. ya que no solo implicaría aprender modelos sino trabajar con ellos, elaborarlos y revisarlos. entendiendo su valor, su utilidad, su sentido, sus limitaciones, el carácter aproximado y cambiante.

Asimismo, la modelización desde su lugar instrumental explicita el uso de algunos recursos fundamentales como las imágenes, las analogías y los experimentos mentales, elementos básicos en los procesos de descubrimiento científico y en los momentos de cambio conceptual; como consecuencia los elementos deberán jugar un protagonismo en la educación científica, siendo instrumentos importantes en la construcción de significados en actividades de indagación en las aulas Oliva (2019), suma que los recursos instrumentales que hoy se consideran como apoyo de la modelización en la clase de ciencias son múltiples, como dibujos, maquetas, modelos mecánicos, metáforas, analogías, simulaciones, etc. Por

ejemplo, las analogías, metáforas y otras similares son ampliamente consideradas como herramientas útiles en la construcción del conocimiento científico en la clase de ciencias. Por su parte, las imágenes e ilustraciones en los libros favorecen en los sujetos la construcción de un modelo mental mientras leen, contribuyendo a mejorar la comprensión del texto (Perales y Jiménez, 2002).

Los libros de texto

Los libros de texto son instrumentos de circulación en el desarrollo de las propuestas educativas; se constituyen como el punto de referencia para el docente en el ejercicio de su actividad profesional; ofrecen una serie de conceptos, materiales y estrategias de abordaje, ejercicios, ilustraciones, imágenes, esquemas, entre otros.

Es cuantiosa la bibliografía que analiza y describe acerca del impacto que los libros de texto tienen en la enseñanza de las Ciencias Naturales. Algunas investigaciones ponen en evidencia la referencia fundamental que otorga el libro de texto para la selección y secuenciación de contenido. (Del Carmen y Jiménez Aleixandre, 1997; Jiménez Valladares, 2000; Occelli y Valeiras, 2013).

Los libros de texto pueden cumplir distintas funciones, tomando como posicionamiento la contextualización propuesta por Del Carmen y Jiménez Aleixandre, (1997): por un lado, constituyen la recopilación de información textual e icónica, además, contienen una propuesta didáctica para ser puesta en práctica y también constituyen un recurso didáctico para los docentes, colaborando en la toma de decisiones.

Álvarez Méndez (2001) define los libros de textos como herramientas pedagógicas destinadas al aprendizaje, que imponen una determinada distribución y jerarquización de ideas, a partir de una transformación y recreación del conocimiento epistémico.

En términos de lo que proponen Del Carmen y Jiménez Aleixandre, (1997) el libro de texto es un recurso para ser utilizado en las instituciones escolares con fines pedagógico-didácticos. Se trata de una exposición de contenidos con una cantidad variable de actividades que constituye un recurso didáctico, es decir, que proporciona ayuda al profesorado en la toma de decisiones relacionadas con la enseñanza (López-Valentín y Guerra-Ramos, 2011).

Son producidos por editoriales y están bajo las normas de mecanismos comerciales cuyo objetivo es producir libros que pueden ingresar fácilmente a las instituciones escolares e insertarse rápidamente en el mercado, así, los libros de texto constituyen recursos de gran impacto, que no solo responden a principios educativos, sino también comerciales. Esta situación muchas veces produce tensiones que se ven reflejadas en textos inadecuados, los cuales pueden presentar visiones distorsionadas del conocimiento científico como producto de malas interpretaciones en los procesos de traducción, por transposiciones didácticas deformantes del conocimiento científico o por la falta de control por parte de revisores estatales o privados que los examinan antes de que ingresen en el “mercado” (Apple, 1989).

El análisis de los libros de texto, como acercan López-Valentín y Guerra-Ramos (2011), más allá de sus particularidades en las propuestas, nos reafirma en la convicción de su importancia en el proceso de enseñanza y aprendizaje; así, los libros siguen siendo un instrumento valioso para la tarea docente; en este sentido, se pueden enumerar análisis respecto de diversas dimensiones, por ejemplo: el uso de analogías (Newton, 2003; Raviolo y Garritz, 2009), las características y uso de las ilustraciones (Perales y Jiménez, 2002), el uso de modelos y teorías (Furió-Más et al., 2005; Do Carmo et al., 2009; Österlund et al., 2010) y las actividades que se proponen a los alumnos (Jiménez, 2000; Campanario, 2001), entre otras.

Las actividades de modelización en los libros de texto

La propuesta de este trabajo se concentra en la revisión de actividades presentes en los libros de texto escolares que promuevan la modelización como práctica científica y como instrumento para la enseñanza y el aprendizaje.

Analizar actividades permite encontrar sentido a las propuestas editoriales en relación a la modelización como práctica científica e instrumento para el desarrollo de capacidades propias de lo que la ciencia escolar propone.

García Rodríguez y Cañal de León (1995) definen a las actividades como todo aquello que el profesor diseña en el aula y todo lo que posteriormente ocurre en ella puede formularse, en cierta forma, en términos de actividades; razón que puede extrapolarse a los libros de texto por su uso masivo en el desarrollo de las propuestas de enseñanza. Sanmartí (2014) entiende a las actividades como un quehacer que reúne un conjunto de tareas, que es la unidad de enseñanza y aprendizaje y, por lo tanto, que una metodología se concreta en una determinada organización, secuenciación y orientación de las actividades.

Según el propósito de trabajo, se plantea un interrogante: ¿Qué abordaje realizan algunos libros de texto respecto a la incorporación de la modelización en la escuela primaria?

En la búsqueda de respuesta a este interrogante se seleccionaron tres libros de texto de las áreas de Ciencias Naturales, correspondientes a 4º, 5º y 6º grado del Segundo Ciclo de la Educación Primaria, los libros fueron elegidos por ser los materiales de mayor circulación en las instituciones educativas cercanas. En cada uno de los materiales se tomaron dos actividades.

Descripción de los libros de texto:

En primer lugar, se realiza una descripción general de cada uno de los textos seleccionados, específicamente de las secciones en las que fueron identificadas las actividades que acercan alguna propuesta de modelización; luego, una revisión general respecto de cada una de las actividades.

Libros de texto:

- **Biencias 4.** Ciencias Sociales y Ciencias Naturales. Santillana “En movimiento” (2017).
- **Biencias 5.** Ciencias Sociales y Ciencias Naturales. Santillana “Va con vos” (2018).
- **Biencias 6** Ciencias Sociales y Ciencias Naturales. Santillana “En movimiento” (2016).

En términos descriptivos, por tratarse de la misma editorial, cada uno de los libros presentan características similares en cuanto a su organización general. Inicialmente, se realiza la presentación de los equipos que elaboran la propuesta, luego la información sobre las características y organización del libro y un índice general que comienza con el desarrollo del área de Ciencias Sociales y continúa con Ciencias Naturales, divide los contenidos en secciones y a cada una, en capítulos.

Por su parte, el libro **Biencias 4** propone actividades, en las secciones I - *Los Seres Vivos* - y IV- *La Tierra y el Universo* -.

Se pudieron identificar tres actividades que proponen el trabajo con modelos, se seleccionaron solo dos.

En el capítulo 7, “El sostén y el movimiento en el ser humano” de la sección I, se plantea una actividad ubicada en un apartado identificado como técnicas y habilidades que propone el diseño y uso de modelos, buscando elaborar modelos de columna vertebral. Se ponen en juego dos modelos que deben ser comparados para identificar aquel que acerque una mejor representación; da cuenta de la dificultad de explicar “algo” solo con palabras, así, utiliza representaciones o modelos, en este caso presenta dos modelos que buscan determinar cuál representa mejor la columna vertebral.

Realiza una serie de preguntas para pensar sobre los modelos presentados y solicita que incorporen las articulaciones al modelo ya realizado. Pág 188.

En el capítulo 13, “Los subsistemas terrestres: la geosfera” correspondiente a la sección IV; comienza el desarrollo del bloque con preguntas respecto de los que los niños saben, proponiendo el análisis de dos modelos sobre el interior terrestre. Actividad que se utiliza como disparadora del tema a tratar, presenta dos modelos sobre la Tierra por dentro y solicita que se analicen y seleccione el más acorde. Pág 236.

El libro **Biencias 5** propone en las secciones I y IV - *Los Seres Vivos* - cinco actividades que abordan la modelización, fueron seleccionadas dos de ellas, respondiendo a la propuesta inicial del trabajo.

En el capítulo 2, “Los seres vivos acuáticos” de la sección I, acerca como uno de los subtítulos: *La locomoción de los animales acuáticos*, utiliza imágenes de diversos organismos identificando la cobertura corporal, la forma del cuerpo y las extremidades, incorporando explicaciones teóricas, finalmente aborda la locomoción, cuáles son los recursos con los que cuentan los animales para moverse, entre ellos la vejiga natatoria en los peces. Además, acerca una actividad a la que identifica como “uso un modelo”, en la misma propone realizar un modelo para entender el mecanismo que les permite a los peces moverse a distintas profundidades, además, les acerca los materiales con los que los estudiantes podrán realizarlo, proponiendo un ejemplo del modelo posible. Al finalizar la propuesta, solicita que

observen y respondan a algunas preguntas relacionadas con la elaboración del modelo. Agrega la realización de una “nota” sobre cuál puede ser la función del uso de un modelo, entendiendo que pueden servir para comprender mejor un proceso aprendido. Se puede identificar una actividad que plasma los lineamientos de trabajo propuestos por el texto, la participación de los niños en el armado y desarrollo del modelo a construir implica seguir una serie de indicaciones; sumando a lo anterior, se observa el desarrollo teórico previo a la propuesta, planteo de interrogantes para proponer formas de realizar un modelo explicativo del funcionamiento del órgano en los peces. Pág 164 y 165.

En el capítulo 4, “La circulación y la excreción en el ser humano”, de la misma sección, bajo el subtítulo: *La circulación sanguínea*, diferencia entre circuito menor y circuito mayor, acompañado de un esquema de los mismos, agrega la definición de conceptos como sistema circulatorio cerrado, doble y completo. La actividad busca analizar el esquema de los circuitos para comprender el tema, según versa. Aclara que un esquema es un modelo porque es una de las formas posibles de representar una parte de la realidad. Pág 194

En el libro **Biciencias 6** se identificaron dos actividades relacionadas con la práctica científica de modelización, en la sección III - *El Mundo Físico* - que contiene al capítulo 10 “La energía eléctrica”; se identifica un subtítulo: *La corriente eléctrica*, realiza el desarrollo conceptual, ofrece una actividad para la comparación de modelos respecto de la corriente eléctrica y un breve acercamiento teórico sobre los modelos en ciencias, compara ambos modelos explicando lo que sucede en cada caso, por último, acerca dos consignas de trabajo. Pág 226 y 227.

En la sección IV - *La Tierra y el Universo* – que contiene al capítulo 13, “El Sistema Solar”, comienza el capítulo realizando una pregunta que permitiría poner en evidencia las ideas de niños acerca del tema; trabaja con las concepciones de los niños respecto del Sistema Solar. “¿Qué sé?” es la pregunta que guía la propuesta de observación de modelos; ofrece el trabajo con las concepciones de los niños respecto del Sistema Solar, acerca una imagen donde se observa un modelo que busca explicar la relación entre el Sol y la Tierra, acompaña la propuesta con preguntas. Pág 252.

Aproximación a las propuestas de actividades en los libros de texto:

La modelización constituye una de las actividades científicas centrales y, además, en la didáctica de las ciencias la noción de modelización viene cobrando mucha fuerza (Gilbert y Boulter, 2000; Erduran y Duschl, 2004; Gutiérrez, 2004; Adúriz-Bravo e Izquierdo Aymerich, 2009). Ahora bien ¿qué sucede en los libros de texto? Para responder a este interrogante un primer aspecto a considerar es que el análisis de los libros de texto reafirma la importancia de su utilización en el proceso de enseñanza y aprendizaje, ya que siguen siendo un instrumento valioso en las clases de ciencias y de permanente circulación en las escuelas primarias. En el contexto áulico el modelado es un proceso negociado de construcción de modelos explicativos de los fenómenos de la realidad (Pujol, 2003); se puede acercar,

entonces, que el libro de texto puede devenir en un recurso válido como apoyatura para la construcción de estos modelos, a través de actividades de modelización, por ejemplo.

Los libros abordados dan cuenta de algunas actividades que intentan promover la construcción y reconstrucción de modelos explicativos acerca de los fenómenos, en este sentido, resulta valioso aportar que los libros revisados tienen cierta tendencia a dar cuenta de la importancia que cobra el trabajo con modelos y modelización en la escuela primaria. Si bien se realiza un abordaje de algunas actividades, resultan escasas las propuestas en, al menos dos de los libros, siendo el libro *Biciencias 5* el que propone mayor cantidad.

Las actividades plasmadas en los libros seleccionados son numerosas y variadas, formando una parte sustancial de los libros, no se observan un número importante de actividades relacionadas con la modelización aunque, no todas hacen a la puesta en marcha del accionar de los niños en la construcción de los modelos que permitirían comprender, evaluar y razonar acerca de los procesos y fenómenos naturales.

La descripción realizada de cada uno de los materiales escolares da cuenta que la información ocupa el centro de la propuesta ofrecida por los textos, siendo las que acercan el trabajo con modelos, menos numerosas.

Los modelos, lejos de ser interpretados como simplificaciones de los fenómenos, deberían convertirse en instrumentos que habilitan el razonamiento, la comprensión y el entendimiento de los procesos; así, en los libros analizados se puede evidenciar que son poco frecuentes las actividades de modelización que resulten potentes respecto de lo que los autores abordados plantean, en Acher (2014) se retoma a los autores Stewart et al. (2005) quienes afirman que los estudiantes deben ser involucrados en la participación de auténticas prácticas de modelización científica en el aula, lo que deviene en el entendimiento de las ideas centrales de las distintas disciplinas de conocimiento científico, sino también, en cómo esas ideas son construidas y evaluadas.

Varios autores aseveran que la modelización científica no es muy común en las aulas de ciencias de nivel medio y superior, y es aún más escasa en la escuela primaria o en el jardín de infantes (Acher et al., 2007; Acher y Arcá, 2009), en consonancia con esta proposición, los libros revisados poseen un número bajo de actividades, específicamente en los que corresponden a 5° y 6° grado.

Sobre los libros de texto se destaca que, a grandes rasgos, realizan escasas propuestas de elaboración y trabajo con modelos y modelización, aunque se puede observar que predominan la utilización de imágenes, ilustraciones y esquemas que, volviendo sobre lo que propone Oliva (2019), pueden ser identificados como instrumentos de apoyatura para la modelización en clase, En este sentido, Acher (2014) acerca que la modelización que se incorpora en el aula, suele redundar en aspectos comunicativos o ilustrativos, perdiéndose su riqueza epistemológica.

Continuando con Acher (2014), quien plantea la importancia de involucrar a los estudiantes en prácticas científicas como la modelización, siendo éstas las que permiten el desarrollo del pensamiento científico, acercándolos a las ideas centrales de los procesos y fenómenos naturales y permitiéndoles comprender cómo se construye y evalúa el conocimiento

científico, en los libros visados, si bien se realizan propuestas de abordaje con modelos, las actividades, en su mayoría, permiten escasamente la construcción del pensamiento científico y su valor epistemológico ya que en su mayoría son pautadas por el libro; si bien hay algunas preguntas en las actividades que acercan al estudiante a la búsqueda de respuestas.

Si bien se estaría introduciendo a los estudiantes en el desarrollo de prácticas científicas que impliquen los procesos propios del quehacer de la ciencia, podría decirse que sería válido habilitar el espacio para que los estudiantes sean quienes propongan los materiales necesarios para elaborar el modelo que permita explicar el fenómeno en cuestión, habilitando el accionar y la participación activa del estudiante. Igualmente, las actividades acercan algunas preguntas que movilizan el razonamiento del estudiante, no así, cuestiones que hacen a la discusión o a la negociación entre pares.

Se puede concluir que el tratamiento realizado por los libros de texto, si bien proponen prácticas científicas como la modelización, dejan en evidencia que varias de las cuestiones necesarias para trabajar con las mismas en el desarrollo de competencias acordes, no se encuentran completamente abordadas, sumando la escasa participación de los estudiantes en los procesos de elaboración de los mismos.

Seguir reflexionando sobre las repercusiones de los libros de texto como recursos para la enseñanza y el aprendizaje implicaría revisar las propuestas que estos realizan, a fin de garantizar que pueda evidenciarse el abordaje de prácticas científicas, como la modelización, en las actividades que acercan y que éstas se orienten a que los niños comprendan el funcionamiento de los fenómenos y procesos naturales.

Referencias bibliográficas

- Acher, A. (2014) Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Técne, Episteme y Didaxis*, 30 (3), 155-166.
- Acher, A. y Arcá, M. (2009) Children`s Representations in Modelling Scientific Knowledge Construction. Representational Systems and Practices as Learning Tools. En C. Andersen, N. Scheuer, M. del Puy Pérez Echeverría, E.V. Teubal. (Coord.), *Representational Systems and Practices as Learning Tools* (pp. 109-132). Brill.
- Acher, A., Arcá, M. y Sanmartí, N. (2007). La modelación como proceso de enseñanza aprendizaje para la comprensión de materiales: un estudio de caso en educación primaria. *Educación Científica*, 91, 398-418.
- Adúriz-Bravo, A. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias*. Bellaterra: UAB. <http://www.tesisenxarxa.net/TDX-1209102-142933>
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación Química*, 23, 1-9.

- Adúriz-Bravo, A. (2013). A semantic view of scientific models for science education. *Science & Education*, 22 (7), 1593-1611.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4 (3), 40-49.
- Álvarez Méndez, J.M. (2001). *Entender la Didáctica, entender el Curriculum*. Madrid: Miño y Dávila.
- Apple, M. (1989). *Maestros y Textos. Una economía política de relaciones de clase y de sexo en educación*. Madrid, España: Paidós.
- Ariza, Y. y Adúriz-Bravo, A. (2012). La nueva filosofía de la ciencia y la concepción semanticista de las teorías científicas en la didáctica de las ciencias naturales. *Educación en Ciencias Experimentales y Matemáticas*, 2, 55-66.
- Campanario, J.M. (2001). ¿Qué puede hacer un profesor como tú o un alumno como el tuyo con un libro de texto como éste? Una relación de actividades poco convencionales. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (3), 351-364.
- Del Carmen, L. y Jiménez Aleixandre, M.P. (1997). Los libros de texto: Un recurso flexible. *Alambique*, 11, 7-14.
- Do Carmo, R., Nunes-Neto, N. y El-Hani, C. (2009). Gaia Theory in Brazilian High School Biology Textbooks. *Science & Education*, 18 (3-4), 469-501.
- Duschl, R. y Jiménez-Aleixandre, M. (2012). Fundamentos epistémicos para el cambio conceptual. En J. Shrager y S. Carver (Eds.), *El viaje de niño a científico: Integración del desarrollo cognitivo y las ciencias de la educación* (pp. 245-262). Asociación Americana de Psicología.
- Erduran, S. y Duschl, R. (2004). Interdisciplinary Characterizations of Models and the Nature of Chemical Knowledge in the Classroom. *Studies in Science Education*, 40, 111-144.
- Furió-Más, C., Calatayud, M. L., Guisasola, J. y Furió-Gómez, C. (2005). How are the Concepts and Theories of Acid-Base Reactions Presented? Chemistry in Textbooks and as Presented by Teachers. *International Journal of Science Education*, 27 (11), 1337-1358.
- Galagovsky, L. (2010). *Didáctica de las ciencias naturales: el caso de los modelos científicos*. Buenos Aires: Lugar Editorial.
- Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales: El concepto de *modelo didáctico analógico*. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 231-242.
- García Rodríguez, J.J. y Cañal de León, P. (1995). ¿Cómo enseñar? Hacia una definición de las estrategias de enseñanza por investigación. *Investigación en la escuela*, 25, 5-16.
- Giere, R. (1992). La explicación de la ciencia: Un acercamiento cognoscitivo. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Giere, R. (1999a). Del realismo constructivo al realismo perspectivo. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 9-13.
- Giere, R. (1999b). Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 63-70.

- Gilbert, J. y Boulter, C. (Eds.). (2000). *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer.
- Gómez Galindo, A., Sanmartí, N. y 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*, 25(3) 325-340.
- Gutiérrez, R. (2004). La modelización y los procesos de enseñanza/aprendizaje. *Alambique*, 42, 8-18.
- Izquierdo-Aymerich, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En F.J. Perales y P. Cañal (Comp.), *Didáctica de las ciencias experimentales: Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 35-64). Alcoy: Marfil.
- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12(1), 27-43.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. (2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Jiménez, M. (2000). Competencia social: intervención preventiva en la escuela. *Infancia y Sociedad*. 24, pp. 21- 48.
- Jiménez Valladares, J.D. (2000). Análisis de los libros de texto, en Perales, F.J. y Cañal, P. (eds.). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 307-322. Alcoy: Marfil.
- Kelly, G. J. (2008) Inquiry, Activity and Epistemic Practice. En R. A. Duschl, y R. E. Grandy (Eds.), *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation* (pp. 99–117). Rotterdam: Sense.
- López Valentín, D.M. y Guerra Ramos, M.T. (2013). Análisis de las actividades de aprendizaje incluidas en libros de texto de ciencias naturales para educación primaria utilizados en México. *Enseñanza de las Ciencias*, 31 (2), 173-191.
- Martín Díaz J. (2002). Enseñanza de las ciencias ¿Para qué? *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(2), 57-63.
- Moreira, M. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza/aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(3), 36-56.
- Newton, L. (2003). The Occurrence of Analogies in Elementary School Science Books. *Instructional Science*, 31 (6), 353-375.
- Ocelli, M. y Valeiras, N. (2013). Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 31 (2), 133-152.
- Oliva Martínez, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Revista Investigaciones Educativas*, 37 (2), 5-24.
- Osborne, J. (2014). Enseñar prácticas científicas: afrontar el desafío del cambio. *Revista de Formación de Profesores de Ciencias*, 25 (2), 177-196.
- Österlund, L., Berg, A. y Ekborg, M. (2010). Redox Models in Chemistry Textbooks for the Upper Secondary School: Friend or Foe? *Chemistry Education Research and Practice*, 11 (3), 182-192.
- Perales Palacios, F. y Jiménez, J. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 369-386.

Pujol, R. (2003). *Didáctica de las ciencias en la educación primaria*. Ed. Síntesis.

Raviolo, A. y Garritz, A. (2009). Analogies in the teaching of chemical equilibrium: a synthesis/analysis of the literature. *Chemistry Education Research and Practice*, 10 (1), 5-13.

Sanmartí, N. (2014). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. España: Síntesis.

Stewart, J., Cartier, J.L. y Passmore, C.M. (2005). Developing Understanding Through Model-Based Inquiry. En M.S. Donovan y J.D. Bransford (eds.), *How Students Learn: History, Mathematics, and Science in the Classroom* (pp. 515-565). Washington, DC: The National Academies Press

Para seguir leyendo

• **Abella-Peña, S. (2022). Modelización en la enseñanza de las ciencias: Una revisión sobre sus aportes entre 1988 y 2020. *Revista Electrónica EDUCyT*, 12(1), 23–48.**

<https://die.udistrital.edu.co/revistas/index.php/educyt/article/view/250>

En este artículo la autora presenta un estado del arte de la modelización en la enseñanza de las ciencias a partir de una revisión realizada de las publicaciones realizadas entre 1988 y 2020 accesibles desde las bases de datos Scopus, ERIC, Science Direct y en Google Scholar.

Sitios Web recomendados

• **<https://phet.colorado.edu/es/>**

Este sitio presenta simulaciones organizadas por temas para la enseñanza de Biología, Ciencias de la Tierra, Física, Matemática y Química. Su integración en secuencias didácticas podría favorecer el desarrollo de prácticas científicas tales como indagación, modelización y argumentación.

CAPÍTULO 11

Prácticas Experimentales: la importancia de la representación gráfica

Dafne Saporito y Fabio E. Malanca

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba

dsaporito@unc.edu.ar ; fabio.malanca@unc.edu.ar

Resumen

En este trabajo se analizan las representaciones gráficas producidas por estudiantes de la Facultad de Ciencias Químicas (Universidad Nacional de Córdoba) en los informes de la asignatura Laboratorio II. El análisis crítico de las mismas permitió identificar las dificultades que se presentan en la construcción de sus representaciones. Se identificó que, a mayor manipulación de equipos y materiales de laboratorio, más ventajosas en sus funciones comunicacionales son las representaciones gráficas construidas por las/os estudiantes. Por otra parte, al repensar la secuencia didáctica en general, se propone como estrategia para fomentar aprendizajes más significativos, contextualizar las aplicaciones de las técnicas estudiadas para resolver problemáticas regionales o locales de impacto social y/o ambiental.

Introducción

Laboratorio II es una asignatura de primer año, común a las cuatro carreras dictadas en la Facultad de Ciencias Químicas (Bioquímica, Farmacia, Lic. en Química y Lic. en Biotecnología). Para cursarla el estudiantado debe haber acreditado conocimientos mínimos en su asignatura correlativa (Laboratorio I) y en sus correlativas simultáneas (Física II y Química General II).

En los “Laboratorios” se busca que el estudiantado desarrolle habilidades en los procedimientos prácticos y en el uso de instrumentación específica y que profundicen la comprensión de los fundamentos fisicoquímicos de las técnicas empleadas en el laboratorio.

Por otra parte, las correlatividades simultáneas entre los “Laboratorios” y las asignaturas teóricas, dan cuenta de la necesidad de relacionar datos experimentales con teorías vigentes,

incorporar operaciones analíticas y desarrollar criterios para la interpretación de resultados y el procesamiento de datos.

El presente abordaje propone poner en valor el ejercicio de **generar representaciones gráficas** en asignaturas con prácticas experimentales. Para ello, se analiza un instrumento de la propuesta didáctica de la asignatura Laboratorio II: el informe de laboratorio.

En Laboratorio I y II, los informes tienen un formato estructurado, a modo de “plantilla con consignas” a completar, en pos de introducir gradualmente al estudiantado en su escritura académica. Recién en Laboratorio III se les solicita la redacción completa de sus informes. Un modelo del formato estructurado se encuentra en el Anexo.

Los informes permiten detectar oportunidades de enriquecimiento en el proceso de enseñanza – aprendizaje: organización de la información, vocabulario, redacción, análisis de los resultados, cálculos y conclusiones. Además, posibilitan encontrar disparidades entre las imágenes generadas y una “representación exitosa”. Según sus funciones comunicacionales, Raviolo (2019) menciona que las imágenes más ventajosas con fines educativos son las explicativas, en lugar de las decorativas, representacionales y nemotécnicas. Entre las imágenes explicativas, se encuentran las organizacionales, relacionales, transformacionales e interpretativas.

Solicitar representaciones gráficas en un instrumento de estudio como los informes, pretende fomentar la atención y la observación en el diseño experimental, realizar un ejercicio activo, recuperar los conocimientos previos y construir relaciones explícitas entre componentes del sistema experimental (Ainsworth, 2021).

Evaluar qué se valora y solicita en un instrumento educativo como el informe, permitió repensar en las oportunidades que brinda el diseño de la secuencia didáctica para fomentar aprendizajes más significativos, teniendo en cuenta el entorno que contextualiza al ámbito educativo.

Selección del material de análisis

Para el presente estudio se seleccionaron dos trabajos prácticos desarrollados en la asignatura Laboratorio II durante el año 2021: “Purificación de sólidos: recristalización” y “Punto de fusión”. En particular, las representaciones gráficas analizadas fueron: el dispositivo utilizado para realizar la disolución de la muestra sólida y un equipo con el que se puede determinar puntos de fusión de diversas sustancias.

El análisis se realizó en base a los informes entregados en forma voluntaria por estudiantes. Si bien su confección suele ser condición necesaria para acreditar los contenidos mínimos de Laboratorio II, durante el año 2021 debido a los protocolos sanitarios por SARS-CoV-2, algunos criterios se vieron modificados y su entrega pasó a ser voluntaria. Esto llevó a que el número de informes sea limitado: de 58 estudiantes, solo 5 los presentaron.

Representaciones en la actividad práctica de Recristalización

En la Figura 1a-e se muestran las representaciones presentadas por estudiantes en sus informes del trabajo práctico de recristalización.

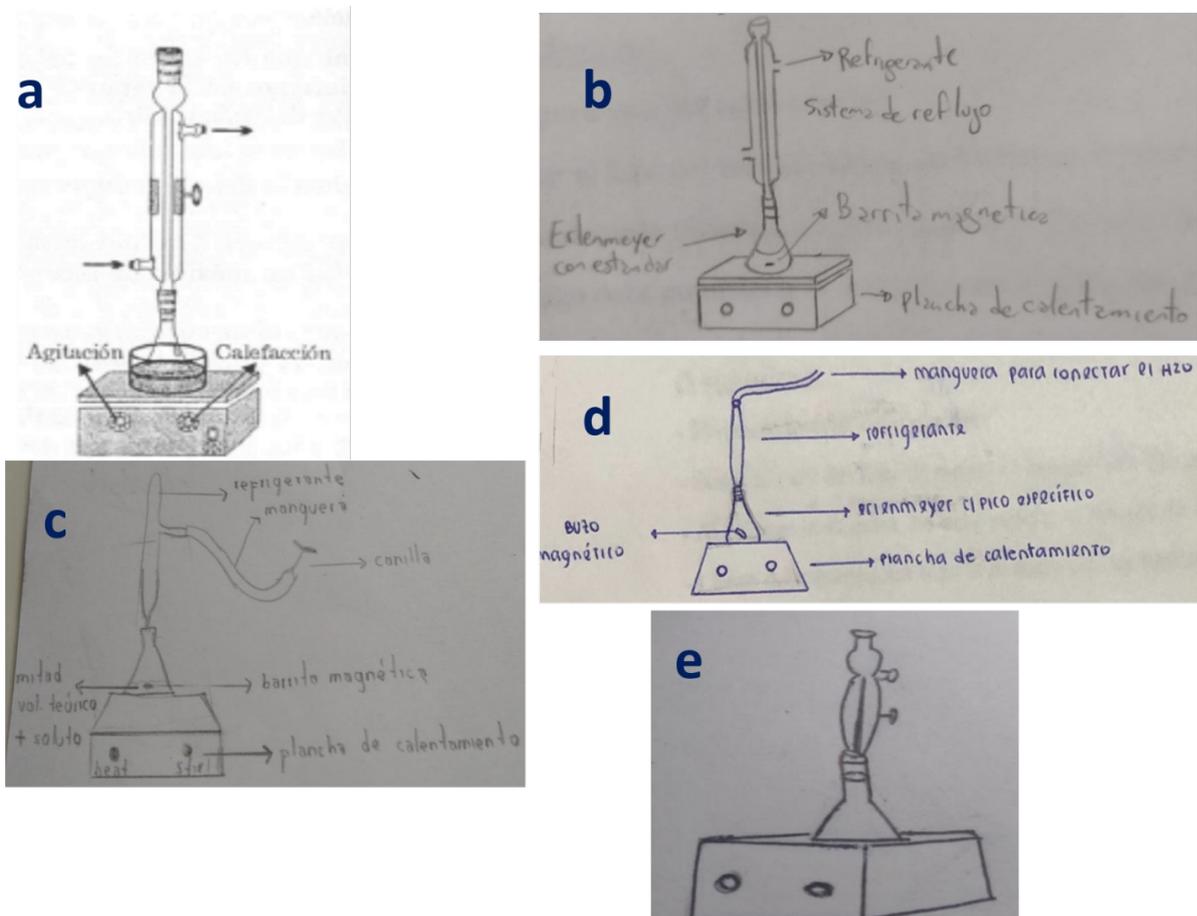


Figura 1 a-e: Representaciones de estudiantes frente a la consigna "Dibuje el equipo utilizado para realizar la disolución de la muestra"

En tanto a sus funciones comunicacionales, todas las imágenes cumplen el rol de explicativas (en particular, de organizacionales) ya que representan relaciones cualitativas mediante un diagrama, la mayoría con componentes etiquetados (Raviolo, 2019)

Sin embargo, la Figura 1-a es una imagen tomada de la guía de estudios. Si se valora el esfuerzo cognitivo de integrar las explicaciones verbales y sus representaciones gráficas para generar aprendizajes más significativos (Raviolo, 2019), entonces el hecho de copiar una imagen de la guía al informe es el equivalente a tomar una fotografía del montaje experimental (cuya función dejaría de ser explicativa, y pasaría a ser representacional).

En la Figura 1-b se logró esquematizar el equipo utilizado en la disolución de la muestra de manera correcta, pero incompleta. No aparecen las mangueras utilizadas para el circuito de entrada y salida de agua, sin las cuales no se podría realizar la recristalización.

Las demás imágenes no logran representar de manera correcta el dispositivo: En la Figura 1-c el refrigerante aparece con una sola entrada de agua, en la Figura 1-d la manguera se coloca en la parte superior del refrigerante, directamente sobre la muestra a recrystalizar (lo que iría en detrimento de los objetivos de la experiencia) y la Figura 1-e no presenta en absoluto el circuito de refrigeración, ni las etiquetas de los elementos utilizados en el equipo.

Esto significa que, a excepción de la imagen copiada de la guía de estudios (Figura 1-a), un solo informe presenta el sistema experimental de manera correcta, pero incompleta (Figura 1-b), donde se evidencia la ausencia de las mangueras y el sentido de circulación del agua. Los otros 3 casos, presentan errores en la forma y disposición de los elementos (Figuras 1 c-e).

Representaciones en la actividad práctica de Punto de fusión

Otra discrepancia entre el sistema experimental utilizado y las representaciones del estudiantado se encontró en las respuestas al trabajo práctico correspondiente a “Punto de fusión”. En la Figura 2 a-e se muestran las representaciones presentadas por estudiantes del equipo utilizado para la determinación.

Como en la Figura 1-a, la Figura 2-a muestra una imagen tomada de material didáctico disponible en la web; en este caso, incorrecta. De las imágenes restantes, solo la Figura 2-b representa correctamente al sistema. En los demás dibujos (Figura 2 c-e) el termómetro se muestra en un lugar diferente a donde efectivamente se colocó durante el trabajo práctico. Lo llamativo de las Figuras 2 c-e es que, a pesar de que el estudiantado construyó el dispositivo en el laboratorio de forma correcta, consideraron válidas las representaciones disponibles en la web y no la que desarrollaron experimentalmente.

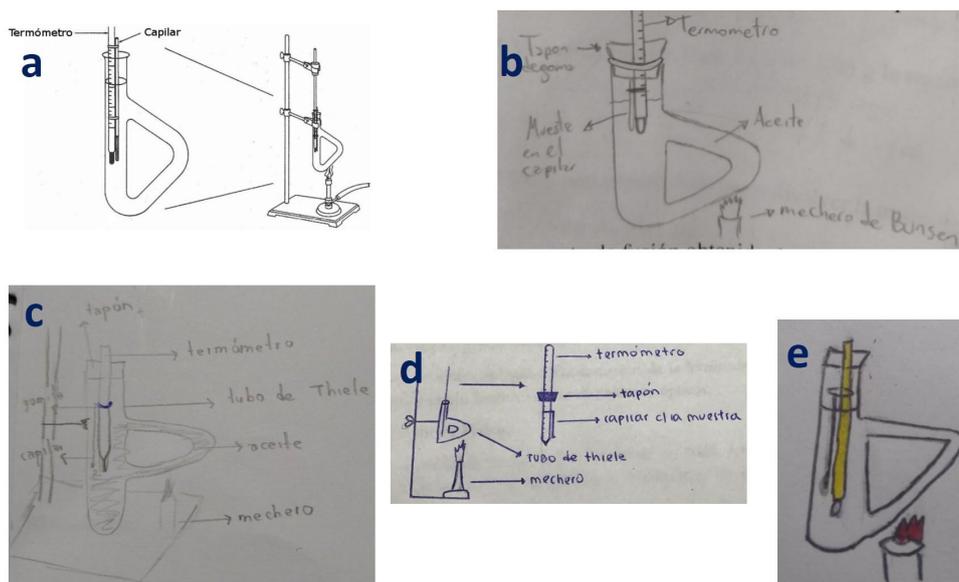


Figura 2 a-e: Representaciones de estudiantes frente a la consigna “Dibuje el equipo utilizado para efectuar la determinación del punto de fusión”

Devolución de informes y análisis de las representaciones

En las instancias de corrección de los informes se realizaron las devoluciones con los/as estudiantes, reflexionando sobre la diferencia entre generar un dibujo y copiarlo directamente desde la guía de estudios o replicarlo desde la web. Lo que más se valoró en esta instancia es el efecto nemotécnico de las imágenes, ya que los dibujos presentan ventajas en mejorar la memoria respecto a la escritura, la elaboración semántica y otras técnicas (Fernandes, 2018).

El trabajo en la interpretación de consignas se considera clave porque durante las primeras materias el estudiantado va configurando su oficio de “estudiante de nivel universitario”, permitiendo la progresión en el conocimiento mediante niveles sucesivos de sofisticación (Oliva, 2019). A través de dibujos se pretende que el estudiantado exprese sus modelos mentales y esto tiene el potencial de que sean partícipes del análisis de sus propias representaciones (Puig, 2021). Entonces, si el anclaje de construcciones teóricas está dado en parte por la **representación**, lo que se pone en juego al evocar e intentar transmitir mediante producciones personales no se equipara al proceso de selección de una imagen.

Es importante mencionar cuáles fueron las disparidades entre las representaciones realizadas por el estudiantado y el equipo armado efectivamente. Los accesorios que el estudiantado debió manipular con mayor frecuencia (conectando, enchufando, modificando) son los que están correcta y completamente presentados en sus representaciones: plancha, barra magnética, refrigerante y erlenmeyer. En cambio, las mangueras (las cuales ya estaban previamente conectadas al refrigerante y a la canilla) estaban representadas incorrectamente o de forma incompleta. Esto da la impresión de que, a mayor manipulación de los equipos y materiales utilizados en el experimento, las imágenes construidas son más organizacionales. Cabe aclarar que la decisión de que el estudiantado no conectara las mangueras, y lo hiciera el/la docente con anterioridad al desarrollo del trabajo práctico, fue por cuestiones de tiempo debido a las readecuaciones de la asignatura por protocolos sanitarios.

Es posible que las disparidades entre las representaciones generadas y los equipos montados fueran menores si se incorporasen consignas que interpeleen a justificar lo dibujado, brindando la posibilidad de que los/as estudiantes argumenten sobre sus diseños experimentales y que adquieran un dominio en el contenido científico en concomitante (Revel Chion, 2021).

El valor de las cuestiones sociocientíficas en nuestra propuesta didáctica

Si se analiza “la guía”¹ como material utilizado para el desarrollo de actividades experimentales en cuanto a cuestiones socio-científicas, pueden hacerse algunas observaciones.

1 Guía integrada (teóricos y trabajos prácticos) de Laboratorio II, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba, 2021.

Por un lado, la guía de la asignatura aparece como una secuencia de técnicas, con escasa vinculación con actividades de investigación, extensión o transferencia tecnológica. No se evidencia una clara articulación entre las técnicas presentadas en los trabajos prácticos y su relevancia/estado del arte contemporáneo. Es posible que la incorporación en los materiales de estudio de una mención histórica acerca de cómo se generó ese conocimiento, habilite la posibilidad de discutir en clase las potencialidades de las técnicas y la noción de ciencia como una construcción colectiva y continua.

El pensamiento crítico entendido como la capacidad de hacer elecciones racionales y juicios fundamentados para la toma de decisiones y resolución de problemas es fundamental para la formación de futuros profesionales. Se puede argumentar que la ciencia es metodológicamente crítica (Solbes, 2013), pero para lograr **pensamiento crítico** es clave trabajar cuestiones socio-científicas. Si en las clases se abordaran problemáticas sociales y/o ambientales que pudieran analizarse o resolverse mediante el uso de las técnicas seleccionadas, tal vez aumentaría la motivación en el estudiantado y sin duda se abriría el espacio para diálogos enriquecedores.

Si se considera que las instituciones educativas y científicas son generadoras de información continua, surgen desafíos en la educación tales como seleccionar, transmitir y colaborar a que el estudiantado pueda lidiar con la masividad de contenido (González Galli, 2019) y que la práctica docente no se traduzca en ejecutar un listado de contenidos a abordar de manera exhaustiva y descontextualizada (Reis, 2021).

Reflexiones finales

Se analizaron las representaciones producidas por estudiantes en los informes de Laboratorio II y se demostró la importancia de esquematizar como práctica para detectar oportunidades de aprendizaje. Se propuso que las dificultades en las representaciones del estudiantado pueden deberse a la escasa manipulación o atención en el montaje de un sistema experimental. Finalmente, se plantearon dos sugerencias: incluir en la plantilla de informe preguntas solicitando la argumentación de los esquemas realizados, como estrategia para reforzar las representaciones producidas, y contextualizar la secuencia didáctica, incluyendo información sobre el desarrollo y aplicación de las técnicas, vinculándolas con problemáticas sociales y/o ambientales, para fomentar aprendizajes más significativos.

Referencias

- Ainsworth, S.E. y Scheiter, K. (2021). Learning by drawing visual representations: Potential, purposes, and practical implications. *Current Directions in Psychological Science*, 30(1), 61-67.
- Fernandes, M.A., Wammes, J.D., y Meade, M.E. (2018). The surprisingly powerful influence of drawing on memory. *Current Directions in Psychological Science*, 27(5), 302- 308.

- González Galli, L. (2019) Enseñanza de la Biología y pensamiento crítico: la importancia de la metacognición. *Revista de Educación en Biología*, 22 (2), 4-24.
- 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.
- Puig, B. y Gómez Prado, B. (2021) Una propuesta didáctica para la enseñanza-aprendizaje de insectos, plantas y el problema de la pérdida de polinizadores. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18 (3), 3203-3223.
- Raviolo, A. (2019). Imágenes y enseñanza de la Química. Aportes de la Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia. *Educación química*, 30(2), 114-128.
- Reis, P. (2021) Desafios à Educação em Ciências em Tempos Conturbados. *Ciência & Educação*, 27 (e21000), 1-9.
- Revel Chion, A., Díaz Guevara, C.A. y Adúriz-Bravo, A. (2021) Argumentación científica escolar y su contribución al aprendizaje del tema «salud y enfermedad». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18 (3), 3101-3121.
- Solbes, J. (2013) Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (I): Introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (1), 1-10.

Anexo 1: Plantilla utilizada para la confección del informe de la actividad experimental presentada en este trabajo. Se remarcan en rojo las consignas, cuyas representaciones se analizaron.

INFORME DE ACTIVIDAD EXPERIMENTAL N° 2 y 3: Recristalización y punto de fusión

PARTE 1. Elección del solvente para recristalización

Informe cómo es la solubilidad del ácido benzoico/acetanilida en agua, etanol y éter de petróleo a temperatura ambiente y temperatura de ebullición de cada solvente.

	Temp. ambiente	Temp. ebullición
Agua		
Etanol		
Eter de petróleo		

Conclusión: El solvente más adecuado para realizar la recristalización esporque.....

PARTE 2. Recristalización de una muestra de acetanilida.

Completar:

- * Solvente utilizado para realizar la recristalización con sus datos de solubilidad a temperatura de ebullición y en frío.
- * Dibuje el equipo de utilizado para realizar la disolución de la muestra:
- * Volumen teórico para disolver 1,00 g la muestra en caliente:
- * Volumen experimental para disolver la muestra en caliente (compare con el volumen teórico):
- * Necesitó usar carbón activado para decolorar la muestra (tache lo que no corresponde)
SI NO
- * Dibuje el equipo utilizado para realizar la filtración en caliente:
- * Tiempo aproximado hasta la formación de los cristales de acetanilida:
- * Dibuje el equipo utilizado para realizar la filtración en frío
- * Aspecto de los cristales:

PARTE B. Determinación del punto de fusión de una muestra recristalizada de acetanilida v/o ácido benzoico

Completar:

- * Dibuje el equipo utilizado para efectuar la determinación del punto de fusión.
- * Muestra de trabajo y su punto de fusión obtenido de tablas:
- * Informe los puntos de fusión realizados (rápidos y lentos). Detalle los problemas encontrados.
Punto de fusión rápido:
Punto de fusión lento:
- * **Conclusión:** la muestra problema deestá / no está pura (tachar lo que no corresponde) debido a
- * Diga si la purificación fue eficiente o no.
- * Si la recristalización no fue eficiente, sugiera algún método para obtener la sustancia pura.

Para seguir leyendo

Para profundizar acerca de las representaciones en química se propone la lectura del artículo:

- Raviolo, A. (2019). Imágenes y enseñanza de la Química. Aportes de la Teoría cognitiva del aprendizaje multimedia. Educación química, 30(2), 114-128.

Sitios Web recomendados

En los siguientes links se puede encontrar material didáctico que puede ser utilizado para enriquecer la enseñanza de las ciencias naturales. Algunos de ellos contienen videos y experimentos demostrativos, en tanto que otros proveen simuladores que permiten que el usuario modifique ciertas variables y observe su efecto sobre el sistema de estudio.

- <https://chemix.org/>
- <https://enlazadosporlaquim.wixsite.com/misitio/videos>
- <https://phet.colorado.edu/en/simulations/filter?subjects=chemistry&type=html,prototype>
- <http://mw.concord.org/modeler/showcase/chemistry.html>
- <https://rodin.uca.es/handle/10498/6091/recent-submissions>

CAPÍTULO 12

Potencialidades de aplicaciones móviles de ciencia ciudadana para la enseñanza y aprendizaje sobre la conservación de la biodiversidad

¹Giuliana Morbidoni Davicino, ²María Angelina Roggio, ³María Carla Labaque y ⁴Leticia García-Romano

¹Departamento de Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (FCEFYN-UNC). Argentina.

²Departamento de Diversidad Biológica y Ecológica, FCEFYN-UNC. Instituto Nuestra Madre de la Merced, Argentina.

³CONICET, FCEFYN-UNC. Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Argentina.

⁴CONICET, Departamento de Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología, FCEFYN-UNC.

¹giulianamorbidoni@gmail.com, ²angelina.roggio@unc.edu.ar, ³maria.carla.labaque@unc.edu.ar, ⁴leticia.garcia@unc.edu.ar

Resumen

Este trabajo constituye un aporte para docentes interesados en pensar experiencias educativas que integren aplicaciones de ciencia ciudadana para la identificación taxonómica de organismos. Se caracterizan veinte aplicaciones móviles de descarga gratuita orientadas a la enseñanza y aprendizaje sobre la conservación de la biodiversidad. Su análisis incluye características sobre contenido multimedia, los contenidos abordados, el nivel de involucramiento de los ciudadanos, prácticas científicas y el tipo de aprendizaje colaborativo que promueven. De dicha selección, se utilizan algunas aplicaciones para determinar su potencial educativo en un Profesorado de Biología de la Ciudad de Córdoba. Los resultados demuestran que existen diversas áreas de conocimiento sobre biodiversidad donde puede desarrollarse la ciencia ciudadana, que los recursos multimedia favorecen la identificación exitosa de organismos, el aprendizaje colaborativo y el reconocimiento de su entorno cercano. Se recomienda que

los docentes seleccionen aplicaciones como Naturalista, Natusfera, PlantNet, Aappear y Geovin, por sus características promisorias.

Introducción

El dominio de la ciencia ciudadana (CC) involucra a científicos ciudadanos que son personas voluntarias que recopilan y/o procesan datos como parte de investigaciones científicas que tienen como objetivo responder preguntas relacionadas con la abundancia, distribución, comportamiento y cambios en especies, entre muchos otros (MacPhail y Colla, 2020). Siguiendo a estas autoras, la ventaja de esto es aumentar el alcance, la intensidad temporal y espacial de los proyectos y favorecer la apropiación del conocimiento generado.

Por otra parte, de acuerdo con Luna et al., (2018) el participante actúa de forma independiente ya que la mayoría no recibe ningún incentivo financiero, sino que las razones que motivan su participación son múltiples, como la curiosidad por el conocimiento y la ciencia (Finquelievich y Fischnaller, 2014). Así, los ciudadanos se involucran en una acción que los encamina a reconocer su entorno, con el fin de estimular y enriquecer la toma de decisiones y comprometerse con actitudes sostenibles (Hadjichambis et. al, 2020).

Un factor fundamental es el rápido avance de Internet y las tecnologías, ya que se han identificado aplicaciones móviles que permiten desde la grabación en línea y el mapeo en tiempo real hasta la fotografía digital. De acuerdo con Mazumdar et al. (2018), esto brinda una excelente oportunidad para que los proyectos de CC involucren a los participantes en todo momento y faciliten el acceso de poblaciones más grandes y diversas.

Sin embargo, un aspecto menos explorado es cómo dichas aplicaciones pueden aportar a la educación formal. Según Vitone et al. (2016), muchos proyectos evalúan el disfrute de los participantes, pero pocos prueban explícitamente su aprendizaje o los cambios en sus actitudes hacia la ciencia. ¿Si un participante aprende cómo se lleva a cabo la investigación, que la investigación científica implica observaciones y ensayos, controles y correlaciones, repeticiones y revisiones, entonces ese individuo podría comprender y evaluar afirmaciones científicas y conclusiones encontradas en el curso de la vida diaria? (Booney et al., 2016). En este sentido, se considera que los educadores podrían utilizar aplicaciones de CC para promover el interés de sus estudiantes en una amplia variedad de campos científicos. Estudios recientes han demostrado que los proyectos que han integrado la CC en el aula facilitan el aprendizaje activo, los modelos colaborativos y la incorporación de enfoques de aprendizaje abiertos y basados en la investigación (Shah y Martinez, 2016; Vitone et al., 2016).

Así, en consideración de que la persistencia de las problemáticas ambientales se relaciona en parte con el desconocimiento de la ciudadanía, es necesario contribuir a la sensibilización pública desde la educación formal. A su vez, es posible favorecer que los estudiantes tengan la oportunidad de aprender sobre ciclos de investigación y vincular la educación científica con la educación ambiental (Shah y Martinez, 2016).

Por todo lo anterior, resulta esencial caracterizar las potencialidades de aplicaciones

móviles de ciencia ciudadana como nueva estrategia didáctica para aumentar los alcances de la enseñanza y el aprendizaje sobre la conservación de la biodiversidad, con el fin de involucrar a la ciudadanía en acciones que estimulen el compromiso social.

Desarrollo

Para esto, se seleccionaron en la plataforma digital Google Play Store, veinte aplicaciones móviles gratuitas de ciencia ciudadana relacionadas con la conservación de la biodiversidad; y que estén disponibles para el sistema operativo Android, el principal utilizado en Argentina. Las mismas fueron analizadas primeramente desde una perspectiva cualitativa (Sandín, 2003).

Las categorías de análisis se construyeron a partir de aquellas validadas por otros autores (de Oliveira y Galembeck, 2016; Garcia-Romano y Occelli, 2019; Finquelievich y Fischnaller, 2014; Martinez et al., 2017; Jiménez-Aleixandre y Crujeiras, 2017; NRC, 2012) y de aquellos aspectos emergentes que surgieron del propio análisis.

Dimensión tecnológica

1. Información al usuario:

Baja: describe las características multimediales

Media: además de las características multimediales, especifica a qué usuarios va dirigida y cómo se presenta el contenido

Alta: además de especificar las características multimediales, los tipos de usuarios a quien va dirigida y la presentación de su contenido; presenta los objetivos de su desarrollo y los recursos que ofrece.

2. Requisito de conexión para la utilización de la aplicación:

Para uso/toma de datos: sí - no

Para identificación/envío de datos: sí - no

3. Contenido Multimedia: se refiere a la presencia de texto, fotografías, imágenes, la posibilidad de acceder a otros recursos como propuestas de enlace, tabla de datos y mapas de observaciones.

Contenidos y Prácticas Científicas que promueve

4. Involucramiento de los ciudadanos voluntarios:

Nivel bajo: el voluntario sólo provee las capacidades de dispositivo móvil para recolección de datos.

Nivel medio: el voluntario interactúa con herramientas TIC en la recolección de datos

que serán analizados por investigadores profesionales.

Nivel alto: los voluntarios colaboran en el relevamiento y monitoreo de datos, que serán analizados por investigadores. Pueden, además, unirse como voluntarios en un proyecto científico.

Nivel avanzado: los voluntarios participan en toda la extensión del proceso científico, colaborando con el análisis de datos relevados, diseñando y operativizando herramientas de recolección de datos y registro, incluso elaborando objetivos o hipótesis de investigación.

Nivel de políticas públicas: los ciudadanos son involucrados en los procesos de definición de políticas públicas que presentan componentes técnicos o científicos, trabajando a la par de los investigadores, en el marco de un proceso político democrático.

5. Conceptos Abordados: se analizaron los principales temas de biodiversidad que presentaban las aplicaciones.

6. Prácticas Científicas Implicadas: se analizaron las prácticas científicas que promueven las aplicaciones, pudiendo ser más de una para cada app.

- a. Hacer preguntas y definir problemas.*
- b. Desarrollar y usar modelos.*
- c. Planificar y realizar investigaciones.*
- d. Analizar e interpretar datos.*
- e. Usar conocimiento matemático y pensamiento computacional.*
- f. Construir explicaciones y diseñar soluciones.*
- g. Formular argumentos a partir de la evidencia.*
- h. Obtener, evaluar y comunicar información.*

7. Aprendizaje Colaborativo/Social:

Bajo: se centra en la observación y toma/envío de datos, o sólo funcionan como una guía de observación. Algunos incluyen participación en proyectos.

Medio: incluye comentarios de otros usuarios y participación en proyectos, pero no incluye la identificación por pares y/o especialistas.

Alto: definido por la identificación por pares y/o especialistas, también puede incluir comentarios o mensajes privados de otros usuarios, identificación para confección de guías de especies, y la participación en proyectos y misiones.

Finalmente, del análisis obtenido se procedió a la selección de dos aplicaciones (Naturalisa y Seek) para que pudieran ser utilizadas durante 4 clases en un curso de Trabajo Experimental en Biología de 2° año del Profesorado de Biología, en el Instituto Nuestra Madre de la Merced en la ciudad de Córdoba; con el fin de conocer sus potencialidades en los procesos de enseñanza y de aprendizaje sobre conservación de la biodiversidad, particularmente de especies vegetales nativas.

Antes de comenzar con la intervención, se les solicitó a los estudiantes que respondan un formulario inicial para indagar sobre el uso de aplicaciones móviles para complementar su estudio y el conocimiento sobre Ciencia Ciudadana. Luego, se les presentaron las aplicaciones, detallando cada una de sus interfaces y usos para poder realizar las distintas actividades planificadas. Por ejemplo, en una salida de campo a la Reserva San Martín (Córdoba), los estudiantes tomaron fotografías sobre distintos árboles/arbustos que fueron encontrando (Figura 1) para luego poder identificar las especies encontradas utilizando la aplicación Naturalista, y dieron a conocer los criterios que utilizaron para su reconocimiento.



Figura 1. Fotografía tomada durante la salida de campo en la Reserva San Martín (Córdoba)

Al final de cada actividad, se generaron espacios de intercambio y diálogo acerca de lo que aportan dichas aplicaciones a una persona como ciudadano, haciendo hincapié en la importancia de reconocer y conservar la biodiversidad de nuestro entorno, y también, respecto de cómo puede un ciudadano aportar a la ciencia.

Al concluir la intervención, los estudiantes respondieron ciertas preguntas con el objetivo de conocer la valoración de las aplicaciones utilizadas y la conceptualización que han podido construir sobre Ciencia Ciudadana, así como aquellos aspectos que eran necesarios profundizar.

Resultados

Los datos presentados en Tabla 1, ofrecen un detalle de las características tecnológicas analizadas en cada aplicación.

Tabla 1. Dimensión tecnológica de las aplicaciones móviles analizadas.

Aplicación Móvil	Información al usuario	Requisito de conexión para uso/toma de datos	Requisito de conexión para identificación/envío de datos	Contenido Multimedia
iNaturalist	Alta	Sí	Sí	Textos, fotografías, propuesta de enlaces, tabla de datos, mapas de observaciones, audios
Earth Challenge	Media	No	Sí	Textos, fotografías, propuesta de enlaces
Natusfera	Alta	Sí	Sí	Textos, fotografías, mapas de observaciones
PlantNet	Alta	Sí	Sí	Textos, fotografías, propuesta de enlaces, mapas de observaciones, audios
Seek	Alta	No	Sí	Textos, fotografías, propuesta de enlaces, tabla de datos, mapas de observaciones, audios
Anecdata	Baja	Sí	Sí	Textos, fotografías, mapas de observaciones, tablas de datos
AppEAR	Alta	Sí	Sí	Textos, fotografías, propuesta de enlaces, mapa de observaciones
Aves Argentinas	Alta	No	No	Textos, fotografías, mapa de distribuciones grabaciones de cantos
BirdNET	Alta	No	Sí	Fotografías, audios, videos, mapas de distribución
Merlin Bird ID	Alta	Sí	Sí	Textos, fotografías audios, mapas de distribución
eBird	Alta	Sí	Sí	Mapas de distribución, tablas de especies por año/mes
Arborea	Alta	Sí	Sí	Fotografías, mapas de distribución, dibujos
SpideSpotter	Alta	No	Sí	Fotografías, mapas, gráficos de observaciones, textos
Spot-a-bee	Alta	No	Sí	Textos, fotografías, mapas de observaciones
Zooniverse	Alta	Sí	Sí	Fotografías, videos
Faunawatch	Baja	Sí	Sí	Fotografías
GLOBE Observer	Alta	Sí	Sí	Textos, fotografías, mapas de observaciones, gráficos
Caza Mosquitos	Alta	No	No	Textos, iconos, dibujos, mapa de observaciones.
GeoVin	Alta	No	Sí	Fotografías, mapas online de observación, dibujos
¿Es araña o escorpión?	Alta	No	Sí	Fotografías, ficha de información de cada especie, mapa de distribución

Los datos presentados en Tabla 2, ofrecen un detalle de los contenidos y prácticas científicas que promueven las aplicaciones analizadas.

Tabla 2. Contenidos y Prácticas Científicas de las aplicaciones móviles analizadas

Aplicación móvil	Conceptos Abordados	Involucramiento de los ciudadanos voluntarios	Prácticas científicas implicadas	Aprendizaje colaborativo
iNaturalist	Distintos Taxones Taxonomía completa Atributos (etapa de vida, sexo, vivo/muerto, presencia) Descripción de Género/Familia/Especie	Alto	Analizar e interpretar datos	Alto
Earth Challenge	Clasificación de Plásticos Limpieza de Costas Calidad del Aire Identificación de Abejas	Medio	Analizar e interpretar datos	Bajo
Natusfera	Distintos taxones	Alto	Analizar e interpretar datos	Alto
PlantNet	Plantas silvestres, útiles y cultivadas, ornamentales Clasificación en Familia/Género/Especie Clasificación en Fruto, Flor, Hoja, Corteza, Hábito	Alto	Analizar e interpretar datos	Alto
Seek	Distintos Taxones Taxonomía completa Especies nativas, endémicas, introducidas Estado de conservación Especies cercanas a la ubicación Descripción	Medio	Analizar e interpretar datos	Alto
Anecdata	Distintos proyectos (residuos sólidos, colillas, calidad de ríos y arroyos, etc)	Alto	Analizar e interpretar datos	Medio
AppEAR	Ecología de ríos, arroyos, lagos y estuarios a través de índices ecológicos Redes tróficas Comunidades Ciclo del agua Contaminación Especies cercanas a la ubicación Nivel de amenaza Descripción	Alto	Analizar e interpretar datos	Medio
Aves Argentinas	Aves (vida, cortejo, migraciones, nidos, alimentos, etc) Consejos y ética de observación	Bajo	Analizar e interpretar datos	Bajo

BirdNET	Aves (canto, edad, sexo, comportamiento) Exploración de especies cercanas Descripción	Medio	Analizar e interpretar datos	Medio
Merlin Bird ID	Aves (adulto reproductivo/no reproductivo, juvenil, hábitat) Descripción Sonidos	Bajo	Analizar e interpretar datos	Bajo
eBird	Aves (distribución, estacionalidad, abundancias) Taxonomía	Bajo	Analizar e interpretar datos	Bajo
Arborea	Árboles nativos y exóticos del noroeste de Argentina (nombre características botánicas, usos y distribución)	Bajo	Analizar e interpretar datos	Bajo
SpiderSpotter	Arañas (clasificación basada en el color y tipo de telaraña)	Medio	Analizar e interpretar datos	Medio
Spot-a-bee	Abejas (clasificación según comportamiento, especie, fotografía, etc) Flores visitadas por abejas (descripción)	Medio	Analizar e interpretar datos	Medio
¿Es araña o escorpión?	Arañas y Escorpiones de interés sanitario (nombres, descripción) Y sin interés sanitario Prevención y manejo domiciliario	Medio	Analizar e interpretar datos	Alto
Zooniverse	Proyectos para unirse en distintas áreas. → Biología (patrones de anidación de gorriones; presencia de mitocondria en las células; etc)	Bajo	Ausencia	Bajo
Faunawatch	Identificación de animales en cámaras trampa	Bajo	Analizar e interpretar datos	Bajo

GLOBE Observer	Incluye 4 sub-aplicaciones: Nubes (grabación de nubes y condiciones del cielo) Hábitats de Mosquitos potenciales de transmitir enfermedad Cobertura terrestre (tipo de suelo, % de área cubierta) Árboles (altura, %cobertura terrestre)	Medio	Analizar e interpretar datos	Medio
Caza Mosquitos	Mosquitos vectores de enfermedades (especies, geolocalización de criaderos, información)	Medio	Analizar e interpretar datos Construir explicaciones y diseñar soluciones	Medio
GeoVin	Distribución de las Vinchucas en Argentina (características, ciclos de vida) Enfermedad de Chagas (transmisión, tratamiento, recomendaciones)	Medio	Analizar e interpretar datos	Alto

En relación a la intervención, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- En el cuestionario inicial, el total de los estudiantes (7) respondieron que no habían utilizado aplicaciones móviles para complementar su estudio, sólo habían utilizado recursos gráficos (Canva, Genially, Prezi) para elaborar presentaciones; además, ninguno de ellos utilizó aplicaciones para la identificación de especies. Cuando se les preguntó sobre si conocían lo que es la Ciencia Ciudadana, todas las respuestas fueron negativas.
- Con respecto a la actividad planificada para la salida de campo a la Reserva San Martín, todos los estudiantes pudieron utilizar sin ningún problema la aplicación Naturalista para identificar las distintas especies vegetales a las que habían tomado fotografías desde sus celulares. Los estudiantes explicitaron que utilizaron criterios morfológicos como la cantidad, color, tipo de borde y posición en el tallo de las hojas; la presencia/ausencia de flores, su color y tamaño; ramificaciones del tallo; presencia/ausencia de espinas; color y forma del fruto, etc. (Figura 2a), y compararon sus fotos con las imágenes en la base de datos de la aplicación (Figura 2b); además, corroboraron la especie seleccionada con la lista de especies sugeridas por la aplicación y con los mapas de observaciones, lo cual les sirvió para saber si era una especie frecuente de la provincia o no. La identificación, además fue corroborada al momento de dialogar los resultados que obtuvieron en conjunto con la docente a cargo.
- En el cuestionario final, todos los estudiantes valoraron de forma positiva las aplicaciones seleccionadas, principalmente por su facilidad de uso y simpleza de interfaces, su utilidad al momento de identificar especies y su potencialidad para poder ser utilizada en el aula y en otros contextos de aprendizaje no formal. Por otro lado, todos los alumnos expresaron la

importancia de su incorporación en los proyectos de investigación en ciencia. En palabras de un estudiante “a partir de su uso, se promueve la colaboración entre muchas personas, se facilita la recolección de datos y se obtiene una mejor muestra”. Además, se observó que todos los estudiantes pudieron responder a la pregunta ¿Qué sé sobre Ciencia Ciudadana?, evidenciando una posible construcción de conocimiento. Algunas de estas respuestas fueron “ahora sé que cualquier ciudadano puede participar de la ciencia a partir de sus observaciones, compartiendo con expertos imágenes, datos y descripciones de especies o acontecimientos, y además, formar parte de proyectos de investigación. También permite obtener información para su uso cotidiano”.



Figura 2. a) Producción de un grupo de estudiantes que muestra los criterios utilizados para la identificación. b) Producción de un grupo de estudiantes que incluye fotografías de la salida de campo e imágenes de la app.

Discusión

Con respecto a la caracterización de las aplicaciones, la mayoría de ellas brindan la información necesaria para que los usuarios puedan saber, de antemano, de qué se trata y cuál es el objetivo de las mismas; lo que resulta beneficioso si se desea trabajar con aplicaciones de ciencia ciudadana que estén enfocadas en un área en particular. Por otro lado, la gran mayoría requiere del acceso a internet para su uso, y sobre todo para la toma y envío de datos. Esto puede significar una barrera para su utilización en actividades que se desarrollen fuera del aula, como así también para aquellos colegios que no puedan acceder a dicha tecnología. En estos casos, recomendamos que se realice la toma de datos (fotos, videos, grabaciones) desde los celulares de los estudiantes, y luego con acceso a internet puedan subirlos a la aplicación.

De acuerdo a las características multimediales, la mayoría presentan fotografías, textos con información para el usuario y mapas de distribución/observaciones; siendo unas pocas las que permiten reproducción de audios y videos, como el acceso a otros enlaces. Esto refleja su potencial, definido en estudios anteriores, para lograr una identificación

exitosa de organismos encontrados, como así también para la obtención de información sobre distintos grupos dentro de la aplicación (Unger, 2020). Por otro lado, al igual que lo establecido por Fundación Ciencia Ciudadana, (2018) los contenidos de biodiversidad que permiten abordar son múltiples y diversos, con mayor o menor grado de conocimiento requerido por parte del usuario, permitiendo el desarrollo de un amplio rango de proyectos que se pueden hacer en medio ambiente. De acuerdo con el tipo de involucramiento de los ciudadanos voluntarios, se ha encontrado que varias aplicaciones promueven que éstos colaboren en el relevamiento y monitoreo, pudiendo unirse a proyectos científicos. Pero muchas otras, hacen uso de la participación ciudadana únicamente como herramienta de muestreo. Así, como señalan Finquelievich y Fischnaller (2014), la ciencia ciudadana no es siempre “ciencia abierta”. Por último, en relación con las prácticas científicas implicadas, la gran mayoría promueve procesos de indagación a través del análisis e interpretación de los datos obtenidos; sólo una de las aplicaciones (CazaMosquitos), a través de una sección llamada “preguntas para la acción”, favorece la argumentación por medio de la construcción de explicaciones y diseño de soluciones a las preguntas planteadas. Estas prácticas pueden ser tomadas por el profesorado como punto de partida para conducir a los estudiantes a un realizar un proceso de investigación científica, con la posibilidad de integrar otras prácticas, ya que sería posible trabajar en la definición de preguntas sobre sus propias observaciones y definición de problemas en su contexto cercano, utilizar modelos, evaluar y divulgar la información obtenida, entre otras (Martínez et al., 2017; Booney et al., 2016; Jiménez-Aleixandre y Crujeiras, 2017; NRC, 2012).

Por otro lado, en relación a la intervención realizada en el Instituto de Formación Docente, las respuestas del cuestionario inicial evidencian un claro desconocimiento sobre el dominio de la CC, que puede relacionarse con el surgimiento relativamente nuevo de dicha área, con la poca divulgación de proyectos de CC en nuestro país, como así también, con la escasez de institutos de educación y docentes que los incorporan en sus metodologías didácticas. En este sentido, una de las respuestas dada por un estudiante acerca de los aspectos que podría profundizar en CC fue: *“me gustaría indagar más sobre distintas aplicaciones o proyectos en los que pueda participar como ciudadano y también para aprovechar estas herramientas en el aula como docentes, de manera que despierte el interés en los alumnos”*. Esto, a su vez, coincide con lo expresado por Vitone et al. (2016) acerca de que, si bien se ha prestado mucha atención a evaluar y mejorar la validez científica de estos proyectos, los resultados educativos de la participación en proyectos de ciencia ciudadana han recibido menos escrutinio.

En cuanto a las aplicaciones seleccionadas, Naturalista se posiciona como una de las que más potencial posee para trabajar en el aula. De acuerdo con Unger et al. (2020), el uso adecuado de dicha aplicación permite identificar muchos organismos comúnmente encontrados por los estudiantes en actividades al aire libre, lo que les posibilita obtener información y antecedentes biológicos sobre los grupos de organismos locales dentro de la aplicación (distribución, caracteres morfológicos, taxonomía, etc.). En este sentido, un estudiante afirmó que *“realizar observaciones cercanas a nosotros me parece muy bueno para fomentar esto de valorizar y visualizar la biodiversidad que hay a nuestro*

alrededor". Sin embargo, es importante enfatizar la importancia de enseñar habilidades de identificación que incorporen la morfología del organismo en conjunto con la identificación de especies, ya que una de las debilidades de confiar en una aplicación de identificación visual automatizada es que los estudiantes pueden perder las habilidades tradicionales de identificación morfológica vitales para el uso correcto de las claves dicotómicas tradicionales (Unger et al., 2020).

Reflexiones Finales

Este trabajo pretende constituirse en un aporte para los docentes del área interesados en pensar experiencias educativas diferentes, integrando aplicaciones de ciencia ciudadana para la identificación taxonómica de organismos cercanos y la posibilidad de vincularse más cercanamente con proyectos científicos. En base a esto, se recomienda a los docentes trabajar con aplicaciones como Naturalista, Seek, PlantNet, iNaturalist, Geovin y Global Observer ya que poseen características promisorias sobre todo en relación al aprendizaje colaborativo que promueven y al tipo de involucramiento de los ciudadanos.

Además, en este trabajo brindamos un acercamiento para entender cómo aprenden los estudiantes en la participación de actividades de ciencia ciudadana y el papel que desempeña ésta en el compromiso científico. La incorporación de este enfoque tecnológico en la identificación taxonómica, posibilitaría un aumento en el conocimiento de la historia natural de los organismos en actividades al aire libre que pueden brindar nuevas oportunidades de aprendizaje para los estudiantes. Los proyectos de CC no solo tienen objetivos científicos, sino que uno de los principales objetivos es crear conciencia y generar conocimiento local sobre las especies representativas del entorno cercano, lo que interpela a todos los actores sociales de la comunidad de la ciudad (estudiantes, maestros, ciudadanos y personas dedicadas a la conservación de la naturaleza). Para los estudiantes, estos proyectos son la oportunidad de participar en la investigación científica, aprender sobre todo el ciclo de la investigación y vincular la educación científica con la educación ambiental (Scheuch, 2019).

Quedan aún numerosos aspectos por investigar acerca del potencial educativo de la ciencia ciudadana. En este sentido, Booney et al., (2015) plantea algunos interrogantes como, por ejemplo, si participar en investigaciones científicas activas puede ayudar a los participantes a aprender sobre los temas que están investigando o comprender cómo se llevan a cabo las investigaciones científicas; si puede la participación en ciencia ciudadana cambiar actitudes o comportamiento hacia la ciencia, entre otros interrogantes. Estos podrían servir como puntapié para continuar con la investigación en dicha área, en búsqueda y construcción de posibles respuestas.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) por la beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas otorgada a Giuliana Morbidoni Davicino para la realización de este proyecto y a la Secretaría de Ciencia y Tecnología (SECyT) de la Universidad Nacional de Córdoba y al CONICET (proyecto PIBAA 28720210101027CO) por el financiamiento otorgado para la concreción de esta investigación.

Bibliografía

- Bonney, R., Phillips, T.B., Ballard, H.L. y Enck, J.W. (2016). Can citizen science enhance public understanding of science? *Public understanding of science*, 25(1), 2-16. <https://doi.org/10.1177/0963662515607406>
- Bruckermann, T., Lorke, J., Rafolt, S., Scheuch, M., Aristeidou, M., Ballard, H., ... y Kapelari, S. (2020, January). Learning opportunities and outcomes in citizen science: A heuristic model for design and evaluation. In *Electronic Proceedings of the European Science Education Research Association (ESERA) 2019 Conference*.
- De Oliveira, M. L., & Galembeck, E. (2016). Mobile Applications in Cell Biology Present New Approaches for Cell Modelling. *Journal of Biological Education*, 50(3), 290–303. <https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1085428>
- Fundación Ciencia Ciudadana. (2018). Ciencia ciudadana: Principios herramientas proyectos de Medio Ambiente. <http://biblioteca.cehum.org/bitstream/CEHUM2018/1292/1/Fundaci%C3%B3n%20Ciencia%20Ciudadana.%20Principios%2C%20herramientas%2C%20proyectos%20de%20medio%20ambiente.pdf>
- Finkelievich, S. y Fischnaller, C. (2014). Ciencia ciudadana en la Sociedad de la Información: nuevas tendencias a nivel mundial. *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad*, 9(27), 11-31.
- García Romano, L. y Occelli, M. (2019). Un modelo analítico para caracterizar recursos tecnológicos basados en contenidos científicos. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31(1), 15-25.
- Gray, S. A., Nicosia, K. y Jordan, R. C. (2012). Lessons learned from citizen science in the classroom. a response to "the future of citizen science". *Democracy and Education*, 20(2), 14.
- Hadjichambis, A.Ch., Reis, P., Paraskeva-Hadjichambi, D., Činčera, J., Boeve-de Pauw, J., Gericke, N. y Knippels, M.C. (2020). *Conceptualizing Environmental Citizenship for 21st Century Education*. Suiza: Springer Open. 10.1007/978-3-030-20249-1
- Jiménez-Aleixandre, M.P. y Crujeiras, B. (2017). Epistemic practices and scientific practices in science education. En Taber, K.S., Akpan, B. (eds) *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education*. Rotterdam: SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_5
- Luna, S. et al. (2018). Developing Mobile Applications for Environmental and Biodiversity Citizen Science: Considerations and Recommendations. En: Joly A., Vrochidis S., Karatzas K., Karppinen A., Bonnet P. (eds), *Multimedia Tools and Applications for Environmental & Biodiversity Informatics. Multimedia*

Systems and Applications. Springer International Publishing AG. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76445-0_2

MacPahil, V.J. y Colla, S.R. (2020). Power of the people: A review of citizen science programs for conservation. *Biological conservation*, 249,1-15. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108739>

Martínez, G. F., Mir, F. y Garcia Romano, L. (2017). Caracterización de aplicaciones móviles para la enseñanza y el aprendizaje de la anatomía humana. *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), 1597-1604.

Mazumdar, S. et al. (2018). Citizen science and technologies and new opportunities for participation. En Hecker, S. and Haklay, M., Bowser, A., Makuch, Z., Vogel, J., Bonn, A., (Eds.) *Citizen Science - Innovation in Open Science, Society and Policy*. (pp. 303-320). London: UCL Press. 10.14324/111.9781787352339

National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.

Sandín, E. (2003). *Investigación cualitativa en educación. Fundamentos y Tradiciones*. Madrid: McGrawHill.

Shah, H.R. y Martinez, L.R. (2016). Current Approaches in Implementing Citizen Science in the Classroom. *Journal of microbiology & biology education*, 17(1), 17-22. 10.1128/jmbe.v17i1.1032

Scheuch, M. (2019). Citizen Science with School Students for Nature Conservation of a Scorpion Species. 5th Austrian Citizen Science Conference 2019 (ACSC2019), Obergurgl, Austria

Unger, S., Rollins, M., Tietz, A. y Dumais, H. (2020). iNaturalist as an engaging tool for identifying organisms in outdoor activities. *Journal of Biological Education*, 55(5), 537-547. <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1739114>

Vitone, T., Stofer, K., Steininger, M. S., Hulcr, J., Dunn, R. y Lucky, A. (2016). School of Ants Goes to College: Integrating Citizen Science into the General Education Classroom Increases Engagement with Science. *Journal of Science Communication*, 15(1), A03. <https://doi.org/10.22323/2.15010203>

Para seguir leyendo

- ***Oportunidades de aprendizaje y resultados en Ciencia Ciudadana: un modelo heurístico para diseño y evaluación (Bruckermann et al., 2020).***
- ***Lecciones aprendidas de la ciencia ciudadana en el aula (Gray et al., 2012).***

Estas lecturas están enfocadas en dificultades que surgen al momento de vincular e integrar proyectos de Ciencia Ciudadana en contextos de educación formal. Aportan, por un lado, información sobre la necesidad de contar con modelos que evalúen los proyectos de Ciencia Ciudadana en función del grado de participación y de las oportunidades de aprendizajes que promueven, teniendo en cuenta que los datos y la forma en que los ciudadanos y los científicos profesionales acceden a ellos influyen en los resultados del aprendizaje científico e individual.

Por otro lado, abordan las limitaciones y barreras existentes para trasladar la Ciencia Ciudadana al aula, ya que es necesario que tanto docentes como investigadores y diseñadores de los proyectos enmarquen dichos programas en torno a la naturaleza de la ciencia y fomenten la capacidad del público de criticar la información y evidencia obtenida a través de su desarrollo.

Sitios Web recomendados

- <https://app-ear.com.ar/que-es-app-ear/>

Este sitio presenta al proyecto AppEAR de ciencia ciudadana que se propone estudiar los ambientes acuáticos de agua dulce.