
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

REVISTA DE INVESTIGACION Y EXPERIENCIAS DIDACTICAS

vol. 42, n. 1, marzo 2024

CONSEJO DE REDACCIÓN

Ana María Abril Gallego. DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS. UNIVERSIDAD DE JAÉN. • Lluís Albarraçin Gordo. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS. UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA. • David Arnau Vera. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA. UNIVERSITAT DE VALÈNCIA. • José Cantó Doménech. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I SOCIALS. UNIVERSITAT DE VALÈNCIA. • Consuelo Domínguez Sales. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I SOCIALS. UNIVERSITAT DE VALÈNCIA. • Ceneida Fernández Verdú. DEPARTAMENTO INNOVACIÓN Y FORMACIÓN DIDÁCTICA. UNIVERSIDAD DE ALICANTE. • Valentín Gavidia Catalán. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I SOCIALS. UNIVERSITAT DE VALÈNCIA. • Julià Hinojosa Lobato. DEPARTAMENT D'EDUCACIÓ LINGÜÍSTICA I LITERÀRIA I DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I DE LA MATEMÀTICA. UNIVERSITAT DE BARCELONA. • Mercè Izquierdo Aymerich. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS. UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA. • Rut Jiménez-Liso. DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN. UNIVERSIDAD DE ALMERIA. • Mercè Junyent Pubill. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS. UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA. • Anna Marbà-Tallada. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS. UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA. • Fatima Rodríguez Marín. DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES Y SOCIALES. UNIVERSIDAD DE SEVILLA.

DIRECCIÓ CIENTÍFICA (EDITORES)

Edelmira Badillo Jiménez. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA.

Jordi Solbes Matarredona. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I SOCIALS. UNIVERSITAT DE VALÈNCIA.

OTROS CONSEJEROS

Digna Couso Lajaron. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA. • Anna R. Esteve Martínez. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I SOCIALS. UNIVERSITAT DE VALÈNCIA. • Juan Gutiérrez Soto. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES MATEMÀTICA. UNIVERSITAT DE VALÈNCIA. • Núria Planas Raig. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA.

CONSEJO ASESOR

Agustín Adúriz-Bravo. INSTITUTO CEFIEC, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES, UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. ARGENTINA • Fanny Angulo Delgado. DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS Y LAS ARTES, FACULTAD DE EDUCACIÓN, UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. COLOMBIA • Catherine Bruguière. EPISTÉMOLOGIE ET DIDACTIQUE DE LA BIOLOGIE, INSPÉ DE LYON. FRANCIA • Leonor Camargo Uribe. DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS, UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL. COLOMBIA • Antonia Candela. DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES EDUCATIVAS, CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN. MÉXICO • Marcelo de Carvalho Borba. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" (UNESP). BRASIL • Lydia R. Galagovsky. INSTITUTO CENTRO DE FORMAÇÃO E INVESTIGAÇÃO EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS (CEFIEC), FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES, UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. ARGENTINA. • Alma Adrianna Gómez-Galindo. UNIDAD MONTERREY, CINVESTAV. MÉXICO • Ángel Gutiérrez Rodríguez. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA. UNIVERSITAT DE VALÈNCIA. • Mercè Izquierdo Aymerich. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA. ESPAÑA • María Pilar Jiménez Aleixandre. DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES, UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA. ESPAÑA • Rosária Justí. DEPARTAMENTO DE QUÍMICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. BRASIL • Isabel Martins. NÚCLEO DE TECNOLOGIA EDUCACIONAL PARA A SAÚDE, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (NUTES/UFRRJ). BRASIL • Conxita Márquez Bargalló. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA •

Vicente Mellado Jiménez. DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES Y MATEMÁTICAS, UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA. ESPAÑA • Cristian Merino Rubilar. INSTITUTO DE QUÍMICA, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO. CHILE • Judit Moschkovich. EDUCATION DEPARTMENT, UNIVERSITY OF CALIFORNIA AT SANTA CRUZ. EE.UU. • Marcela Cecilia Párraguez González. INSTITUTO DE MATEMÁTICAS, PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO. CHILE • Francisco Javier Perales Palacios. DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES. UNIVERSIDAD DE GRANADA. ESPAÑA • Maurício Pietrocola. FACULDADE DE EDUCAÇÃO, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. BRASIL • Núria Planas. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA. ESPAÑA • João Pedro da Ponte. INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, UNIVERSIDADE DE LISBOA. PORTUGAL • Lluís Puig Espinosa. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA. ESPAÑA • Mario Quintanilla-Gatica. DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA, FACULTAD DE EDUCACIÓN, UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE. CHILE • Luis Radford. ÉCOLE DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION, UNIVERSITÉ LAURENTIENNE. CANADÁ • Pedro Rocha dos Reis. INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, UNIVERSIDADE DE LISBOA. PORTUGAL • Neus Sanmartí Puig. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA. ESPAÑA • Manuel Santos Trigo. DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA EDUCATIVA, CINVESTAV, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL (IPN). MÉXICO • Graça Simões de Carvalho. CIEC - CENTRO DE INVESTIGAÇÃO EM ESTUDOS DA CRIANÇA, INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, UNIVERSIDADE DO MINHO. PORTUGAL • Jorge Soto Andrade. DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS, UNIVERSIDAD DE CHILE. CHILE • Vicente Talanquer. DEPARTAMENTO DE QUÍMICA Y BIOQUÍMICA, UNIVERSIDAD DE ARIZONA. EE.UU. • Oscar Eugenio Tamayo Alzate. UNIVERSIDAD DE CALDAS - UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MANIZALES, DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS EDUCATIVOS. COLOMBIA • Paola Valero. DEPARTMENT OF MATHEMATICS AND SCIENCE EDUCATION, STOCKHOLM UNIVERSITY. SUECIA • Manuela Welzel-Breuer. INSTITUTE FOR SCIENCE, GEOGRAPHY AND TECHNICAL ENGINEERING, PHYSICS DEPARTMENT, UNIVERSITY OF EDUCATION HEIDELBERG. ALEMANIA

EDICIÓ

Departamentos de: Didáctica de las Ciencias y las Matemáticas de la Universitat Autònoma de Barcelona, Didáctica de las Matemáticas de la de la Universitat de València, Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales de la Universitat de València.

La Revista Enseñanza de las Ciencias es una revista en español, publicada desde 1983. Riguroso sistema doble ciego de evaluación. Amplia red de revisores científicos. Gestión profesional de los artículos a través de la plataforma OJS. Formato digital on-line. Publica en abierto, el texto completo es accesible de forma gratuita. No cobra a los autores de los artículos publicados.

INDEXACIÓ

CARHUS+	ERIHPLUS	JCR-WOS SSCI (ISI)	Scimago
CIRC	FECYT	LATINDEX (Catálogo)	Scopus
DIALNET plus	Google	MathÉduc	
DICE	Scholar	MIAR	
	IRESEI	REBIUM	

Diseño del interior y maquetación:

Celso Hernández de la Figuera y Gómez

Gestión editorial:

Felipe Corredor Álvarez

Recepción de originales:

<http://ensciencias.uab.es/about/submissions#onlineSubmissions>

Correo electrónico

r.enseñanza.ciencias@uab.cat



CC-BY: en cualquier explotación de la obra autorizada por la licencia hará falta reconocer la autoría. Se permite cualquier explotación de la obra, incluyendo una finalidad comercial, así como la creación de obras derivadas, la distribución de las cuales también está permitida sin ninguna restricción.

ISSN (impreso): 0212-4521 e ISSN (digital): 2174-6486

Depósito legal: B-12373-1983

INVESTIGACIONES DIDÁCTICAS

La didáctica de las ciencias y la formación docente del profesorado universitario, <i>Rafael Porlán, Antonio Pérez-Robles, Gabriela Delord</i>	5
Estudio de emociones en un proceso de ruptura cognitiva a través del reconocimiento facial, <i>Ángel Ezquerro, Sonia Pamplona, Amalia Casas-Mas, Iván Nieto-Gómez</i>	23
Mirada profesional del futuro profesor en torno al signo igual, <i>Sebastián Parodi, Cristina Ochoviet, Javier Lezama</i>	43
Las competencias en sostenibilidad del alumnado de educación secundaria según el género, <i>Gisela Cebrián, Álvaro Moraleda, Jon Xavier Olano, Anna Boqué, Juan Prieto</i>	65
Saberes docentes y educación inclusiva en la confección de recursos didácticos de ciencias, <i>Beatriz Cavalheiro Crittelli, Verónica Marcela Guridi, Celi Rodrigues Chaves Dominguez, Eder Pires de Camargo</i>	85
«No todo es sargazo»: Aprendizajes en un proyecto de ciencia ciudadana marino-costera, <i>Ana I. Benavides Lahnstein, Arely A. Paredes Chi, Ameyalli Ríos Vázquez, María del Carmen Galindo-De Santiago, Kaysara Khatun, Erika Vázquez Delfín, Lucy Robinson, Juliet Brodie, Jessica Wardlaw</i>	105
Creencias del profesorado en formación sobre los zahoríos y aplicación del modelo acuífero, <i>Nahia Seijas, Araitz Uskola</i>	125

HISTORIA Y EPISTEMIOLOGÍA

Génesis y evolución de la matemática moderna en Colombia: una visión general (siglo xx), <i>Alfonso Segundo Gómez Mulett</i>	145
--	-----

INNOVACIONES DIDÁCTICAS

Diseño de situaciones de aprendizaje para Matemáticas en un contexto remoto, <i>Horacio Solar Bezmalinovic</i>	161
Película polimérica aplicada en un miniproyecto didáctico de sostenibilidad, <i>Camila Pereira Grandini, Cristiane Renata Schmitt, Aline Joana Rolina Wohlmuth Alves dos Santos, Patrícia Ignácio, Gilber Ricardo Rosa</i>	175



La didáctica de las ciencias y la formación docente del profesorado universitario

Scientific Education and Teaching Training of University Teachers

Rafael Porlán, Antonio Pérez-Robles, Gabriela Delord

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universidad de Sevilla. Sevilla. España.
rporlan@us.es, tonperrob@gmail.com, gcattani1@us.es

RESUMEN • Este artículo presenta un conjunto de visiones estratégicas basadas en la didáctica de las ciencias para la formación de docentes universitarios. Para ello se ha tomado como referencia las aportaciones de autores destacados en el campo y la experiencia formativa e investigadora de los autores. Dichas visiones abordan las siguientes dimensiones formativas: la concepción de la disciplina, el tratamiento didáctico de los contenidos, la modelización de la metodología de enseñanza, el diseño de secuencias de actividades de orientación investigativa, la interacción en el aula y la evaluación formativa.

PALABRAS CLAVE: Didáctica de las ciencias; Formación del profesorado; Educación superior; Enseñanza centrada en el estudiante; Aprendizaje por investigación.

ABSTRACT • This article presents a set of strategic visions based on the didactics of sciences for the training of university teachers. For this purpose, the contributions of prominent authors in the field and the educational and research experience of the authors have been taken as a reference. These visions address the following formative dimensions: the conception of the discipline, the didactic treatment of the contents, the modeling of the teaching methodology, the design of sequences of investigative-oriented activities, the interaction in the classroom, and formative assessment.

KEYWORDS: Science education; Teacher training; Higher education; Student-centered teaching; Inquiry learning.

Recepción: julio 2023 • Aceptación: octubre 2023 • Publicación: marzo 2024

INTRODUCCIÓN

La nueva Ley Orgánica del Sistema Universitario (LOSU) establece la obligatoriedad de las universidades de aplicar programas de formación docente. Esta novedad es un primer paso en el reconocimiento de que la docencia universitaria es una actividad que requiere de una formación específica (De Ketele, 2003; Gil-Pérez y Vilches, 2008; Martínez, 2022). En este contexto de cambio, cobra interés plantearse cuáles han de ser los *saberes deseables* que guíen dicha formación (Ibarra, 2023). En relación con esto, hay autores que plantean como referencia una *didáctica universitaria* (Dámaris, 2001; Zabalza, 2011), dado lo específico del nivel educativo, mientras que otros consideran que las didácticas específicas han de ser el eje de la formación (Bolívar, 2005), e, incluso, hay corrientes que proponen la emergencia de una *didáctica de las disciplinas* (Astolfi, 2001), que integre las didácticas específicas en un área común. Desde nuestro punto de vista, considerando que estos saberes son de difícil adscripción epistemológica exclusiva, las aportaciones que hacemos en este trabajo están basadas en la didáctica de las ciencias, pero asumiendo que es un contexto compartido con otras disciplinas y que, por tanto, están influidas, en mayor o menor grado, por ellas.

Gil-Pérez y Vilches (2008) proponen dos dimensiones como aspectos deseables del saber y el saber hacer de los docentes universitarios: *a) el conocimiento en profundidad de la materia*, con énfasis en los problemas y obstáculos que han articulado su construcción histórica, en sus métodos de investigación y en las interacciones con problemas socioambientales relevantes, y *b) el diseño de programas de actividades* que promuevan un aprendizaje por investigación, resaltando la selección de problemas para trabajar en el aula, el análisis de las concepciones y obstáculos de los estudiantes, el diseño de actividades de investigación orientada y la retroalimentación del aprendizaje.

Con base en la didáctica de las ciencias, pero con un enfoque próximo a una didáctica de las disciplinas, Astolfi (2001) establece una serie de *conceptos clave* para la formación del profesorado especializado en una disciplina. Destacamos aquellos que nos parecen de mayor interés: *a) los obstáculos*, tanto los de la historia de las disciplinas como los relacionados con las dificultades de los estudiantes; *b) las concepciones de los estudiantes organizadas en niveles de formulación*, como forma de establecer *itinerarios de progresión* del aprendizaje (García-Díaz, 1998); *c) las tramas* para representar la organización de los contenidos; *d) la transposición didáctica* como proceso de transformación de los conocimientos disciplinares en *conocimientos para ser enseñados*; *e) las situaciones problemas*, con énfasis en los problemas abiertos; *f) los objetivos-obstáculos*, que centran los objetivos didácticos en la superación de los obstáculos de aprendizaje de los estudiantes, previamente diagnosticados (Martinand, 1986); *g) las actividades de investigación* como plan de trabajo en el aula; *h) el conflicto sociocognitivo* como base de las interacciones didácticas; *i) el error* como elemento consustancial al proceso de aprendizaje; y *j) el modelo didáctico* como marco de referencia para la docencia.

Teniendo en cuenta estas interesantes aportaciones de la didáctica de las ciencias, así como otras de similar orientación (Bain, 2007; Dámaris, 2001; Garmendia et al, 2014; Mellado, 1999) y nuestra propia experiencia como formadores e investigadores en el campo, este trabajo tiene como objetivo central *aportar un conjunto de visiones estratégicas para orientar la formación docente del profesorado universitario*. En los últimos diez años hemos venido poniendo en práctica dichas visiones en el marco del Programa de Formación, Innovación e Investigación Docente del Profesorado (FIDOP) (De-Alba-Fernández y Porlán, 2020; Porlán y Villarejo-Ramos, 2022) de la Universidad de Sevilla, mediante la estrategia de Ciclos de Mejora en el Aula (CIMA), en la que, de forma gradual, se experimentan cambios coherentes en los tres problemas básicos del *sistema docente* (contenidos, metodología y evaluación) (De-la-Paz, 2022; Delord et al., 2020), siguiendo el principio del *alineamiento constructivo* propuesto por Biggs y Tang (2007).

Estas visiones se irán presentando en lo que sigue como respuestas a *preguntas clave* sobre la docencia universitaria y se apoyarán en ejemplos de concepciones y obstáculos habituales entre el profesorado universitario participante en el programa FIDOP, provenientes del modelo transmisivo dominante (Gil-Pérez y Vilches, 2008; Porlán, 2020) centrado en la materia y el docente (Amundsen y Wilson, 2012).

UNA VISIÓN EPISTEMOLÓGICA, HISTÓRICA Y SOCIAL DE LA DISCIPLINA

Los primeros obstáculos que aparecen en muchos docentes en relación con la pregunta «¿qué sé sobre lo que pretendo enseñar?» están relacionados con «una visión epistemológicamente débil de la disciplina, carente de una concepción sustantiva, organizada y sistémica de la misma» (Carrascosa et al., 2001; Gil-Pérez y Vilches, 2008; Lederman et al., 2013). A la hora, por ejemplo, de pedirles que elaboren un mapa con los contenidos esenciales y las relaciones más importantes de su materia, la mayoría suele encontrar grandes dificultades para elaborar este armazón básico de la asignatura. Esto es así, en primer lugar, porque muchos docentes universitarios suelen estar focalizados en su actividad investigadora y no disponen de una visión de conjunto de la materia y de una *estructura sustantiva* sobre ella (Grossman et al., 2005), que permita identificar los núcleos organizadores y las jerarquías conceptuales. Y, en segundo lugar, porque en su formación inicial en la materia ha predominado con frecuencia lo aditivo frente a lo interactivo y la superposición de conceptos frente a la relación entre ellos.

Junto a esta visión, también aparece una *concepción estática, desproblematizada y no contextualizada* de la materia. Estática, pues no se conoce lo suficiente su dinámica histórica (García-Martínez e Izquierdo, 2014), los obstáculos epistemológicos que se han tenido que superar (Astolfi, 2001; Bachelard, 1987) y los cambios paradigmáticos sufridos (Khun, 2006). Desproblematizada, porque se obvian las preguntas clave que subyacen al proceso de construcción del conocimiento, aislándolo de los interrogantes que han provocado su emergencia. En este sentido, es muy ilustrativo observar las dificultades que tienen los participantes en el mencionado programa para identificar en un determinado concepto o teoría la pregunta relevante que trata de resolver. Por ejemplo, en el caso de los profesores de Biología, pocos son capaces de, a partir de la teoría celular, elaborar una pregunta del tipo: «¿Qué hace que una bacteria, un árbol, una ballena o un ser humano, a pesar de sus enormes diferencias, tengan la propiedad de la vida?». Y, por último, no contextualizada, porque se identifica la relativa objetividad del conocimiento disciplinar con una suerte de *aislamiento sociológico*, como si las cosmovisiones y los prejuicios propios de una época no influyeran en las personas, en los problemas y en los productos disciplinares.

En síntesis, la formación docente del profesorado universitario requiere de momentos para el abordaje y el enriquecimiento de esta visión débil de la disciplina, promoviendo en los docentes los aspectos epistemológicos (problemas clave, estructura, organización...), históricos (obstáculos, controversias, evolución...) y sociales (cosmovisiones y estereotipos, entre otros) de esta.

UNA VISIÓN DIDÁCTICA DE LOS CONTENIDOS

Centrándonos en los contenidos (Shulman, 1986), desde el punto de vista de la didáctica de las ciencias, la conversión de los conocimientos de la materia en *contenidos para ser enseñados* no consiste en una simple selección de los contenidos implicados en una asignatura concreta, sino que implica un proceso complejo de transformación didáctica, atendiendo a variables como la diversidad de tipos de contenidos (conceptos, procedimientos, valores...), la selección de los que pueden incidir mejor para que los estudiantes construyan un *esquema mental básico*, los vínculos con problemas sociales y profe-

sionales relevantes y, especialmente, las concepciones y obstáculos más frecuentes entre los estudiantes. En relación con esto, son esenciales las aportaciones sobre el *conocimiento didáctico del contenido* (Rivero et al., 2020; Shulman, 1986) y la *transposición didáctica* (Chavelard, 1985).

Teniendo en cuenta lo anterior, se presentan los obstáculos más relevantes y frecuentes en relación con la pregunta «¿qué quiero que aprendan mis estudiantes?»:

- Una *concepción simplificada de los tipos de contenidos* centrada en datos y conceptos, pero, también, en otras materias, en técnicas y procedimientos. En el primer caso, ignorando el papel de los procedimientos intelectuales, y, en el segundo, olvidando que las técnicas son siempre deudas de conceptos. En ambos casos, se ignora la dimensión ética del conocimiento, su implicación socioambiental y las actitudes propias de las disciplinas (rigor, duda razonable...).
- Una *concepción acumulativa de los contenidos* que impide distinguir lo sustancial de lo accesorio, reconociendo *los contenidos estructurantes* (Galfrascoli, 2017) que dan sentido al conjunto y los *conceptos umbral* que favorecen un cambio cualitativo en la visión de la disciplina (Meyer y Land, 2003).
- Una *concepción fragmentada*, con poco énfasis en las relaciones y en la forma de representarlas, ignorando que *todo significado se construye en la interacción* y que lo deseable es que los estudiantes dispongan de un *mapa básico de la materia* (Pineda-Alfonso y Márquez-Guerrero, 2022), más que de un recuerdo episódico de informaciones inconexas.
- Una *concepción desproblematizada y aislada de los contenidos* como consecuencia de la visión de la disciplina ya comentada, como si vinieran *dados* y no respondieran a retos, dilemas y problemas o no tuvieran conexiones con fenómenos de la realidad socioambiental, cultural y profesional.
- Una *concepción prefijada del nivel de formulación de los contenidos* (García-Díaz, 1998), sin ajuste a los modelos mentales de los estudiantes, desconociendo las aportaciones que indican que: *a)* solo hay aprendizaje significativo si existe conexión mental entre el que aprende y la nueva información (Ausubel, 1986); *b)* que la influencia de un experto en un novel solo es eficaz si se sitúa en su zona de desarrollo próximo (ZDP) (Vygotsky, 1979); y *c)* que, incluso en la universidad, hay estudiantes que operan en diferentes ámbitos con el pensamiento concreto, mientras que las disciplinas se organizan en torno a modelos abstractos.

En la figura 1 se puede observar un ejemplo de mapa con los contenidos de aprendizaje y los problemas que abordan en relación con el *arreglo pacífico de controversias* dentro del grado de Derecho, realizado por una participante en el programa FIDOP, que trata de superar algunos de los obstáculos mencionados, presentando la diversidad de contenidos existentes, destacando los más importantes, reflejando las relaciones entre ellos e incluyendo problemas clave.

En síntesis, la formación docente del profesorado universitario requiere de momentos para la reflexión sobre los contenidos, donde se identifiquen sus diferentes tipos, reconociendo los que tienen más potencial organizador y representándolos en forma de mapas que reflejen las interacciones más significativas, incluidos los problemas claves y formulados a un nivel ajustado al punto de partida de los estudiantes.

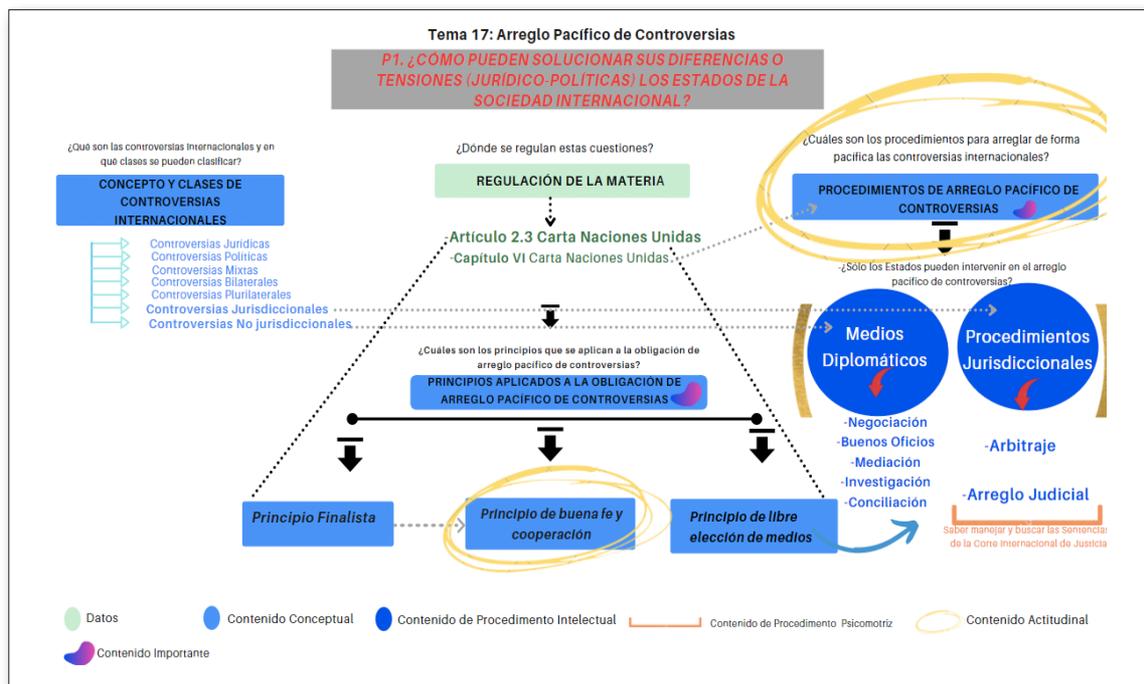


Fig. 1. Mapa de contenidos y problemas sobre el *arreglo pacífico de controversias*. Fuente: Fillol (2022).

UNA VISIÓN CONSCIENTE, FORMALIZADA Y FUNDAMENTADA DE LA METODOLOGÍA DE ENSEÑANZA

Analizaremos ahora aquellas concepciones y obstáculos relacionados con la pregunta: «¿cómo promover un buen aprendizaje en mis estudiantes?». El primer obstáculo que nos encontramos es la *ausencia de un modelo metodológico consciente*. La mayoría de los docentes universitarios no se plantean que los procesos que ocurren en el aula pueden ser modelizados desde un punto de vista formal. Esto les impide tomar conciencia de las *pautas de acción automatizadas* que guían su intervención (Porlán, 2022) y de las *teorías implícitas* que las sustentan. Aprender a modelizar la metodología permite comparar diferentes modelos y plantear estrategias de mejora tomando conciencia del *modelo real* del que se parte, formulando *un modelo ideal* como referencia y experimentando *un modelo posible* de transición, adaptado a las condiciones del contexto y del propio docente. Muchos colegas universitarios, expertos en el trabajo investigador, cuando piensan sobre la docencia lo hacen desde el pensamiento común, con tendencia a los estereotipos y a las generalizaciones poco fundamentadas (Campanario, 2003), lo que, en el ámbito de la didáctica de las ciencias, autores como Gil-Pérez y Vilches (2008) han denominado *pensamiento docente de sentido común*. Ante esto, se propone una formación que promueva la capacidad de modelización sobre la docencia con el rigor académico que le corresponde. En otras palabras, el desarrollo de lo que algunos autores denominan el *razonamiento didáctico* (Aldrin, 2012; Loughran, 2019).

En nuestra experiencia, hemos comprobado el interés que despierta en los docentes la actividad de representar gráficamente las fases o momentos de su modelo metodológico real, ideal y posible. En concreto, mediante un guion de reflexión, y después de haber analizado colectivamente cuatro tipos de modelos metodológicos (transmisivo, transmisivo con prácticas, resolución de problemas cerrados

y constructivista e investigativo) (figura 2), se les pide que representen y argumenten por escrito tres modelos: el que refleja el día a día de sus clases, el que consideran como ideal, si las circunstancias fueran favorables, y el que ven posible aplicar de manera inmediata, tratando de mejorar el real y tomando como referencia el ideal. Al hacerlo, los docentes van concienciándose de las razones implícitas de por qué hacen lo que hacen y de los cambios que pueden promover. Son frecuentes las afirmaciones del tipo: «debería hacer más actividades prácticas»; «debería dar tiempo a la participación de los estudiantes»; «podría ser interesante ponerlos a trabajar en grupos para resolver problemas». En este proceso aparecen dos obstáculos importantes. El primero lo resumimos en la expresión *la nada o el todo*; es decir, la idea de que los cambios hay que aplicarlos en su máxima expresión y de una sola vez; lo que provoca bastante inseguridad. El segundo, vinculado al contexto, lo resumimos en expresiones del tipo: «mis compañeros no van a ver bien los cambios»; «tenemos un examen común»; «los cambios requieren dedicación y tengo que publicar». La idea de que el cambio ha de ser completo y las dificultades relacionadas con el contexto en el que se encuentran tienden a bloquear el proceso de mejora. Frente a esto, una estrategia gradual (de ahí el *modelo posible*), con mejoras que impliquen un número limitado de clases (en el programa FIDOP, los dos primeros CIMA abarcan 4 y 8 horas), con tiempo para diseñar los cambios en equipo y con acompañamiento experto, abordando de forma coherente las tres variables del *sistema docente* (contenidos, metodología y evaluación), recogiendo información durante la experimentación y con tiempo para evaluar la experiencia, consigue superar esos bloqueos y que los participantes puedan diseñar, experimentar y mejorar progresivamente los modelos metodológicos que van considerando posibles. En la figura 3 vemos un ejemplo bastante cercano a un modelo de carácter constructivista e investigativo.

MODELO METODOLÓGICO								
	TRANSMISIVO	TRANSMISIVO CON PRÁCTICAS DE LOS ALUMNOS		ACTIVO, RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS CERRADOS POR LOS ALUMNOS		ACTIVO, CONSTRUCTIVISTA E INVESTIGATIVO		
	Mente en blanco o vaso vacío	Mente en blanco o vaso vacío		Ideas de los alumnos como errores a corregir		Ideas de los alumnos como concepciones alternativas que deben evolucionar		
	Lineal. Sin interferencias. De fuera a dentro del que aprende	Lineal. Sin interferencias. De fuera a dentro del que aprende		Interacción parcial		Interacción condicionada por los modelos mentales del que aprende		
CONCEPCIONES APRENDIZAJE	CONCEPCIONES COMUNICACIÓN		CONCEPCIONES CONOCIMIENTO		CONCEPCIONES CONOCIMIENTO		CONCEPCIONES CONOCIMIENTO	

Fig. 2. Tipos de modelos metodológicos y sus fundamentos. (T: teoría; P: práctica; I: introducción; S: síntesis; PR: problema; IA: ideas de los alumnos; IA1, IA2... IAn: ideas de los alumnos en el momento 1, 2...n; AC: actividad de contraste; AC1, AC2: actividad de contraste en el momento 1, 2...). Fuente: Porlán (2017)

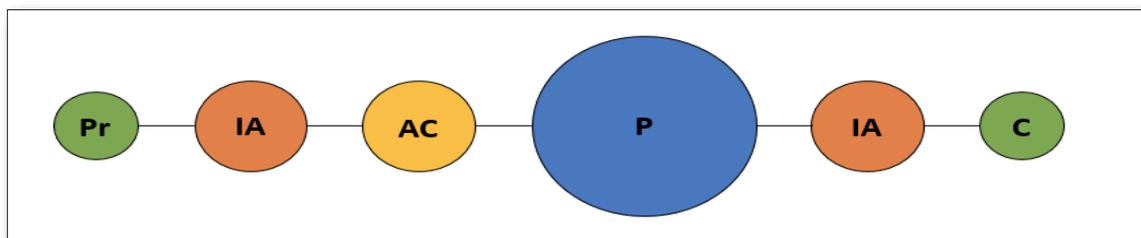


Fig. 3. Modelo metodológico posible en *Ecología II*. (Pr: problema; IA: ideas de los alumnos; AC: actividades de contraste; P: práctica; C: conclusiones). Fuente: Mesa (2022)

Otro obstáculo muy ligado a la metodología es el de *no establecer relaciones entre la manera de enseñar y una cierta teoría sobre cómo aprenden los estudiantes*. Un momento interesante del programa es cuando se plantean estas *preguntas encadenadas* (Finkel, 2008) a los participantes: «¿Cómo aprenden los estudiantes?» (atendiendo y estudiando), «¿y cómo sabemos que así aprenden?» (porque así hemos aprendido todos), «¿hay alguna disciplina que estudie el aprendizaje?» (la psicología), «¿sabemos si la psicología plantea que se aprende así?» (sin respuesta). Estas reflexiones despiertan el interés por acceder a referencias psicológicas, comenzando así un contraste consciente entre los modelos metodológicos y sus fundamentos, de ahí la conveniencia de abordar las teorías psicológicas, epistemológicas y comunicativas que sustentan los cuatro tipos de modelos de la figura 2.

En resumen, la formación docente del profesorado universitario debe tener momentos de análisis de la metodología de enseñanza para superar una visión de sentido común, adoptando una mirada rigurosa, aprendiendo a crear y aplicar gradualmente modelos metodológicos conscientes y fundamentados.

UNA VISIÓN DE LAS SECUENCIAS DE ACTIVIDADES DE ORIENTACIÓN INVESTIGATIVA

Desde la didáctica de las ciencias se ha venido planteando la necesidad de concretar la metodología en lo que Gil-Pérez y Torreglosa (1987) denominan un *programa-guía de actividades*, es decir, una secuencia que oriente, de manera flexible, el desarrollo de las sesiones del aula –y del trabajo fuera de ella– y que guarde coherencia con el modelo metodológico que se persigue (Jiménez-Liso et al., 2023; Porlán, 2017).

La pregunta central aquí es: «¿qué secuencia de trabajo, coherente con mi modelo metodológico, pondré en marcha para promover el aprendizaje de determinados contenidos?». Nos topamos aquí con la concepción implícita básica del modelo transmisivo: explicar los contenidos es la manera adecuada de promover el aprendizaje de los estudiantes. La mayoría de los docentes universitarios (también la universidad como institución) hacen una división de la enseñanza en tres momentos: el centrado en transmitir la información (*la teoría*), el dedicado a comprobar o aplicar el contenido (*la práctica*) y el dedicado a medir el aprendizaje de los estudiantes (*el examen*). En estos casos, el término *actividad* se interpreta como lo que hacen los estudiantes en las prácticas y no como la *unidad de programación* de un proceso donde se requiere que todos los participantes (docentes y estudiantes) sean *activos*.

Si en el apartado anterior el obstáculo era el poco desarrollo del pensamiento abstracto en relación con la docencia, en este el obstáculo es la dificultad para establecer una relación coherente entre lo formal (el modelo) y lo concreto (la secuencia de actividades). Es muy habitual que, una vez formulado el modelo metodológico posible, los docentes, al diseñar una secuencia de actividades, no lo tengan en cuenta. Como si se tratara de dos mundos distintos, lo formal va por un lado y lo concreto por otro, sin tomar conciencia de las contradicciones a que esto da lugar. Precisamente, es la toma de conciencia de estas contradicciones lo que ayuda a construir esquemas mentales que vinculen ambos mundos.

Hay todo un conjunto de metodologías vinculadas al aprendizaje activo del estudiante (Delord, 2020), con denominaciones y matices diferentes, pero que comparten actividades comunes (aprendizaje basado en problemas, en proyectos, en casos; aprendizaje a través de retos; aprendizaje-servicio, etc.). También las investigaciones sobre las «actividades educativas de éxito» aportan una tipología que habría de tener en cuenta (lecturas bibliográficas, estudios de casos, investigación de problemas...) (Flecha et al., 2014). En el campo de la didáctica de las ciencias cada vez hay más consenso sobre que esta base común se puede sintetizar en una «secuencia de actividades que promueva la investigación orientada de los estudiantes» (Couso et al., 2020; Delord, 2020; Porlán, 1993). La idea central es que los seres humanos poseemos los recursos necesarios para aprender significativamente en interacción con el medio y que existen potentes razones biológicas, epistemológicas, psicológicas y didácticas para tomar como referencia central para el modelo metodológico y las secuencias de actividades el *principio de investigación* (Gil-Pérez, 1993). Teniendo esto en cuenta, consideramos como *actividades esenciales* las siguientes:

- *Diagnóstico previo de los esquemas mentales y de los obstáculos de aprendizaje de los estudiantes.* La mayoría de los docentes universitarios enseñan como si los estudiantes tuvieran un mismo nivel de conocimientos y como si este coincidiera con un nivel deseable, lo que no suele ocurrir. Nos enfrentamos aquí a un obstáculo muy resistente, según el cual los contenidos no se deben ajustar a los estudiantes, sino que los estudiantes se deben adaptar al nivel de los contenidos, ignorando lo ya comentado sobre la necesidad de enseñar dentro de la ZDP para evitar un aprendizaje superficial. El diagnóstico de las ideas y obstáculos de partida es una tarea que permite dejar de enseñar desconociendo el contenido de la *caja negra* mental de los estudiantes, por lo que es posible realizar, así, un diseño de la enseñanza ajustado a su punto de partida. Existen diversas estrategias para conocer estas ideas (Cubero, 1989). Una de ellas es el uso de cuestionarios antes y después de la enseñanza que informen sobre la evolución del aprendizaje y sobre el impacto de las actividades diseñadas.
- *Actividades de presentación del asunto a investigar.* La secuencia de actividades debe comenzar con la presentación argumentada del problema o el reto que va a ser objeto de investigación. Este es el momento para conectar los argumentos académicos con cuestiones profesionales y problemas socioambientales relevantes. El asunto que se plantee ha de tener dos cualidades básicas: ser relevante en el marco de la disciplina y constituir un reto para los estudiantes.
- *Actividades para la formulación de hipótesis por los estudiantes sobre el asunto planteado (HE).* Este tipo de actividades tiene como objetivo poner al alumnado desde el principio como protagonista de la construcción del conocimiento, reconociendo sus puntos de vista (ya expresados a nivel individual en el cuestionario previo) y promoviendo el debate argumentado entre ellos para formular hipótesis sobre el asunto que se va a investigar. Esto permite al docente incrementar su conocimiento sobre sus ideas y, por tanto, ajustar mejor la secuencia de actividades ya diseñada.
- *Actividades de contraste y reformulación de las hipótesis de los estudiantes (AC).* Nos referimos a un tipo de actividades muy diverso (experiencias, lecturas, análisis de datos, observaciones de vídeos, salidas, experimentos, exposiciones del docente ajustadas al proceso reflexivo de los estudiantes...), cuyo sentido es interactuar con las hipótesis del alumnado, aplicando la idea de que el aprendizaje ocurre en el contraste entre los significados conscientemente construidos por los sujetos y otros significados externos que, estando en su ZDP, aporten el *andamiaje* adecuado para ayudar a superar los obstáculos, lo que provocará reorganizaciones en los esquemas mentales de los estudiantes (Wood et al., 1976). Se trata de crear las condiciones, desde el conocimiento experto del docente, para promover la evolución del conocimiento novel del que aprende. Todo un reto profesional que solo puede abordarse aplicando el principio de

investigación también en la actividad docente (en línea con la investigación-acción, el docente investigador, la *Lesson Study*, el movimiento SoTL...) (De-Alba-Fernández y Porlán, 2020), y adoptando los principios, hoy emergentes, de las denominadas *investigaciones basadas en diseño* (Guisasola et al., 2021).

- *Actividades de generalización y acción.* En este proceso de *aprender a enseñar* propio de la formación docente, y llegados a este punto, suelen aparecer nuevos obstáculos relacionados con una visión simple del aprendizaje. Nos referimos a la idea de que aprender es un proceso del *todo o nada* (*se sabe o no se sabe*) y de que *ocurre de una sola vez*. En la didáctica de las ciencias trabajamos desde la perspectiva de que la construcción del conocimiento es un proceso evolutivo, con saltos de diferentes grados, desde pequeños saltos cuantitativos a grandes saltos cualitativos, de manera relativamente parecida a los procesos históricos de construcción del conocimiento disciplinar (Kuhn, 2006). Desde este punto de vista, cobran importancia las actividades centradas en la *generalización del aprendizaje* a contextos diferentes al investigado, como forma de promover la capacidad de formalización de los estudiantes, al experimentar que los nuevos esquemas pueden explicar fenómenos aparentemente distintos, pero con un trasfondo común (edificios diversos, por ejemplo, comparten problemáticas constructivas comunes). También son importantes las *actividades para la acción*, pues vinculan el conocimiento disciplinar con los problemas de la sociedad, lo que nos conecta con la importancia de las actitudes, valores y emociones en el diseño de los contenidos.
- *Actividades de síntesis de los aprendizajes.* En estas actividades, los estudiantes, ayudados por el docente, deben hacer una síntesis de lo aprendido en un ejercicio metacognitivo, elaborando un producto final (por ejemplo, informes, murales, libros digitales, portafolios, documentales, tutoriales, maquetas, programas de *software*, etc.).

En relación con la organización del trabajo, para que las actividades sean efectivas y los estudiantes desarrollen sus habilidades intelectuales, es importante el diseño de guiones que incluyan *preguntas encadenadas* e instrucciones precisas que les ayuden a analizar, argumentar e hipotetizar; de modo que anoten sus debates, controversias y conclusiones (Finkel, 2008).

Por último, se debe combinar de manera adecuada el trabajo personal y en equipo, pues sin el primero no suele funcionar el segundo. Un buen trabajo en equipo debe ir más allá del mero reparto de tareas mecánicas y aditivas o de una desigual implicación de sus miembros. Es muy productivo que los equipos estén formados por alumnos con diferentes niveles según el cuestionario inicial para favorecer un *andamiaje colectivo* (Esteve, 2019). También, que elaboren sus normas de trabajo, decidan los roles que van a desempeñar y el compromiso de cada estudiante con el trabajo grupal.

En síntesis, la formación docente del profesorado universitario requiere de momentos para diseñar, aplicar y evaluar secuencias de actividades coherentes con el modelo metodológico posible, así como que estén orientadas por el principio de investigación.

UNA VISIÓN POSITIVA, ATENTA Y MEDIADORA DE LA INTERACCIÓN EN EL AULA

La interacción en el aula viene condicionada por la creencia de que todo contenido bien explicado puede ser aprendido siempre que el estudiante esté atento, tenga capacidad y dedique tiempo al estudio. Esta idea implica una práctica basada en la *no interacción*. Aflora aquí una concepción simple del aprendizaje entendido como una mera incorporación de significados externos por el que aprende. Es evidente que en determinados contextos es posible un aprendizaje basado en la escucha de un discurso externo (una conferencia sobre un asunto de interés, a la que se asiste de forma voluntaria,

con conocimientos previos sobre la temática, y con altas expectativas respecto a la autoridad que se le reconoce al o a la conferenciante). Sin embargo, es ingenuo actuar como si todo lo que se transmite llegara limpiamente al receptor, porque, incluso en una situación como la descrita, hay dos razones que lo impiden: la atención es una cualidad limitada y condicionada por múltiples factores (distractores internos o externos) y todo mensaje es reinterpretado por la estructura de significados que ya posee el sujeto. Por tanto, la ilusión de que una adecuada explicación, en un contexto reglado en el que los estudiantes permanecen pasivos durante bastantes horas con diferentes docentes, provoque aprendizaje significativo choca con variables que exigen una mirada profunda sobre la relación didáctica.

Desde la didáctica de las ciencias, con un enfoque basado en el socioconstructivismo y en el principio de investigación, se promueve una interacción basada en el reconocimiento de que los estudiantes son «seres epistémicos y expertos potenciales» capaces de generar conocimientos (Esteve, 2009; Porlán, 2018), con significados, unos conscientes y otros implícitos, desde los que interpretan el fenómeno que se va a indagar, y que, cuando se sienten reconocidos, tienden a dar lo mejor de sí mismos, ya que la dimensión emocional, vivida en positivo, juega un papel multiplicador de sus potencialidades (Couso et al., 2020; Mellado et al., 2012; Porlán et al., 2020). Este es el contexto necesario para que la interacción sea provechosa para el aprendizaje y para que los estudiantes participen espontáneamente, siendo ellos mismos, con la mente *on* o encendida, y superando el papel aprendido de situar su mente académica en el modo *off* y de centrar su atención en identificar indicadores de lo que hay que memorizar para el examen. Todo este clima no se construye de manera inmediata, pues inicialmente los estudiantes estarán expectantes por comprobar la autenticidad de la nueva propuesta. Al mismo tiempo, el aprendizaje activo requiere del desarrollo pausado de habilidades intelectuales como el trabajo colaborativo, la deliberación, la modelización, la argumentación, etc. El cambio de rol de los estudiantes, su confianza en el proyecto y el desarrollo de las nuevas habilidades requieren de tiempo y experiencia para que se consoliden, haciéndose irreversibles.

Uno de los aprendizajes más importantes para favorecer este modelo de interacción constructiva tiene que ver con que el docente sea consciente durante la intervención de los *objetivos-obstáculos* (Martinand, 1986) y de los *principios didácticos* que guían su intervención (Porlán, 2017). En la acción, tendemos a activar las *rutinas automatizadas* (Porlán, 2022) que aprendimos cuando éramos estudiantes. Estas rutinas, además, son coherentes con el modelo docente dominante, que las refuerza; por lo que es necesario, en la acción, un ejercicio de síntesis que concentre los obstáculos fundamentales que hay que tener presentes en la interacción y los principios (pocos y bien contruidos) que organizan nuestro modelo docente. Al mismo tiempo, es necesario desarrollar una *observación atenta* que permita seleccionar aquello que favorece una interacción constructiva. En el caso de las actividades tipo HE, para comprender mejor las concepciones y obstáculos de los estudiantes, y en las de tipo AC, para encadenar interrogantes que promuevan saltos reflexivos (Finkel, 2008), aportando datos y argumentos que confirmen o contradigan las posiciones de los estudiantes.

En resumen, la formación docente universitaria requiere de momentos para cuestionar la interacción didáctica habitual y reconstruirla poniendo el énfasis en una comunicación multidireccional, en la que los estudiantes se expresen libremente, abandonando su distanciamiento pasivo e implicándose en un clima de confianza y respeto, y en la que el docente aporte el andamiaje necesario para un aprendizaje profundo.

UNA VISIÓN EVOLUTIVA, FORMATIVA Y PARTICIPATIVA DE LA EVALUACIÓN

En relación con las preguntas básicas sobre la evaluación («¿cómo me informo sobre el aprendizaje de mis estudiantes?», «¿para qué uso dicha información?», «¿solo debo evaluar a los estudiantes?») y «¿cuál es su papel en la evaluación?», aparecen también obstáculos en el profesorado instalado en las prácticas convencionales. Uno de los más importantes es que lo relevante es averiguar lo que los estudiantes saben al final con un examen, para poder calificar lo aprendido, participando en este proceso únicamente el docente. Sin embargo, esta visión restringida ha sido cuestionada desde la didáctica de las ciencias con enfoques centrados en el proceso, en la participación y en la retroalimentación formativa (Alonso et al., 1996; Porlán, 2017) bajo el principio de *evaluar para el aprendizaje* y no solo *evaluar el aprendizaje* (Sanmartí, 2007). Esta visión alternativa se enfrenta al obstáculo ya mencionado de que *el aprendizaje funciona desde la nada al todo*, ignorando la gradualidad y la conflictividad inherente a todo proceso de construcción de conocimientos, plagado de dificultades y errores (Astolfi, 1999). La adopción de esta perspectiva tiene grandes ventajas: promueve un papel activo en los alumnos e impulsa su capacidad de autorregulación; amplía la visión de la evaluación, incluyendo el diseño didáctico y el docente (Pérez-Robles y Delord, 2022); fomenta unas relaciones bidireccionales que enriquecen el proceso y, quizás lo más importante, fomenta la comprensión de los contenidos frente a su memorización mecánica.

Profundizando más, y teniendo en cuenta asuntos ya planteados, la evaluación debe empezar por el diagnóstico de las ideas y obstáculos iniciales de los estudiantes relativos al asunto que se va a investigar (Porlán y Villarejo-Ramos, 2022) para poder formular los objetivos de aprendizaje, es decir los *objetivos-obstáculos* (Martinand, 1986), y, al mismo tiempo, implicar desde el principio al alumnado. Debe continuar con un seguimiento de dichas ideas durante y al final del proceso, dando lugar a *itinerarios de aprendizaje* (Duschl et al., 2011; Rivero et al., 2011). En nuestro caso, nos proponemos realizar este análisis inicial a través de un cuestionario que indague las ideas espontáneas de los estudiantes, representando los diversos patrones de respuestas a cada pregunta, así como su frecuencia, en forma de «escalera de aprendizaje y evaluación» (Müller y Schmalenbach, 2016; Porlán, 2017), donde cada escalón refleja un patrón de respuesta e incluye el número de alumnos que se sitúan en él, y cada salto entre escalones indica el obstáculo que se ha de superar; de esta manera, el docente puede seleccionar los problemas que afectan a la mayoría de los estudiantes, adaptando su diseño y actuación docente para estos y promoviendo experiencias, en el marco de las *actividades de contraste*, que les permitan alcanzar un nivel más alto de conocimientos (figura 4). Durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, el docente debe realizar un seguimiento *micro* mediante la observación atenta en el aula, el análisis de sus producciones y un diario reflexivo, para así ir haciendo un *ajuste continuo* entre las actividades diseñadas y la evolución de los estudiantes, además de para retroalimentarlos adecuadamente y favorecer así su progresión.

Se han venido experimentando diversos instrumentos para reflejar de manera individual y en equipo los momentos intermedios y finales del aprendizaje; nos referimos, en concreto, a informes de investigación, fichas de lecturas, guiones de trabajo, mapas, portafolios, productos finales, etc.

Por último, podemos volver a pasar el cuestionario y comparar las escaleras iniciales y finales, obteniendo indicios rigurosos sobre la evolución de cada estudiante. En la figura 4 se presenta un ejemplo de escalera de aprendizaje y evaluación en relación con una de las preguntas de un cuestionario inicial/final sobre volumetría. En fondo verde se describen los cuatro tipos de respuestas, ordenadas de menor a mayor complejidad. Con un encuadre azul se indica el número de estudiantes que responden cada tipo de respuestas antes y después de la enseñanza; en amarillo, los obstáculos de aprendizaje y, finalmente, en fondo gris, una reflexión del docente sobre el papel que ha jugado una determinada actividad de contraste (la observación de un vídeo sin sonido) en la superación por parte de los estudiantes del obstáculo intermedio.

Como jefe de I+D+i de la empresa de zumos Juver te han pedido que desarrolles un nuevo zumo de limón. Deberás tener en cuenta en su composición una serie de variables, ¿cómo se miden para garantizar el resultado esperado?

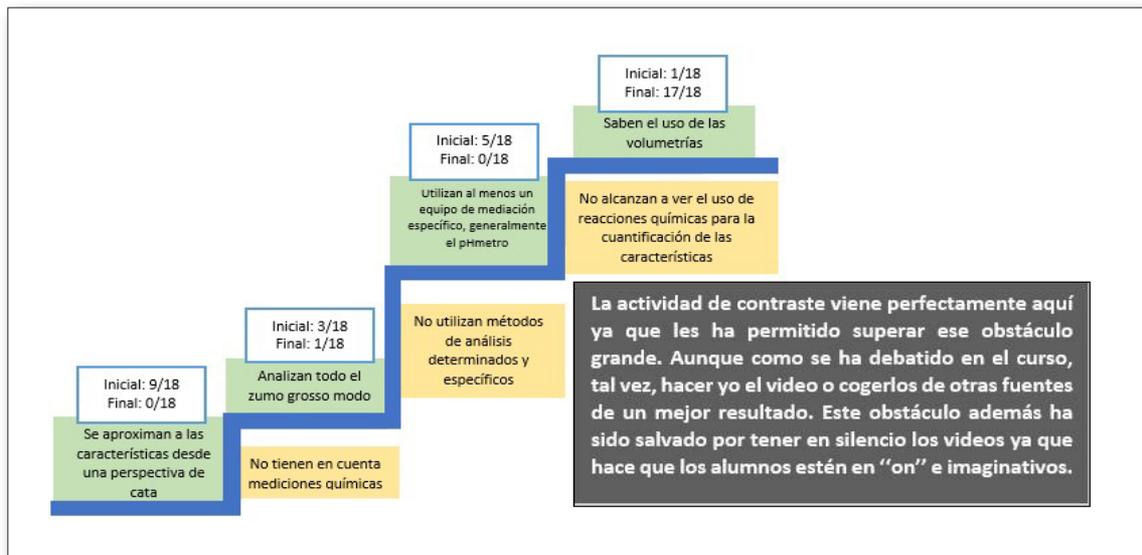


Fig. 4. Escalera de aprendizaje y evaluación inicial/final de una de las preguntas de un cuestionario sobre volumetría. Fuente: Díaz (2023).

A diferencia de la evaluación basada en pruebas finales, un enfoque evolutivo como el descrito, al basarse en una retroalimentación frecuente, favorece que los estudiantes reflexionen sobre su aprendizaje, identifiquen sus debilidades y establezcan sus propias metas, fomentando su autonomía, responsabilidad y compromiso, lo que debe venir acompañado de una visión también progresiva de la calificación, convirtiéndola en una aliada y no en un impedimento. En el caso del programa FIDOP, se promueven dos fases para modificar el papel de la calificación. En la primera, la calificación final no es solo el resultado de una única prueba, frecuentemente memorística, sino que se combina con las puntuaciones obtenidas por medio de diferentes tareas, pero evitando que su resolución quede reducida a un proceso formal y mecánico. En la segunda etapa, vinculada ya a un modelo basado en la investigación de los estudiantes, son los informes de investigación, los estudios de casos, los proyectos, etc., los que son objeto de evaluación formativa y retroalimentación, otorgándoles también la puntuación que se considere adecuada, pero susceptibles de ser mejorados, y por tanto mejor valorados, hasta el final del curso.

Cuando se promueve una cultura en la que el *error* es un paso natural en el aprendizaje (Astolfi, 1999), como un peldaño de la escalera, se crea un ambiente seguro para que los estudiantes asuman riesgos y se enfrenten a desafíos. Para ello, los docentes desempeñan un papel fundamental al fomentar una mentalidad alentadora y positiva y al brindar retroalimentación que ayude a los estudiantes a comprender y superar sus errores.

Por último, desde un punto de vista también investigativo de la mejora docente, el análisis de la evolución del aprendizaje de los estudiantes, la identificación de sus obstáculos y errores, el diseño de actividades de contraste para ayudarles a superarlos, el análisis de su impacto real y la participación de los estudiantes con sus puntos de vista son factores que aportan información significativa para mejorar el diseño didáctico y la actuación propia, en una dinámica cíclica basada en el diseño, la experimentación y la evaluación de las experiencias del aula (lo que denominamos *ciclos de mejora en el aula*), que se torna formativa también para el docente.

En suma, la formación docente del profesorado universitario requiere de momentos para el cuestionamiento, la reflexión y el diseño sobre la evaluación, con el fin de promover una visión evolutiva, formativa y participativa de esta que ayude a que los estudiantes tomen el control de su aprendizaje y a que los docentes mejoren su diseño y su intervención profesional.

CONCLUSIONES

En este trabajo nos hemos planteado proponer un conjunto de visiones estratégicas basadas en la didáctica de las ciencias para orientar la formación docente del profesorado universitario. A modo de síntesis, y poniendo en relación dichas visiones, podemos decir que la formación ha de desarrollar en los docentes una visión más epistemológica, histórica y social de su disciplina, con su correspondiente influencia en la formulación de los contenidos, en el sentido de concebirlos de manera más sistémica, problematizada y vinculada a la realidad. Ambas cuestiones deben complementarse con una concepción fundamentada sobre la metodología docente y sus fases, que debe estar basada en reflexiones y decisiones conscientes y argumentadas, orientadas por un modelo centrado en la actividad del estudiante y que, en cada caso, debe contextualizarse en secuencias de actividades de orientación investigativa, emulando los métodos y procedimientos propios de la disciplina en particular. Por último, la formación docente también debe promover una manera de entender la comunicación más multidireccional, constructiva y argumentativa en el aula, así como una concepción de la evaluación más centrada en el aprendizaje con una retroalimentación continua.

Estas visiones, que afectan a los contenidos, la metodología y la evaluación, comparten entre sí algunos *metaconocimientos didácticos* (Astolfi, 2001) a los que hemos ido aludiendo a lo largo del texto: *a)* la idea de *obstáculo* como indicador de la evolución histórica de la disciplina, pero también de las dificultades de aprendizaje de los estudiantes y de los docentes en formación, y como guías para un *andamiaje* (didáctico o formativo) bien ajustado (Martinand, 1986); *b)* los *modelos* como artefacto cognitivo formal que permiten interpretar la realidad más allá del conocimiento común, tanto por los estudiantes, al trabajar con problemas de investigación, como por los docentes, al abordar la mejora de su enseñanza; *c)* los *problemas clave* (proyectos, casos...) como la variable que activa la mente y los intereses de los sujetos (estudiantes o docentes), que los retan a investigarlos y a implicarse, y, en ese proceso, a construir gradualmente el conocimiento; *d)* la *interacción* y el *contraste argumentado* como una dimensión fundamental para el aprendizaje de estudiantes y docentes, pues es desde la confrontación consciente y reflexiva entre las ideas propias e ideas e informaciones externas como se alcanza un aprendizaje profundo, y *e)* la *investigación y evolución* como principios que van más allá de las visiones simples, reproductivas y estáticas del desarrollo humano.

Por último, veamos brevemente algunas implicaciones de todo lo anterior en cuanto a los programas de formación docente universitaria: la formación basada exclusivamente en una oferta indiscriminada de cursos de corta duración y sin vinculación con la práctica real de los participantes genera muy poco aprendizaje docente, pues el desarrollo de una perspectiva como la aquí descrita es un proceso complejo y difícil y abarca cambios mentales y conductuales lentos y graduales. Por tanto, los programas de formación docente deben incorporar líneas de actuación a medio plazo centradas en la práctica docente y en el aula mediante la constitución de equipos de docentes para la formación e innovación, con el asesoramiento de formadores expertos y con calidad docente reconocida, que realicen ciclos de mejora progresivos hasta cambiar el conjunto de su docencia.

Por otro lado, la creencia implícita en la mayoría de los programas de formación, según la cual la mejora docente es un asunto exclusivamente metodológico –cuando no del dominio de las nuevas tecnologías y los medios digitales, obviando el papel trascendental que una visión epistemológica y

didáctica sobre los contenidos tiene en la enseñanza—, es otro factor que influye en la poca incidencia real de muchas propuestas de formación.

En definitiva, el cambio y la mejora de los docentes universitarios no es un proceso simple que se pueda solventar solo transmitiendo información sobre nuevos enfoques técnicos y metodológicos, sino que requiere la construcción consciente de un *modelo didáctico global*, que aborde de forma integrada los contenidos, la metodología y la evaluación, y que promueva, además, una práctica docente coherente con él. No es un proceso fácil, pero sí necesario y posible, al menos según nuestra experiencia en el programa FIDOP.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo es el resultado parcial del Proyecto de Investigación 75604-P, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad. También es parte de la tesis doctoral de uno de los autores.

REFERENCIAS

- Aldrin, V. (2012). *Didactic Reasoning in Academic Teacher Development: Towards a New Understanding of Teacher Training for Academics*. Göteborgs Universitet.
- Alonso, M., Gil-Pérez, D. y Martínez-Torregrosa, J. (1996). Evaluar no es calificar. La evaluación y la calificación en una enseñanza constructivista de la ciencia. *Investigación en la Escuela*, 30, 15-26. <https://doi.org/10.12795/IE.1996.i30.02>
- Amundsen, C. y Wilson, M. (2012). Are we asking the right questions? A conceptual review of educational development in higher education. *Review of Educational Research*, 82(1), 90-126. <https://doi.org/10.3102/0034654312438409>
- Astolfi, J. P. (1999). *El «error», un medio para enseñar*. Díada.
- Astolfi, J. P. (2001). *Conceptos clave en la Didáctica de las Disciplinas*. Díada.
- Ausubel, P. (1986). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. Trillas.
- Bain, K. (2007). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- Bachelard, G. (1987). *La formación del espíritu científico*. Siglo XXI.
- Biggs, J. y Tang, C. (2007). *Teaching for Quality Learning at University*. SRHE / Open University Press.
- Bolívar, A. (2005). Conocimiento didáctico del contenido y Didácticas Específicas. *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado*, 9(2), 1-39. <https://www.ugr.es/~recfpro/rev92ART6.pdf>
- Campanario, J. M. (2003). Contra algunas concepciones y prejuicios comunes de los profesores universitarios de ciencias sobre la Didáctica de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(2), 319-328. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21939>
- Carrascosa, J., Gil-Pérez, D. y Fernández-Montoro, I. (2001). Hacia una imagen no deformada de la actividad científica. *ENDOXA*, 1(14), 228-260. <https://doi.org/10.5944/endoxa.14.2001.5026>
- Couso, D., Jiménez-Liso, M. R., Refojo, C. y Sacristán, J. A. (2020) (Coords.). *Enseñando ciencia con ciencia*. FECIT / Fundación Lilly. Penguin Random House.
- Cubero, R. (1989). *Cómo trabajar con las ideas de los alumnos*. Díada.
- Chalmer, D. y Gardiner, D. (2015). An evaluation framework for identifying the effectiveness and impact of academic teacher development programmes. *Studies in Educational Evaluation*, 46, 81-91. <http://dx.doi.org/10.1016/j.stueduc.2015.02.002>

- Chevalard, Y. (1985). *La transposition didactique: Du savoir savant au savoir enseigné*. La Pensée Sauvage.
- Dámaris, H. (2001). La didáctica universitaria: una alternativa para transformar la enseñanza. *Acción Pedagógica*, 10(1 y 2), 64-72.
- De-Alba-Fernández, N. y Porlán, R. (2020) (Coords.). *Docentes universitarios. Una formación centrada en la práctica*. Morata.
- De Ketele, J. M. (2003). La formación didáctica y pedagógica de los profesores universitarios. *Revista de Educación*, 331, 143-169.
- De-la-Paz, C. (2022). Para innovar piensa en círculos. *Cuadernos de Pedagogía*, 535, 1-6.
- Delord, G. (2020). *Investigar en la clase de ciencias*. Morata.
- Delord, G. (2022). Ciclo de Mejora en Didáctica de las Ciencias Experimentales. En R. Porlán y A. F. Villarejo-Ramos (Coords.), *Ciclos de Mejora en el Aula. Año 2021: Experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla* (pp. 1097-1112). Editorial de la Universidad de Sevilla.
<http://dx.doi.org/10.12795/9788447222865>
- Delord, G., Hamed, S., Porlán, R. y De Alba (2020). Los Ciclos de Mejora en el Aula. En N. De-Alba-Fernández y R. Porlán (Coords.), *Docentes universitarios. Una formación centrada en la práctica* (pp. 127-162). Morata.
- Delord, G. y Pérez-Robles, A. (2022). Investigando el aprendizaje de los estudiantes de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Modelo tradicional versus Modelo investigativo. En R. Porlán y A. F. Villarejo-Ramos (Coords.), *Aprendizaje universitario. Resultados de investigaciones para mejorarlo* (pp. 170-172). Morata.
- Díaz, J. (2023). *Portafolios del Curso General de Docencia Universitaria*. Programa FIDOP.
- Duschl, R., Maeng, S. y Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: a review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123-182.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2011.604476>
- Esteve, O. (2019). La interacción, un proceso que implica conversar. *Cuadernos de Pedagogía*, 391, 56-59. https://repositori.upf.edu/bitstream/handle/10230/27249/Esteve_cp_int.pdf?sequence
- Flecha, R., Racionero, S., Tintoré, M. y Arbós, A. (2014). Actuaciones de Éxito en la Universidad. Hacia la Excelencia Tomando las Mejores Universidades como Modelo. *Multidisciplinar Journal of Educational Research*, 4(2), 131-150.
<http://dx.doi.org/10.4471/remie.2014.08>
- Fillol, A. (2022). El aprendizaje del arreglo pacífico de controversias y el control del uso de la fuerza en Derecho Internacional a través de un modelo metodológico basado en la reelaboración de las ideas de los estudiantes. En R. Porlán y A. F. Villarejo-Ramos (Coords.), *Ciclos de Mejora en el Aula. Año 2021: Experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla* (pp. 729-748). Editorial de la Universidad de Sevilla.
<http://dx.doi.org/10.12795/9788447222865.040>
- Finkel, D. L. (2008). *Dar clases con la boca cerrada*. Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- Galfrascoli, A. (2017). Conceptos estructurantes: Reflexiones teóricas y propuestas prácticas para organizar la enseñanza de las ciencias. *Bio-grafía*, 10(19), 179-191.
<https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.10.num19-7232>
- García-Díaz, J. E. (1998). *El conocimiento escolar. Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*. Díada.
- García-Martínez, A. e Izquierdo, M. (2014). Contribución de la Historia de las Ciencias al desarrollo profesional de docentes universitarios. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 265-281.
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.758>

- Garmendia, M., Barragués, J. I., Zuza, K. y Guisasola, G. (2014). Proyecto de formación del profesorado universitario de Ciencias, Matemáticas y Tecnología, en las metodologías de Aprendizaje Basado en Problemas y Proyectos. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(2), 113-129. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.911>
- Gil-Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21204/93254>
- Gil-Pérez, D. y Martínez-Torregrosa, J. (1987). Los programas guía de actividades. Una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 3, 3-12. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/59096/Los%20programas-gu%c3%ada%20de%20actividades.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gil-Pérez, D. y Vilches, A. (2008) ¿Qué deben saber y saber hacer los profesores universitarios? En *Novos enfoques no ensino universitario* (pp. 25-43). Universidad de Vigo. https://www.researchgate.net/publication/292103137_Que_deben_saber_e_saber_hacer_os_profesores_universitarios
- Grossman, P. L., Wilson, S. M. y Shulman, L. S. (2005). Profesores de sustancia: el conocimiento de la materia para la enseñanza. *Profesorado. Revista de currículum y formación de profesores*, 9(2), 1-25. <https://www.ugr.es/~recfpro/rev92ART2.pdf>
- Guisasola, J., Ametller, J. y Zuza, K. (2021). Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Eureka*, 18(1), 1801. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801
- Ibarra, G. (2023). Atributos de la buena enseñanza universitaria. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 13(6). <https://doi.org/10.23913/ride.v13i26.1491>
- Jiménez-Liso, R., Martínez, M. y López-Gay, R. (2023). Cómo enseñar a diseñar Secuencias de Actividades de Ciencias: Principios, elementos y herramientas de diseño. *Eureka*, 20(3). <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/9812>
- Kuhn, T. S. (2006). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica.
- Lederman, N. G., Lederman, J. S. y Antink, A. (2013). Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy. *Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 1(3), 138-147. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED543992.pdf>
- Loughran, J. (2019). Pedagogical reasoning: the foundation of the professional knowledge of teaching. *Teachers and Teaching*, 25, 523-535. <https://doi.org/10.1080/13540602.2019.1633294>
- Martinand, J. L. (1986). *Connaître et transformer la matière, des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. P. Lang.
- Martínez, M. (2022). Análisis e identificación de las modalidades de formación de mayor impacto en el aprendizaje de los profesores universitarios. *Revista Estudios Psicológicos*, 2(3), 87-102. <https://estudiospsicologicos.com/index.php/rep/article/view/70>
- Mellado, V. (1999). La formación didáctica del profesorado universitario de ciencias experimentales. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 34, 231-241. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=118017>
- Mellado, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V., Dávila, M. A., Cañada, F. et al. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 11-36. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1478>

- Mesa, J. (2022). Mejora docente en el Grado de Biología para aprender a caracterizar ecosistemas acuáticos. En R. Porlán y A. F. Villarejo-Ramos (Coords.), *Ciclos de Mejora en el Aula. Año 2021: Experiencias de innovación docente de la Universidad de Sevilla* (pp. 345-360). Editorial de la Universidad de Sevilla.
<http://dx.doi.org/10.12795/9788447222865.019>
- Meyer, J. H. F. y Land, R. (2003). Threshold concepts and troublesome knowledge: linkages to ways of thinking and practicing. En C. Rust (Ed.), *Improving Student Learning-Theory and Practice Ten Years On* (pp. 412-424). Oxford Centre for Staff and Learning Development (OCSLD).
- Müller, T. y Schmalenbach, C. (2016). Escaleras de aprendizaje: Enseñando con la metodología MultiGradoMultiNivel. *Revista Diálogos*, 18, 47-56. <http://hdl.handle.net/11715/1258>
- Pérez-Robles, A. y Delord, G. (2022). Aplicación del cuestionario C-RENOVES a estudiantes universitarios de asignaturas CTS. En R. Porlán y A. F. Villarejo-Ramos (Coords.), *Aprendizaje universitario. Resultados de investigaciones para mejorarlo* (pp. 201-221). Morata.
- Pineda-Alfonso, J. A. y Márquez-Guerrero, C. (2022). La docencia universitaria y la concepción de los contenidos. *Revista Complutense de Educación*, 33(4), 611-622.
<https://dx.doi.org/10.5209/rced.76364>
- Porlán, R. (2017) (Coord.). *Enseñanza universitaria. Cómo mejorarla*. Morata.
- Porlán, R. (2018). Didáctica de las Ciencias con Conciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(3), 5-22.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2795>
- Porlán, R. (2020). El cambio de la enseñanza y el aprendizaje en tiempos de pandemia. *Revista de Educación ambiental y sostenibilidad*, 2(1), 1502.
https://doi.org/10.25267/Rev_educ_ambient_sostenibilidad.2020.v2.i1.1502
- Porlán, R. (2022). Automatismos y conciencia: claves para la formación docente en la universidad. *Márgenes, Revista de Educación de la Universidad de Málaga*, 3(3), 45-54.
<http://dx.doi.org/10.24310/mgnmar.v3i3.15118>
- Porlán, R., Delord, G., Hamed, S y Rivero, A. (2020). El cambio de las concepciones y emociones sobre la enseñanza a través de ciclos de mejora en el aula: un estudio con profesores universitarios de ciencias. *Formación universitaria*, 13(4), 183-200.
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062020000400183>
- Porlán, R. y Villarejo-Ramos, A. F. (2022) (Coords.). *Aprendizaje universitario. Resultados de investigaciones para mejorarlo*. Morata.
- Rivero, A., Azcárate, P., Porlán, R., Martín-del-Pozo, R. y Harres, J. (2011). The Progression of Prospective Primary Teachers' Conceptions of the Methodology of Teaching. *Research in Science Education*, 41, 739-769.
<https://doi.org/10.1007/s11165-010-9188-z>
- Rivero, A., Hamed, S., Delord, G. y Porlán, R. (2020). Las concepciones de docentes universitarios de ciencias sobre los contenidos. *Enseñanza de las Ciencias*, 38(3), 15-35.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2845>
- Sanmartí, N. (2007). *10 ideas claves. Evaluar para aprender*. Graó
- Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Vigotsky, L. S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Crítica.
- Wood, D., Bruner J. y Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17, 89-100.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>
- Zabalza, M. (2011). Nuevos enfoques para la Didáctica Universitaria actual. *Perspectiva*, 29(2), 387-416.
<https://doi.org/10.5007/2175-795X.2011v29n2p387>

Scientific Education and Teaching Training of University Teachers

Rafael Porlán, Antonio Pérez-Robles, Gabriela Delord

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Universidad de Sevilla. Sevilla. España.

rporlan@us.es, tonperrob@gmail.com, gcattani1@us.es

This article presents a set of *strategic insights* to guide the teaching training of university teachers, based on the contributions of science didactics. These insights have been incorporated into the Teacher Training, Innovation and Teaching Research Program (FIDOP, in the Spanish acronym) of the University of Seville, drawing on the experimentation of classroom improvement cycles (or CIMA, in Spanish) made by the participants. Such insights are presented in this article as answers to key questions about teaching and are supported by the analysis of common examples and conceptions amongst university lecturers and professors. These appreciations are presented below.

An epistemological, historical, and social vision of the discipline, as compared to an epistemologically weak vision, lacking a structured, evolutionary, and contextualized conception.

A didactic vision of the contents, in comparison with a cumulative, fragmented, de-problematized and static view of the matter, which does not take into consideration the mental schemas used by students nor their learning obstacles.

A conscious, formalized and founded vision of teaching methodology, compared to *common sense teaching thinking*, which is based on automated action guidelines derived from tradition.

A vision of investigative and theoretical-practical orientative activities, in contrast to the classic dissociation of teaching into theoretical explanation and practical classes.

A multidirectional, mediating, and attentive vision of classroom interaction, compared with a simple and unidirectional conception of it, the latter based on the idea that learning only requires *the incorporation of external concepts in the mind of the learner*.

A processual, formative, and participatory vision of evaluation as a continuous adjustment between teaching and learning, in comparison to a conception of the final grade, which is quantitative and focuses only on the student.

These insights, which impact the contents, the methodology and the evaluation, share the following *didactic meta-knowledge* concepts, as referred to throughout the article: a) the idea of *obstacles* as an indicator not only of the historical evolution of the discipline, but also of the learning difficulties of students and teachers in training, and that serve as guides for a well-adjusted *scaffolding* (didactic or training); b) *models* considered as a formal cognitive tool allowing reality to be interpreted beyond common knowledge, both by students, when working with research problems, and by teachers, when addressing their approach to teaching; c) the *key problems* (projects, cases...) as the variable that triggers the interest of the subjects (students or teachers), challenging them to investigate further and, in that process, to gradually build knowledge; d) *the interaction and argued contrast* as a fundamental dimension for the learning of students and teachers, since it is from the conscious and reflective confrontation between one's own and external ideas and information that deep learning is achieved, and e) *the ideas of research and evolution* as principles that overcome simple, reproductive and static visions of human development.

This article draws two conclusions in relation to university teacher training programs: a) they must incorporate medium-term lines of action focusing on practice and the classroom, since the development of a perspective such as the one described here is a complex process that implies steady mental and behavioral changes, which an indiscriminate offer of short-term courses without links to real practice for participants cannot address; b) teaching improvement is not an exclusively methodological issue, nor should it be focused only on the mastery of new technologies, since an epistemological and didactic vision of the contents and a conception of evaluation such as the one described here is required for a sustainable improvement.



Estudio de emociones en un proceso de ruptura cognitiva a través del reconocimiento facial

Study of Emotions in a Cognitive Breakthrough Process Through Facial Recognition

Ángel Ezquerra, Sonia Pamplona, Amalia Casas-Mas, Iván Nieto-Gómez
*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas Facultad de Educación – CFP,
Universidad Complutense de Madrid, España*
angelezq@ucm.es, spamplon@ucm.es, amacasas@ucm.es, ivnieto@ucm.es

RESUMEN • Las emociones que se producen en los procesos de enseñanza-aprendizaje en ciencias experimentales presentan cuestiones todavía por resolver. En este artículo, hemos utilizado un método paramétrico que usa el reconocimiento facial y permite identificar las emociones en tiempo real y vincularlas con acciones educativas concretas. Se diseñó una actividad para hacer aflorar las emociones en un proceso en el que las conjeturas iniciales colisionaban con los hechos. El análisis muestra cambios muy intensos en las expresiones emocionales de los estudiantes y la existencia de tres tipos de comportamiento frente a esta disonancia entre previsiones y observación: 1) sorpresa; 2) disgusto; y 3) solapamiento de sorpresa y disgusto. Parece especialmente interesante considerar qué emociones específicas genera cada situación de aprendizaje para cada individuo.

PALABRAS CLAVE: Reconocimiento facial de expresiones; Emociones; Inteligencia artificial; Cambio conceptual cálido; Ruptura cognitiva.

ABSTRACT • The emotions that arise in the processes of teaching and learning in experimental sciences still pose unresolved questions. In this article, we have employed a parametric method that utilizes facial recognition, allowing the real-time identification of emotions and their linkage to specific educational actions. An activity was designed to elicit emotions in a process where initial conjectures collided with facts. The analysis reveals highly intense changes in students' emotional expressions and the existence of three types of behavior in the face of this dissonance between predictions and observation: 1) surprise; 2) anger; and 3) overlapping of surprise and anger. It seems particularly interesting to consider the specific emotions each learning situation generates for each individual.

KEYWORDS: Facial emotion recognition (FER); Emotions; Artificial intelligence; Hot conceptual change; Cognitive breakthrough.

Recepción: junio 2023 • Aceptación: noviembre 2023 • Publicación: marzo 2024

INTRODUCCIÓN

Las representaciones mentales que elaboramos los seres humanos sobre el mundo son objeto de la psicología cognitiva desde la década de los setenta del siglo pasado. Los hallazgos cobraron especial interés en ciencias cuando los profesores constataron que sus estudiantes tenían ideas previas sobre el comportamiento de la naturaleza que «necesitaban borrar». Parecía que estas concepciones alternativas dificultaban el desarrollo de conceptos más elaborados y fundamentados (Driver y Easley, 1978; McCloskey, 1983; Viennot, 1979). Sin embargo, la comprensión de su estructura y funcionalidad hizo que se considerara más adecuada su transformación que su completa supresión (Murphy y Alexander, 2008; Pozo y Carretero, 1987; Vosniadou et al., 2008). Se observó que estas ideas parecían ser implícitas y tener un carácter pragmático (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Schnotz et al., 1999), ser muy resistentes al cambio (Driver et al., 1985) y estar muy desconectadas entre sí, o no presentar congruencia interna. Parece que esto es así debido a que estas ideas surgen para dar respuesta inmediata a hechos experienciales específicos. No son contrastadas y se forman sin una reflexión o aplicación fuera del entorno en el que aparecieron (Taber, 2017).

La modificación de las concepciones alternativas resulta ser una tarea de gran dificultad que requiere poner en marcha una transformación paulatina y cualitativa de la estructura cognitiva, del mapa conceptual que utiliza el individuo para entender y operar en el entorno que le rodea (Novak y Mintzes, 1988). Cuando se produce una transformación de las concepciones previas se habla de *cambio conceptual* (Posner et al., 1982; Vosniadou, 2008).

Del cambio conceptual frío al cálido

El cambio conceptual es un proceso complejo que no se lleva a cabo fácilmente (Duit, 1999). En un primer momento, el cambio conceptual se definió como una transformación estructural y, por tanto, general, en las operaciones cognitivas que el individuo podía llevar a cabo. Este modelo piagetiano del proceso de transformación implicaría el desarrollo de cambios cualitativos en las capacidades del individuo (Piaget y García, 1973; Pozo et al., 1992).

Estudios posteriores, centrados en la estructura cognitiva –o en la vinculación entre las concepciones–, consideraron que los modelos de enseñanza debían procurar el cambio conceptual poniendo el foco en los conocimientos y no tanto en las operaciones formales (West y Pines, 1985). Posiciones intermedias entre la generalidad y la especificidad se han desarrollado *a posteriori*, entrando en juego un nuevo factor: los componentes afectivos ligados a estos procesos de cambio. Estos se consideraron elementos relevantes en el aprendizaje hace ya tres décadas (McLeod, 1992; Mellado Jiménez et al., 2014).

El término *hot cognition* (o *cambio conceptual cálido*) (Pintrich et al., 1993) surgió para diferenciarse de las aproximaciones «frías», que solo consideraban cambios en las estructuras de conocimiento. Desde esta perspectiva, se creyó pertinente añadir la intencionalidad, el interés, los valores y las emociones. Estos elementos son esenciales en el proceso de cambio conceptual (Dolan, 2002; Matusovich y McCord, 2012). Así, se supuso que los estudiantes elaboran mapas conceptuales sobre la realidad y los utilizan para interpretar el mundo. Si en un momento determinado los hechos no encajan con un mapa, se produce una disonancia cognitiva. Si esta es muy brusca, podemos denominarla *ruptura cognitiva*. Con todo, las emociones que acompañan a estos cambios bruscos en los mapas conceptuales aún no han sido suficientemente investigadas.

En la enseñanza de las ciencias, la importancia de integrar las emociones se ha estudiado en relación con: *a*) los contenidos escolares concretos (Física, Química, Biología, Geología, etc.) (Laukenmann et al., 2003; Marcos-Merino, 2019); *b*) la formación inicial y permanente del profesorado (Bellocchi,

2019; Jeong et al., 2016; Lombardi y Sinatra, 2013); *c*) los recuerdos sobre la formación científica recibida (Borrachero et al., 2014); *d*) las preferencias entre asignaturas (Dávila-Acedo et al., 2021); *e*) la percepción pública de la ciencia (Fernández-Carro et al., 2022; Delors, 1996; Tytler y Osborne, 2012; Vázquez Alonso y Manassero Mas, 2009); *f*) las interacciones producidas en el aula (Bellocchi y Ritchie, 2015); y *g*) los distintos tipos de actividades de aprendizaje (Fredricks, 2011; Sinatra y Taasobshirazi, 2018). Este trabajo se enmarca en el estudio de las emociones cuando los alumnos trabajan una actividad escolar de Física en la que las conjeturas iniciales colisionan con los hechos.

Emociones epistémicas

Las emociones epistémicas son aquellas que se relacionan con las cualidades afectivas de generación de conocimiento (Brun et al., 2016). Es decir, el objeto y el origen de estas emociones es el conocimiento. Por ejemplo, la curiosidad ante el problema planteado, la sorpresa por un resultado inesperado, la diversión o el aburrimiento durante el proceso de aprendizaje, la confusión, la ansiedad o la frustración ante las informaciones aparentemente contradictorias, etc. (Graesser, 2020). Esto implica que los docentes necesitan tener en cuenta los procesos emocionales de los aprendices además del contenido que van a impartir. Así, la identificación de los estados afectivos y la regulación emocional deben estar en el centro de atención de las estrategias de enseñanza y aprendizaje (Borrachero et al., 2014; Pekrun y Linnenbrink-Garcia, 2014). Los avances en investigación han puesto de relevancia que enseñar es una actividad epistémica y social (Rivière, 1991) en la que se ponen en marcha procesos que requieren interpretar y compartir estados, intenciones, deseos y creencias con el alumnado (Tomasello, 2019). Parece pertinente, por tanto, desarrollar aspectos metacognitivos: de reconocimiento y gestión de las emociones propias y de su alumnado (Engelmann y Bannert, 2021).

Expresiones faciales y detección de emociones (FER-AI)

Tradicionalmente, la identificación de las emociones se ha llevado a cabo de forma declarativa (mediante cuestionarios, entrevistas, etc.). Sin embargo, se han planteado los posibles problemas derivados de la metacognición, que requiere determinar las emociones sentidas y los sentimientos que se deben a la deseabilidad social (Pekrun, 2006). Un segundo procedimiento ha sido el observacional. En cuanto a esta metodología, se ha reflexionado sobre la interpretación de quien observa (Barrett, 2017; Barrett et al., 2011), o se han empleado ambos procedimientos de forma complementaria (Azari et al., 2020; Loderer et al., 2019).

Estas metodologías han producido grandes avances en la identificación de las emociones epistémicas, es decir, aquellas ligadas a los procesos educativos, como la atención, la sorpresa, la frustración, la ansiedad, la alegría, el orgullo, etc. (Bellocchi y Ritchie, 2015; Laukenmann et al., 2003; Marcos-Merino et al., 2022). Sin embargo, también se han detectado las carencias específicas para el seguimiento de estas emociones a los ritmos a los que se producen las acciones de enseñanza-aprendizaje en ciencias; por ejemplo, en la identificación de hechos y magnitudes, la emisión y el contraste de hipótesis, el diseño y la realización de ensayos, etc. (Coppin y Sander, 2021; Dávila-Acedo et al., 2021; Graesser, 2020; Marcos-Merino, 2019).

Parece necesario desarrollar técnicas con una mayor resolución temporal para poder abordar el modo en que se conectan lo cognitivo y lo afectivo. Un ejemplo de estos avances es el uso del reconocimiento facial de las emociones (*facial emotion recognition* o FER) en situaciones de enseñanza y aprendizaje de ciencias (Ezquerro et al., 2022; Ezquerro et al., 2023; Liaw et al., 2021).

Los movimientos de los músculos faciales parecen acompañar a los estados afectivos, lo que implica que estas expresiones se pueden relacionar con las emociones discretas (De Gelder, 2006; Ko, 2018;

Vaessen et al., 2019). En este sentido, disponemos de un acceso fiable y coherente al componente emocional a través de las expresiones faciales. Se trata de una técnica mínimamente invasiva (Darvishi et al., 2022) y menos costosa que otros procedimientos de medida paramétrica como el electroencefalograma (EEG), las imágenes por resonancia magnética funcional (fMRI), etc.

El reconocimiento de expresiones faciales es una técnica desarrollada por Ekman y sus colaboradores a principios de los años setenta del siglo pasado (Ekman y Friesen, 1978). Esta se basa en la teoría de las emociones universales y básicas y, a pesar de las controversias actuales, parece permitir la detección de los estados afectivos de una forma medible, objetiva y racional (Schiller, 2020). La técnica es conocida como el sistema de código de acción facial (o FACS) (Ekman y Friesen, 1978).

El FACS descompone las expresiones faciales en constituyentes individuales denominados unidades de acción (UA). Cada UA se corresponde con la contracción de un grupo de músculos que, además, permite evaluar su intensidad (Barrett et al., 2019). Cada UA –o grupo de UA– determina una expresión facial y, teniendo en cuenta el entorno cultural y social del individuo analizado, puede relacionarse con un estado afectivo concreto.

La evaluación de las expresiones faciales se ha realizado habitualmente por codificadores humanos. En la actualidad, es posible recoger y analizar las expresiones faciales mediante sistemas automáticos; por ejemplo, el algoritmo Afectiva-AFFDEX SDK 4. Este *software* de reconocimiento de expresiones faciales ha permitido que el análisis de emociones esté disponible comercialmente con un alto nivel de fiabilidad y precisión (Stöckli et al., 2018).

Con los medios disponibles, el propósito general de este trabajo ha sido identificar las emociones experimentadas por el alumnado durante una actividad que colisionaba con sus conjeturas iniciales. Para ello, los objetivos específicos son:

- Conocer las conjeturas del alumnado acerca del fenómeno propuesto y su nivel de confianza.
- Identificar el flujo de emociones experimentado en tiempo real por el alumnado durante el proceso de ruptura cognitiva.
- Identificar el flujo de emociones experimentado en tiempo real por el estudiantado durante su reelaboración conceptual.

METODOLOGÍA

El diseño de investigación supuso: 1) la elaboración del estímulo; 2) la aplicación de la actividad y la recogida de datos; y 3) el análisis de estos.

Elaboración del estímulo

El estímulo se construyó con un conjunto de cortes, denominados *videoestímulos*, y un cuestionario de opción múltiple intercalado durante el visionado de este. En el anexo A se puede consultar su estructura completa.

Cada videoestímulo mostraba una fase de la actividad propuesta (el planteamiento de la situación, la ruptura cognitiva, la descripción del fenómeno por parte del investigador y la solicitud de explicación del fenómeno al estudiante). El cuestionario planteaba preguntas sobre las conjeturas en torno al fenómeno propuesto y el nivel de confianza.

Para la creación del estímulo se utilizó la aplicación web Edpuzzle. Esta aplicación permite exportar como hoja de cálculo las respuestas de cada participante. La figura 1 muestra la interfaz de la aplicación durante la fase de ruptura cognitiva.

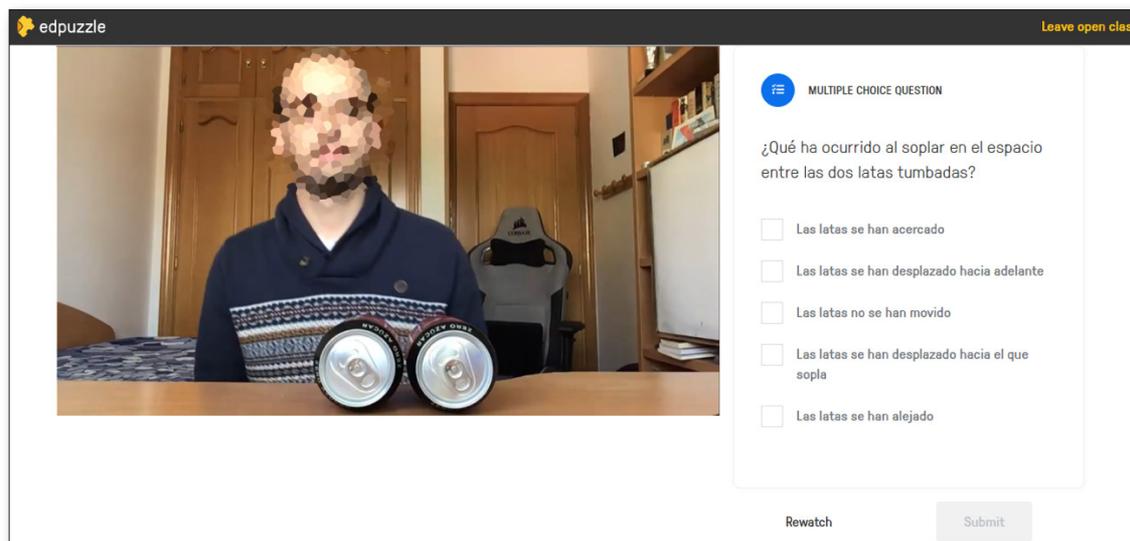


Fig. 1. Captura de pantalla de la interfaz de usuario del videoestímulo durante la fase de ruptura cognitiva.

Aplicación de la actividad y la recogida de datos

Esta actividad fue propuesta a 16 alumnos (8 hombres y 8 mujeres) de 1.º de Bachillerato y 2.º de Bachillerato en el instituto José García Nieto de Las Rozas de Madrid, todos ellos pertenecientes a la rama de Ciencias y Tecnología.

Previamente a la realización de la actividad se pasó un consentimiento de acuerdo con la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. En este documento se describía la actividad, el propósito formativo y de investigación y el modo en que intervendrían los participantes.

Tras esta breve introducción, se situó a los distintos alumnos frente al ordenador para que atendieran al estímulo y se grabó su intervención. Esto generó un videoregistro en primer plano del rostro de cada participante. Seguidamente, se realizó la exportación de las respuestas del cuestionario y de los videoregistros.

Análisis de datos

En este estudio hemos realizado un análisis de tipo declarativo, observacional y paramétrico. El cuestionario nos proporcionó datos de tipo declarativo. El videoregistro sirvió como fuente para realizar los análisis observacionales y paramétricos, así como de complemento a los datos declarativos.

El análisis paramétrico de las emociones se realizó con el *software* iMotions®. En primer lugar, este sistema procesa cada fotograma con el fin de detectar y caracterizar el rostro de cada participante mediante 34 puntos de referencia (dos coordenadas por punto). A partir de estos puntos calcula la distancia interocular y los ángulos de giro, balanceo e inclinación de la cabeza.

Posteriormente, los algoritmos de inteligencia artificial realizan sucesivos procesamientos para buscar la similitud entre los grafos de los marcadores faciales detectados y el conjunto de patrones de referencia almacenados. Esto permite identificar la intensidad de 20 expresiones faciales con una variación de entre 0 % (ausente) hasta un 100 % (totalmente presente). Además de los datos mencionados, iMotions® identifica cada fotograma con un número correlativo y proporciona el tiempo transcurrido desde el inicio del vídeo, suministrando así un total de 94 datos por fotograma.

Para este estudio, nuestras cámaras recogieron 30 fotogramas por segundo. Como consecuencia, por cada segundo se obtuvieron 2.820 datos. Teniendo en cuenta el número de participantes (16) y la duración de los intervalos estudiados (11 s en el caso de la ruptura cognitiva y una media de 38 s en la reelaboración conceptual), fue necesario procesar más de dos millones de datos (2.210.880) para llevar a cabo el análisis paramétrico completo.

La interpretación de esta cantidad de datos supuso un reto. Para poder llevarla a cabo, se diseñó e implementó un programa informático mediante el lenguaje de programación Python. Dicho programa utiliza la media móvil para reducir el ruido. Esta técnica estadística sustituye cada valor de la serie temporal por la media de la ventana alrededor del valor original. El uso de la media móvil requiere seleccionar factores matemáticos concretos para identificar los patrones educativos relevantes (Ezquerro et al., 2022; Ezquerro et al., 2023). Así, es necesario determinar la anchura de la ventana alrededor del valor original y la posición de este dentro de la ventana.

En concreto, utilizamos una media móvil centrada, ya que los parámetros emocionales y conductuales están influidos por el pasado reciente (por ejemplo, los retos afrontados en el proceso de aprendizaje) y modulan el comportamiento futuro (por ejemplo, impulsan la toma de decisiones de los estudiantes). Por otra parte, se consideraron ventanas con anchuras entre 0,5 y 4 s porque algunas expresiones faciales tienen duraciones que se encuentran dentro de estos periodos de tiempo (Adegun y Vadapalli, 2020). Del mismo modo, se tuvieron en cuenta las ventanas entre 12 y 45 s, dado que la duración de las acciones educativas se encuentra dentro de este rango (Lämsä et al., 2018).

En el análisis observacional, a partir de un acuerdo interjueces $> .80$, se valoraron cualitativamente las expresiones faciales y verbales, los movimientos corporales y las cualidades sonoras de la voz.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de los tres análisis efectuados: el primero –sobre las conjeturas de cada alumno ante el fenómeno propuesto y su nivel de seguridad en las respuestas– se realizó a partir de los datos declarativos del cuestionario de opción múltiple; el segundo –sobre las emociones en el momento de la ruptura cognitiva– fue un análisis paramétrico a partir de los videoregistros; por último, el tercero –acerca de las emociones en el momento de la reelaboración de sus conjeturas– estuvo conformado por análisis paramétricos y observacionales a partir de los videoregistros de los estudiantes.

Conjeturas del alumnado ante el fenómeno propuesto

En la fase 1 (planteamiento de la situación), la respuesta más frecuente a la pregunta 1.1 (¿Qué ocurre si se sopla en el espacio entre las dos latas tumbadas?) fue «Las latas se alejarán» (10/16 estudiantes, 62,5 %). El resto (6/16 estudiantes, 37,5 %) contestó que «Las latas no se moverán». Es importante destacar que ningún estudiante seleccionó la respuesta «Las latas se acercarán», que es lo que en realidad sucede.

En la siguiente cuestión (pregunta 1.2. ¿En qué medida estás segura/o de la respuesta seleccionada?) la mayoría (12/16 estudiantes, 75 %) contestaron que estaban «muy» o «bastante» seguros de su respuesta. Solamente tres participantes contestaron que estaban «poco» seguros. Ningún estudiante declaró estar «muy poco» seguro. Estos resultados son muy significativos. Los estudiantes no dudaron en responder a una situación a la que no se habían enfrentado antes y, además, «confiaron» en sus predicciones basadas en sus ideas previas.

La siguiente pregunta (1.3. Elige la justificación que mejor explique tu predicción) clarifica cuáles fueron las concepciones alternativas que utilizaron. Así, todos los estudiantes que contestaron «Las latas se alejarán» eligieron la explicación «Al soplar, introducimos más aire entre las latas, lo que hará que se separen» (10/16 estudiantes, 62,5 %). En cuanto a los 6 estudiantes que contestaron «Las latas no se moverán», 4 (25 %) seleccionaron como explicación «Al soplar paralelamente a las latas, el aire no va a entrar en contacto con las mismas por lo que no se van a mover» y 2 (12,5 %) indicaron que «El aire que expulsa un humano al soplar no tiene fuerza». Es interesante destacar que las 16 justificaciones hicieron alusión a la «fuerza» ejercida por el aire introducido y no a la presión. Ninguna utilizó el término presión, ni consideró la presión atmosférica existente en la parte exterior de las latas.

Una vez visto el fenómeno se preguntó a los estudiantes (preguntas 2.1 y 2.2): «¿Qué ha ocurrido al soplar en el espacio entre las dos latas tumbadas?» y «¿En qué medida estás segura/o de tu respuesta?». Todos los estudiantes afirmaron que las latas se habían acercado después de soplar entre ellas. Es decir, todos reconocieron el hecho. Respecto al grado de seguridad de esta respuesta, la mayoría de los estudiantes (14/16 estudiantes, 87,5 %) contestó que estaban muy seguros. Sin embargo, un estudiante indicó que estaba «bastante» seguro y otro, «poco» seguro. Esto último es significativo y parece anteponer sus concepciones alternativas a la evidencia de un hecho que las contradice.

Las siguientes cuestiones recogieron las posibles explicaciones del fenómeno (pregunta 2.3) y la seguridad en las razones esgrimidas (pregunta 2.4). La lista de posibles explicaciones fue la misma que la propuesta en la primera predicción. La mayoría (10/16 estudiantes, 62,50 %) eligieron la explicación correcta en la lista de respuestas: «Al soplar, disminuirá la presión entre las latas, lo que hace que se acerquen empujadas por la presión de fuera». Las respuestas de los seis estudiantes restantes se dividieron entre «Al soplar, quitaremos el aire entre las latas y esto hará que se acerquen» (3/16 estudiantes, 18,75 %) y «Al soplar aumenta la presión entre las latas, siendo empujadas ligeramente hacia fuera, pero dado que éstas tienden a volver a su estado original, terminarán por acercarse» (3/16 estudiantes, 18,75 %). Las dos primeras respuestas mencionadas trataban de explicar el fenómeno acomodándose a los hechos e introduciendo el concepto de presión. La última respuesta, aunque también incluye esta última noción, parece seguir manteniendo algo de la concepción alternativa «Las latas se van a separar después de soplar».

Respecto a su grado de seguridad con la explicación proporcionada, 8 estudiantes (50 %) declararon estar «bastante» seguros y 2 (12,5 %) afirmaron que estaban «muy» seguros. Parece bastante sorprendente que 10 estudiantes mostraran tal grado de confianza en una respuesta que acababa de ser asumida. Por el contrario, 5 participantes (31 %) dijeron estar «poco» seguros, y uno contestó que estaba «muy poco» seguro.

Para ahondar más en la seguridad en la nueva explicación, se pidió a cada estudiante que explicara con sus palabras el fenómeno que acababa de presenciar. Después, se preguntó por el grado de seguridad sobre la explicación proporcionada (pregunta 4.1). En esta ocasión, solo cinco estudiantes (31 %) contestaron que estaban muy seguros de la explicación proporcionada. Mientras que la mayoría (11/16 estudiantes, 69 %) no confiaron en la explicación que habían proporcionado. En particular, 7 estudiantes (44 %) contestaron que estaban algo seguros, 2 (12,5 %) que estaban «poco» seguros y otros 2 (12,5 %) que estaban muy poco seguros.

Parece que la seguridad mostrada en la respuesta marcada (pregunta 2.4) se diluyó cuando se enfrentaron a una explicación más personal (pregunta 4.1). En los análisis subsiguientes se podrá observar la diferencia entre elegir entre un listado de respuestas (donde parecía «fácil» marcar una posible opción cierta), y enfrentarse cognitiva y emocionalmente a verbalizar las razones que explican el fenómeno.

Análisis paramétrico de las emociones en el momento de la ruptura cognitiva

En este apartado se muestran los resultados del análisis paramétrico de las emociones durante la ruptura cognitiva. Para ello, consideramos un intervalo de tiempo de 11 s desde el segundo previo al momento en el que se sopla entre las latas por primera vez y hasta 10 s después de este instante.

Las emociones que detectamos en el intervalo estudiado fueron dos: sorpresa y disgusto. Estas emociones fueron determinadas a partir de las expresiones faciales detectadas por el software iMotions®. La asociación entre expresiones faciales y emociones que utilizamos en nuestro estudio se ha realizado a partir de la bibliografía científica habitual y ha sido también comprobada mediante el análisis observacional de las grabaciones.

La sorpresa viene caracterizada por una o varias de estas expresiones en función de la expresividad del individuo (Barrett et al., 2019; Ekman et al., 2002): levantamiento de cejas, caída de mandíbula, boca abierta y ojos abiertos.

Por otra parte, el disgusto está caracterizado por una o varias de las siguientes expresiones faciales, dependiendo de la intención comunicativa de cada individuo en un momento determinado (Barrett et al., 2019; Ekman et al., 2002): sonrisa forzada, presionar los labios, humedecer labios, estirar los labios, fruncir el labio y levantamiento interior de cejas.

El análisis de los flujos emocionales en el intervalo estudiado ha permitido clasificar a los 16 estudiantes en tres grupos en función de su tipo de respuesta (Sorpresa, Disgusto y Sorpresa + Disgusto).

El grupo Sorpresa está formado por 9 estudiantes (53 %). En la figura 2 mostramos los datos paramétricos de las expresiones faciales de un estudiante de este grupo (con levantamiento de cejas y boca abierta). Ambos gestos coincidieron en el tiempo, comenzaron en el segundo 1,5 tras el choque de las latas y desaparecieron después del segundo 6. Esta respuesta de sorpresa parece relacionada con la disonancia entre lo ocurrido y la predicción del estudiante.

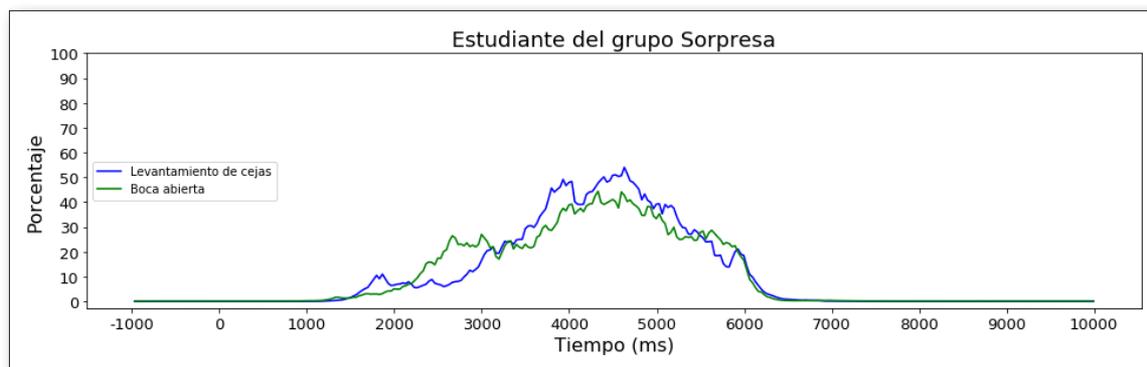


Fig. 2. Expresiones faciales de un estudiante del grupo Sorpresa durante la ruptura cognitiva.

La reacción de disgusto se dio en un grupo de 3 estudiantes (22 %). En la reacción de un estudiante de este grupo (figura 3), las expresiones de disgusto comenzaron en el segundo 2 después del primer choque de las latas y se mantuvieron hasta el final del intervalo estudiado. Las expresiones faciales fueron, en este caso: estirar los labios, fruncir los labios, levantar interiormente las cejas y humedecer los labios. Los integrantes de este grupo parecen mostrar rechazo ante la idea de haber fallado en la predicción. De hecho, dos de los cuatro participantes comienzan su reacción con una queja.

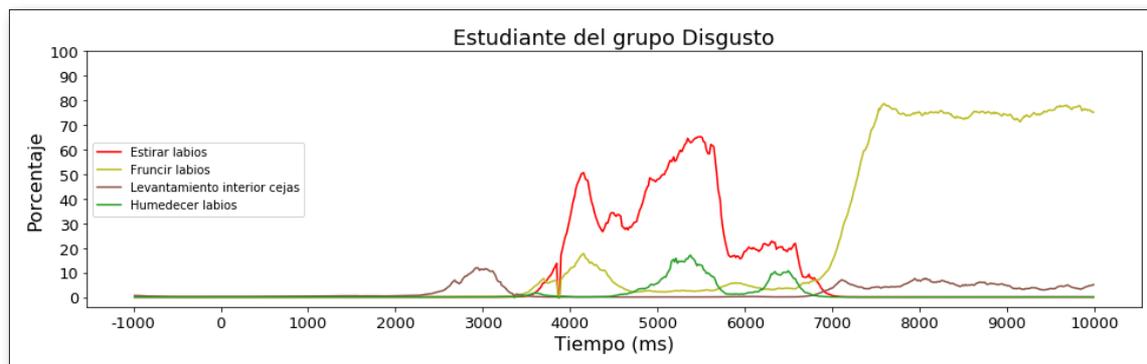


Fig. 3. Expresiones faciales de un estudiante del grupo Disgusto durante la ruptura cognitiva.

El grupo que expresó Sorpresa + Disgusto lo formaron 4 estudiantes (25 %). La figura 4 muestra los datos paramétricos de un estudiante. La sorpresa viene marcada con la expresión facial de levantamiento de cejas en el segundo 2 después del choque y desaparece más tarde en el segundo 4. Las muestras de disgusto (fruncir los labios, en este caso) se inician en el segundo 3 y continúan hasta el final del intervalo estudiado.

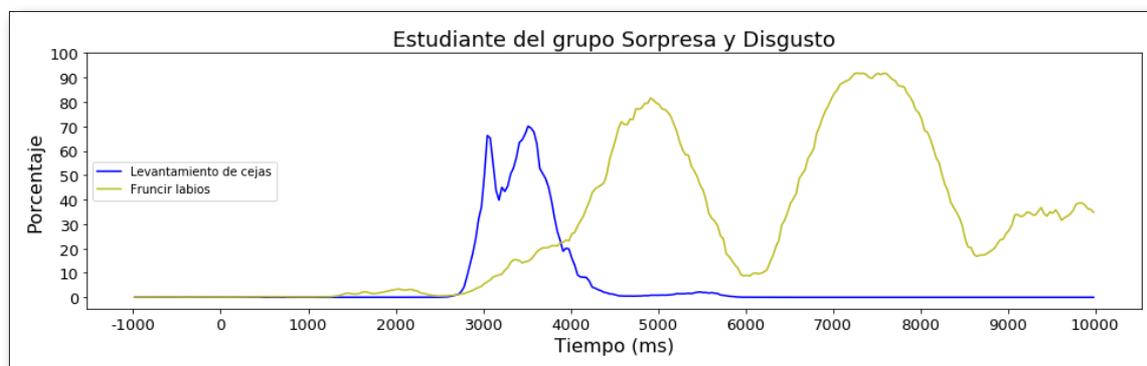


Fig. 4. Expresiones faciales de un estudiante del grupo Sorpresa + Disgusto durante la ruptura cognitiva.

Resulta interesante observar que la sorpresa apareció y desapareció en un intervalo de tiempo corto (figuras 2 y 4), mientras que el disgusto tardó más en expresarse y no llegó a atenuarse en el intervalo observado (figuras 3 y 4).

Estudio de las emociones en el momento de la reelaboración

En este apartado, se estudian las emociones experimentadas por los estudiantes cuando tuvieron que explicar el fenómeno con sus propias palabras, justo después de escuchar la explicación que proporciona el investigador en el vídeo.

El estudio supuso la agregación de dos análisis: paramétrico y observacional. El intervalo de tiempo analizado tiene como inicio el instante en el que finaliza la pregunta del videoestímulo, «¿Podrías explicar con tus propias palabras el fenómeno que acabas de presenciar?» (Fase IV – Anexo I), y como final el momento en el que el estudiante termina su explicación.

Las emociones que aparecieron en cada estudiante durante las explicaciones fueron las mismas que en el intervalo de ruptura cognitiva: sorpresa y disgusto. Esto nos permitió mantener las agrupaciones

iniciales que se dieron en el momento de la ruptura cognitiva, es decir, grupo Sorpresa, grupo Disgusto y grupo Sorpresa + Disgusto.

En el grupo Sorpresa se observó que las expresiones características comenzaron desde el primer momento y se mantuvieron en niveles muy altos durante toda la explicación. En la figura 5 se muestran las expresiones faciales (levantamiento de cejas y ojos abiertos) de un participante de este grupo. Es interesante comprobar que los valores máximos se alcanzaron sobre el segundo 24, cuando el participante subrayaba el «sorprendente» comportamiento de las latas.

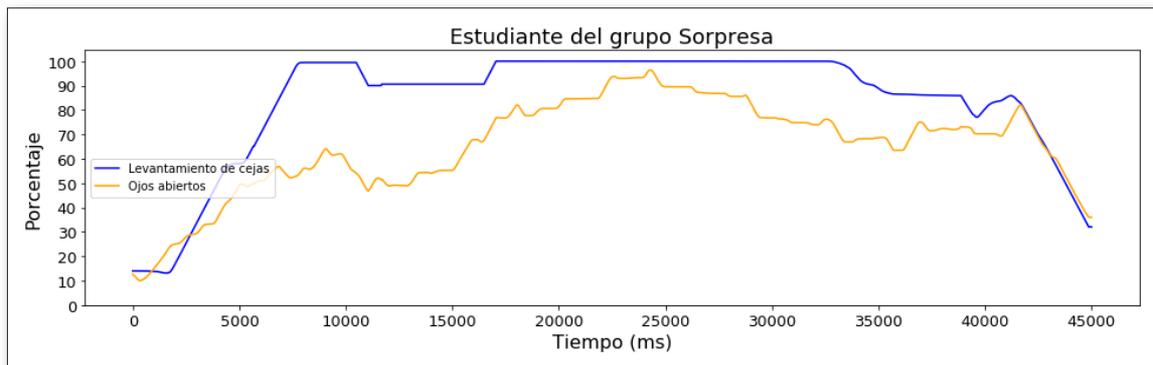


Fig. 5. Expresiones faciales de un estudiante del grupo Sorpresa en el momento de su explicación del fenómeno.

El análisis observacional confirmó que la sorpresa fue muy notable durante toda la explicación y alcanzó el máximo cuando el estudiante dijo: «Cuando tú soplas y lo desplazas [el aire que hay entre las dos latas] la presión interna va a disminuir». Además, se observó que la intensidad de la voz del estudiante alcanzó un máximo en este mismo instante (segundo 24). Lo que el estudiante indicó en este momento es clave para la comprensión del fenómeno, pues la diferencia de presión entre el interior y el exterior de las dos latas es lo que explica que las dos latas se junten. De hecho, varios participantes simulaban la posición de las latas con sus manos y terminaron por golpear ambos apéndices como lo hicieron las latas.

El grupo Disgusto lo podemos representar con la figura 6 (con las reacciones de apretar los labios, estirar los labios, fruncir los labios, humedecer los labios y levantar interiormente las cejas). En los primeros segundos, el estudiante estuvo callado, mientras se preparaba para contestar la pregunta. Aquí aparecieron las primeras expresiones de disgusto (estirar los labios y levantar interiormente las cejas). Resulta muy interesante observar que los valores más altos se produjeron a partir del segundo 11, cuando el estudiante estaba detallando su explicación, y que estos se mantuvieron hasta el final de la intervención. Es decir, el enfado permaneció después de la explicación, a diferencia de la sorpresa de la figura anterior (figura 5), que desapareció una vez que la explicación del participante había terminado.

El análisis observacional mostró que el estudiante comenzó su explicación en el segundo 11 y terminó en el segundo 25. El momento más destacado fue cuando indicó: «Al soplar, la fuerza hace que la presión disminuya, por lo que las latas se acercan». La palabra *presión* se pronunció en el segundo 15 y coincidió con el máximo valor de la expresión de levantamiento interior de cejas y con la acción de tragar saliva, que enfatizó la muestra de disgusto del estudiante. También se pudo observar que la intensidad de la voz del estudiante descendió de manera notable al pronunciar la palabra *presión*. Indiquemos que el concepto de presión, clave para comprender el fenómeno, fue omitido por este individuo cuando realizó la primera predicción. Otros participantes representaron la presión abriendo y cerrando sus brazos y simulando que empujaban las latas.

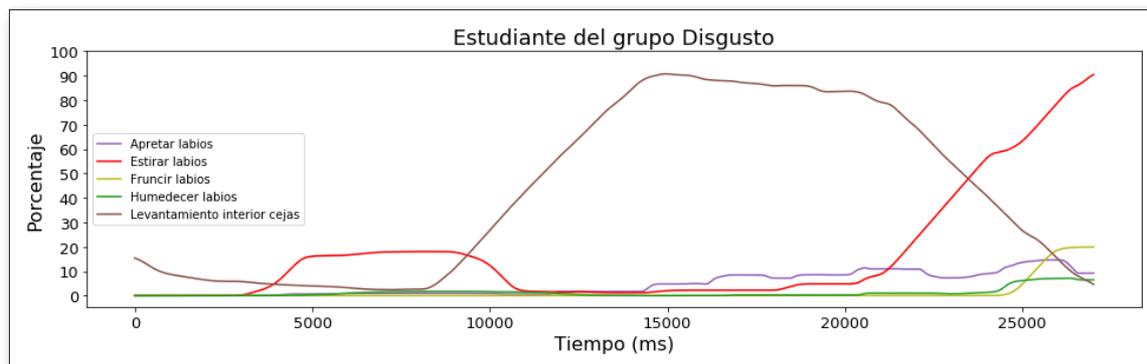


Fig. 6. Expresiones faciales de un estudiante del grupo Disgusto en el momento de su explicación del fenómeno.

El comportamiento del grupo Sorpresa + Disgusto puede representarse por la figura 7. Las expresiones de sorpresa (levantar las cejas y abrir más los ojos) estuvieron presentes mientras el estudiante estuvo hablando. Así, se observan dos ascensos y descensos que se corresponden con las dos partes de la respuesta. En la primera (entre los segundos 10 y 30), proporcionó una explicación completa del fenómeno, mientras que en la segunda (entre los segundos 35 y 45) enfatizó que lo que hizo que las latas se juntasen fue la diferencia de presiones a un lado y otro de las dos latas.

Las expresiones de disgusto (apretar los labios, estirarlos y humedecerlos, así como levantar el interior de las cejas) aparecieron en dos momentos del intervalo estudiado: antes de que el estudiante comenzara a hablar, mientras estaba pensando lo que iba a decir (antes del segundo 10), y cuando finalizó la explicación del fenómeno. Es relevante observar que también aquí las expresiones de disgusto continuaron una vez concluida la explicación.

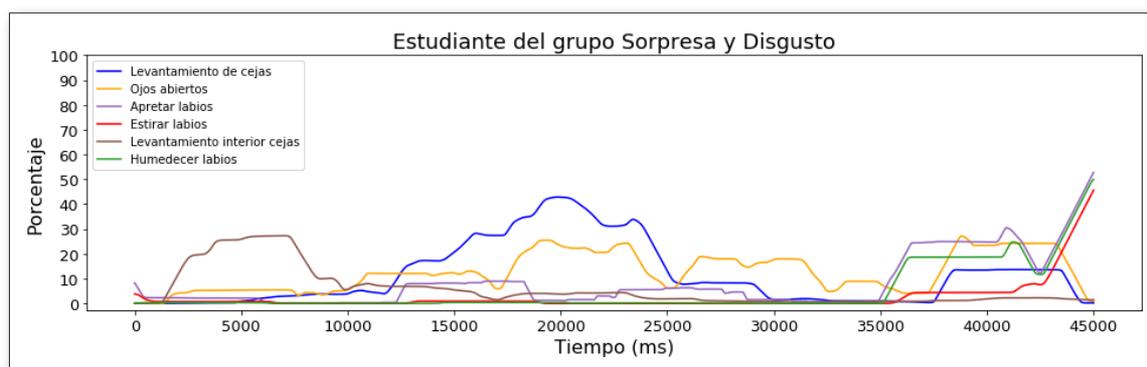


Fig. 7. Expresiones faciales de un estudiante del grupo Sorpresa + Disgusto en el momento de su explicación del fenómeno.

DISCUSIÓN

El estudio realizado recoge un primer análisis declarativo sobre las conjeturas iniciales, otro sobre el momento de la observación del fenómeno y, finalmente, el examen de la reestructuración de sus hipótesis.

Respecto a las conjeturas iniciales del alumnado, se han podido recoger algunos resultados muy relevantes. Los estudiantes no dudaron en responder a una situación a la que no se habían enfrentado antes y lo hicieron con «confianza». Esta conducta, si es general, implicaría que nuestro alumnado se siente capaz y seguro de dar respuesta a situaciones nuevas sobre la base de sus ideas previas. Algo que

podría inhibir su curiosidad, dado que considerarían «conocidos» los comportamientos de las cosas. Por otra parte, esta posición previa (su supuesto conocimiento y seguridad) sitúa al alumnado ante un «choque» con los hechos que contradicen sus conjeturas. En este sentido, parece prudente tener cuidado con el tratamiento de nuevos fenómenos. Es decir, antes de tratar un fenómeno no considerado previamente, parece pertinente recoger qué indica el alumnado con respecto a la situación y cómo la describe y considerar así su nivel de seguridad en las afirmaciones expuestas. Esto nos permitirá hacer aflorar sus concepciones alternativas y anticiparnos a su posible choque emocional. Tras la observación del fenómeno, parece especialmente interesante, según lo visto aquí, considerar qué emociones se han generado y el efecto que este motor afectivo ha causado.

Respecto al análisis de los estudiantes en el momento de la observación del fenómeno, parece que el contraste de sus conjeturas con la realidad les condujo a un desequilibrio brusco de sus ideas previas, es decir, a una ruptura de la estructura cognitiva que antes explicaba el fenómeno. Este impacto fue acompañado de cambios muy intensos en sus expresiones emocionales. En nuestra muestra, la sincronización entre emociones y cuestiones cognitivas determinó tres comportamientos específicos. Bajo la perspectiva del cambio conceptual cálido, estos resultados suponen un estímulo para continuar indagando en la vinculación entre la dimensión afectiva y epistémica en los distintos momentos de este complejo proceso.

Respecto al estudio de la explicación del fenómeno, se ha observado que los estudiantes representaron la forma de las latas con las manos o simulaban la presión del aire con los brazos mientras narraban verbalmente los hechos. Parece que los sujetos buscaron recuperar la información del modo en que el fenómeno propuesto fue vivido tanto cognitiva como emocionalmente. En paralelo, los datos de las expresiones recogidas en esta rememoración parecen repetir las mismas emociones sentidas. Es decir, la activación de la imaginación mental parece situarlos en el mismo instante de la observación y, por tanto, activar expresiones emocionales semejantes a aquellas. Esto es muy relevante, puesto que muestra una imbricación entre las expresiones afectivas (expresiones faciales, movimientos corporales e intensidad de la voz) y las cuestiones cognitivas.

Es más, los elementos cognitivos que el individuo sintió como claves y que quiso destacar fueron especialmente subrayados con expresiones emocionales; pero no con cualquier emoción, sino con aquellas vividas y sentidas en el momento de producirse la disonancia. Esto tiene importantes implicaciones educativas: supondría que cuando explicamos un fenómeno natural estaríamos cargando los hechos con emociones, en concreto, con nuestras emociones. Así, destacaríamos expresivamente lo primordial del fenómeno a nuestro parecer frente a lo superfluo también para nosotros.

En este sentido, la cognición estaría encapsulada, o encarnada, en un *pack* que incluye emoción, gestualidad y cognición de manera indisoluble (Rowlands, 2010) tanto en los estudiantes como en los docentes. Esto nos hace pensar que se deberían considerar estos principios instruccionales para el diseño de entornos de aprendizaje (Black et al., 2012).

Por otra parte, respecto a la metodología de análisis paramétrico de las emociones utilizada aquí, parece conveniente considerar sus debilidades y sus fortalezas. Es evidente que estamos ante un procedimiento novedoso con pocos antecedentes (Ezquerra et al., 2022; Ezquerra et al., 2023; Liaw et al., 2021) y que aún no ha podido desplegar todo su potencial. En este estudio, por ejemplo, hemos podido analizar ciertas emociones epistémicas de intereses a través de sus correspondientes expresiones faciales. Sin embargo, la literatura indica que otras emociones como la ansiedad también juegan un papel importante en el aprendizaje (Bellocchi y Ritchie, 2015; Pekrun et al., 2011). Parece interesante, por tanto, plantearse la búsqueda de otros posibles vínculos entre las emociones epistémicas y sus correspondientes expresiones faciales.

Además, el tratamiento de los datos paramétricos también debe ser trabajado y adaptado a las necesidades de la investigación educativa. Indiquemos que el flujo de información para cada participante

fue de unos 169.200 datos por minuto (94 entradas/imagen × 30 imágenes/segundo × 60 s/min). Este esfuerzo debería centrarse en incrementar nuestra resolución temporal en la observación de los vínculos entre las acciones educativas (como la observación de un fenómeno, la realización o la respuesta a una pregunta) y las emociones epistémicas vinculadas.

En cualquier caso, en el estado actual de la técnica, hemos conseguido desarrollar un procedimiento operativo y aplicable a una amplia gama de situaciones de enseñanza. Esto nos ha permitido recoger de modo síncrono los aspectos conceptuales y afectivos en los momentos más significativos del proceso de emisión y contraste de conjeturas, así como cuando los participantes reflexionaban y trataban de reconstruir sus ideas sobre el fenómeno observado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto PR3/23-30815: Artificial Intelligence to Identify Emotions and Behaviours in Teaching and Learning Processes in Sciences, financiado por la Universidad Complutense de Madrid (España).

REFERENCIAS

- Adegun, I. P. y Vadapalli, H. B. (2020). Facial micro-expression recognition: A machine learning approach. *Scientific African*, 8, e00465.
<https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00465>
- Azari, B., Westlin, C., Satpute, A. B., Hutchinson, J. B., Kragel, P. A., Hoemann, K., Khan, Z., Wormwood, J. B., Quigley, K. S., Erdogmus, D., Dy, J., Brooks, D. H. y Barrett, L. F. (2020). Comparing supervised and unsupervised approaches to emotion categorization in the human brain, body, and subjective experience. *Scientific Reports*, 10(1), 20284.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-77117-8>
- Barrett, L. F. (2017). The theory of constructed emotion: an active inference account of interoception and categorization. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 12(1), 1-23.
<https://doi.org/10.1093/scan/nsw154>
- Barrett, L. F., Adolphs, R., Marsella, S., Martinez, A. M. y Pollak, S. D. (2019). Emotional Expressions Reconsidered: Challenges to Inferring Emotion From Human Facial Movements. *Psychological Science in the Public Interest*, 20(1).
<https://doi.org/10.1177/1529100619832930>
- Barrett, L. F., Mesquita, B. y Gendron, M. (2011). Context in Emotion Perception. *Current Directions in Psychological Science*, 20(5), 286-290.
<https://doi.org/10.1177/0963721411422522>
- Bellocchi, A. (2019). Early career science teacher experiences of social bonds and emotion management. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(3), 322-347.
<https://doi.org/10.1002/tea.21520>
- Bellocchi, A. y Ritchie, S. M. (2015). «I Was Proud of Myself That I Didn't Give Up and I Did It»: Experiences of Pride and Triumph in Learning Science. *Science Education*, 99(4), 638-668.
<https://doi.org/10.1002/sc.21159>
- Black, J. B., Segal, A., Vitale, J. M. y Fadjo, C. L. (2012). Embodied cognition and learning environment design. En S. Land y D. Jonassen (Eds.), *Theoretical foundations of learning environments* (pp. 198-223). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781410603203>

- Borrachero, A. B., Brígido, M., Mellado, L., Costillo, E. y Mellado, V. (2014). Emotions in prospective secondary teachers when teaching science content, distinguishing by gender. *Research in Science and Technological Education*, 32(2), 182-215. <https://doi.org/10.1080/02635143.2014.909800>
- Brun, G., Doguoglu, U. y Kuenzle, D. (2016). *Epistemology and Emotions*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315580128>
- Coppin, G. y Sander, D. (2021). Theoretical approaches to emotion and its measurement. En H. Meiselman (Ed.), *Emotion Measurement* (pp. 3-37). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821124-3.00001-6>
- Darvishi, A., Khosravi, H., Sadiq, S. y Weber, B. (2022). Neurophysiological Measurements in Higher Education: A Systematic Literature Review. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32(2), 413-453. <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00256-0>
- Dávila-Acedo, M. A., Cañada, F., Sánchez-Martín, J., Airado-Rodríguez, D. y Mellado, V. (2021). Emotional performance on physics and chemistry learning: the case of Spanish K-9 and K-10 students. *International Journal of Science Education*, 43(6), 823-846. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1889069>
- De Gelder, B. (2006). Towards the neurobiology of emotional body language. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(3), 242-249. <https://doi.org/10.1038/nrn1872>
- Delors, J. (1996). *Learning: the treasure within. Report to UNESCO of the international commission on education for the twenty-first century*.
- Dolan, R. J. (2002). Emotion, Cognition, and Behavior. *Science*, 298(5596). <https://doi.org/10.1126/science.1076358>
- Driver, R. y Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5(1). <https://doi.org/10.1080/03057267808559857>
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in science*. Open University Press.
- Duit, R. (1999). Conceptual Change Approaches in Science Education. En *New perspectives on conceptual change*.
- Ekman, P. y Friesen, W. V. (1978). Facial Action Coding System. *Palo Alto CA Consulting*, (2). Consulting Psychologists Press.
- Ekman, P., Friesen, W. V. y Hager, J. C. (2002). *The facial action coding system CD-ROM*. Research Nexus.
- Engelmann, K. y Bannert, M. (2021). Analyzing temporal data for understanding the learning process induced by metacognitive prompts. *Learning and Instruction*, 72(2021), 101205. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.05.002>
- Ezquerra, A., Agen, F., Rodríguez-Arteche, I. y Ezquerra-Romano, I. (2022). Integrating Artificial Intelligence into Research on Emotions and Behaviors in Science Education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(4), em2099. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11927>
- Ezquerra, A., Agen, F., Toma, R. B. y Ezquerra-Romano, I. (2023). Using applying facial emotion recognition to research emotional phases in an inquiry-based science activity. *Research in Science & Technological Education*, 1-24. <https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2232995>

- Fernández-Carro, R., Vílchez, J. E., Vílchez-González, J. M. y Ezquerro, A. (2023). Multivariate Analysis of Beliefs in Pseudoscience and Superstitions Among Pre-service Teachers in Spain. *Sci & Educ*, 32(4), 909-925.
<https://doi.org/10.1007/s11191-022-00354-y>
- Fredricks, J. A. (2011). Engagement in School and Out-of-School Contexts: A Multidimensional View of Engagement. *Theory Into Practice*, 50(4), 327-335.
<https://doi.org/10.1080/00405841.2011.607401>
- Graesser, A. C. (2020). Emotions are the experiential glue of learning environments in the 21st century. *Learning and Instruction*, 70(2020), 101212.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.05.009>
- Jeong, J. S., González-Gómez, D. y Cañada-Cañada, F. (2016). Students' Perceptions and Emotions Toward Learning in a Flipped General Science Classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 25(5), 747-758.
<https://doi.org/10.1007/s10956-016-9630-8>
- Ko, B. C. (2018). A brief review of facial emotion recognition based on visual information. *Sensors (Switzerland)*, 18(2), 401.
<https://doi.org/10.3390/s18020401>
- Lämsä, J., Hämäläinen, R., Koskinen, P. y Viiri, J. (2018). Visualising the temporal aspects of collaborative inquiry-based learning processes in technology-enhanced physics learning. *International Journal of Science Education*, 40(14), 1697-1717.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1506594>
- Laukenmann, M., Bleicher, M., Fu, S., Gläser-Zikuda, M., Mayring, P. y von Rhöneck, C. (2003). An investigation of the influence of emotional factors on learning in physics instruction. *International Journal of Science Education*, 25(4), 489-507.
<https://doi.org/10.1080/09500690210163233>
- Liaw, H., Yu, Y. R., Chou, C. C. y Chiu, M. H. (2021). Relationships between Facial Expressions, Prior Knowledge, and Multiple Representations: a Case of Conceptual Change for Kinematics Instruction. *Journal of Science Education and Technology*, 30(2), 227-238.
<https://doi.org/10.1007/s10956-020-09863-3>
- Loderer, K., Pekrun, R. y Plass, J. L. (2019). Emotional Foundations of Game-based Learning. En J. L. Plass, E. Richard, R. E. Mayery B. D. Homer (Eds.), *The Handbook of Game-based Learning* (pp. 111-151). MIT Press.
- Lombardi, D. y Sinatra, G. M. (2013). Emotions about teaching about human-induced climate change. *International Journal of Science Education*, 35(1), 167-191.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2012.738372>
- Marcos-Merino, J. M. (2019). Análisis de las relaciones emociones-aprendizaje de maestros en formación inicial con una práctica activa de Biología. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 16(1), 1603.
https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1603
- Marcos-Merino, J. M., Esteban Gallego, M. R. y Gómez Ochoa de Alda, J. A. (2022). Conocimiento previo, emociones y aprendizaje en una actividad experimental de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 40(1).
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3361>
- Matusovich, H. y McCord, R. (2012). Work in progress: Does motivation matter for conceptual change? exploring the implications of «hot cognition» on conceptual learning. *Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE*.
<https://doi.org/10.1109/FIE.2012.6462394>

- McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 284(4), 122-130.
- McLeod, D. B. (1992). Research on affect in mathematics education: A reconceptualization. En D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 575-595). Macmillan.
- Mellado Jiménez, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V., Dávila, M. A., Cañada, F., Conde, M. C., Costillo, E., Cubero, J., Esteban, R., Martínez, G., Ruiz, C., Sánchez, J., Garritz, A., Mellado, L., Vázquez, B., Jiménez, R. y Bermejo, M. L. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 32(3). <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1478>
- Murphy, P. K. y Alexander, P. A. (2008). The role of knowledge, beliefs, and interest in the conceptual change process: A synthesis and meta-analysis of the research. En *International handbook of research on conceptual change*.
- Novak, J. y Mintzes, J. J. (1988). *Enseñanza de las Ciencias para Entendimiento*. Academic Press.
- Pekrun, R. (2006). The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice. *Educational Psychology Review*, 18(4), 315-341. <https://doi.org/10.1007/s10648-006-9029-9>
- Pekrun, R., Goetz, T., Frenzel, A. C., Barchfeld, P. y Perry, R. P. (2011). Measuring emotions in students' learning and performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ). *Contemporary Educational Psychology*, 36(1), 36-48. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2010.10.002>
- Pekrun, R. y Linnenbrink-Garcia, L. (2014). International handbook of emotions in education. En *International Handbook of Emotions in Education*. <https://doi.org/10.4324/9780203148211>
- Piaget, J. y García, R. (1973). *Las explicaciones causales*. Barral Editores.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W. y Boyle, R. A. (1993). Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, 63(2). <https://doi.org/10.3102/00346543063002167>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2). <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- Pozo, J. I. y Carretero, M. (1987). Del Pensamiento Formal a las Concepciones Espontáneas: ¿Qué Cambia en la Enseñanza de la Ciencia?». *Infancia y Aprendizaje*, 10(38), 35-52. <https://doi.org/10.1080/02103702.1987.10822161>
- Pozo, J. I., del Puy Pérez, M., Sanz, A. y Limón, M. (1992). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas. *Infancia y Aprendizaje*, 15(57). <https://doi.org/10.1080/02103702.1992.10822321>
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. Á. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Ediciones Morata.
- Rivière, A. (1991). *Objetos con mente*. Alianza.
- Rowlands, M. (2010). *The new science of the mind*. The MIT Press.
- Schiller, D. (2020). For Now We See through an AI Darkly; but Then Face-to-Face: A Brief Survey of Emotion Recognition in Biometric Art. *Przegląd Kulturoznawczy*, 3(45), 230-260. <https://doi.org/10.4467/20843860PK.20.025.12585>
- Schnotz, W., Vosniadou, S. y Carretero, M. (Eds.). (1999). *New perspectives in conceptual change research*. Elsevier.

- Sinatra, G. M. y Taasoobshirazi, G. (2018). The Self-Regulation of Learning and Conceptual Change in Science. En D. H. Schunk y J. A. Greene (Eds.), *Handbook of Self-Regulation of Learning and Performance* (pp. 153-165). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315697048-10>
- Stöckli, S., Schulte-Mecklenbeck, M., Borer, S. y Samson, A. C. (2018). Facial expression analysis with AFFDEX and FACET: A validation study. *Behavior Research Methods*, 50(4), 1446-1460.
<https://doi.org/10.3758/s13428-017-0996-1>
- Taber, K. S. (2017). The Nature of Student Conceptions in Science. En K. S. Taber y B. Akpan (Eds.), *Science Education* (pp. 119-131). SensePublishers.
https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_9
- Tomasello, M. (2019). The Cultural Origins of Human Cognition. En *The Cultural Origins of Human Cognition*. Harvard University Press.
<https://doi.org/10.2307/j.ctvjsf4jc>
- Tytler, R. y Osborne, J. (2012). Student attitudes and aspirations towards science. En *Second International Handbook of Science Education* (pp. 597-625).
- Vaessen, M., Van der Heijden, K. y de Gelder, B. (2019). Decoding of emotion expression in the face, body and voice reveals sensory modality specific representations. *bioRxiv*, 869578.
<https://doi.org/10.1101/869578>
- Vázquez Alonso, A. y Manassero Mas, M. A. (2009). Expectativas sobre un trabajo futuro y vocaciones científicas en estudiantes de educación secundaria. *Revista electrónica de investigación educativa*, 11(1), 1-20.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2).
<https://doi.org/10.1080/0140528790010209>
- Vosniadou, S. (Ed.). (2008). *International Handbook of Research on Conceptual Change*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203874813>
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X. y Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to the problem of conceptual change. En *International handbook of research on conceptual change* (February 2019).
- West, L. H. T. y Pines, A. L. (1985). Cognitive structure and conceptual change. En *Educational Psychology*. Academic Press.

ANEXO A. PREGUNTAS DEL CUESTIONARIO DEL ESTÍMULO

<p><i>Fase 1. Planteamiento de la situación</i></p> <p>Un investigador presenta dos latas de refresco sin abrir. A continuación, las latas se colocan en una mesa en posición horizontal y paralelas entre sí, dejando un pequeño espacio entre ambas. En este momento, el investigador simula soplar entre las latas y se plantean las preguntas siguientes.</p> <p><i>Objetivos de la fase 1</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Conocer las concepciones alternativas de los participantes con respecto al fenómeno a estudiar y su nivel de confianza con respecto a estas. 	
<p><i>Pregunta 1.1</i> ¿Qué ocurre si se sopla en el espacio entre las dos latas tumbadas?</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Las latas no se moverán. – Las latas se desplazarán hacia adelante. – Las latas se acercarán. – Las latas se desplazarán hacia el que sopla. – Las latas se alejarán.
<p><i>Pregunta 1.2</i> ¿En qué medida estás segura/o de la respuesta seleccionada?</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Muy poco – Poco – Algo – Mucho
<p><i>Pregunta 1.3</i> Elige la justificación que mejor explique tu predicción.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Al soplar, introducimos más aire entre las latas, lo que hará que se separen. – Al soplar disminuirá la presión entre las latas, lo que hace que se acerquen empujadas por la presión de fuera. – Al soplar paralelamente a las latas, el aire no va a entrar en contacto con estas, por lo que no se van a mover. – Al soplar, el aire hará que las latas se desplacen hacia delante. – El aire rebota en las latas y las atrae hacia quien sopla. – Al soplar aumenta la presión entre las latas, siendo empujadas ligeramente hacia fuera, pero dado que estas tienden a volver a su estado original, terminarán por acercarse. – Al soplar, quitaremos el aire entre las latas y esto hará que se acerquen. – El aire que expulsa un humano al soplar no tiene fuerza y por tanto no produce ningún movimiento en las latas.
<p><i>Fase 2. Ruptura cognitiva</i></p> <p>El investigador sopla en el espacio entre las dos latas, lo que desencadena que estas se acerquen entre sí y se choquen. Tras este hecho, se realizan las siguientes preguntas.</p> <p><i>Objetivos de la fase 2</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Registrar las respuestas del alumnado en el momento en el que enfrentaba la disonancia entre la predicción que había realizado y lo que había ocurrido. 	

<p><i>Pregunta 2.1</i> ¿Qué ha ocurrido al soplar en el espacio entre las dos latas tumbadas?</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Las latas no se han movido. – Las latas se han desplazado hacia adelante. – Las latas se han acercado. – Las latas se han desplazado hacia el que sopla. – Las latas se han alejado.
<p><i>Pregunta 2.2</i> ¿En qué medida estás segura/o de la respuesta seleccionada?</p>	<p>Misma lista de respuestas que la pregunta 1.2.</p>
<p><i>Pregunta 2.3</i> ¿Por qué crees que ha pasado esto?</p>	<p>Misma lista de respuestas que la pregunta 1.3.</p>
<p><i>Pregunta 2.4</i> ¿En qué medida estás segura/o de la respuesta seleccionada?</p>	<p>Misma lista de respuestas que la pregunta 1.2.</p>
<p><i>Fase 3. Explicación del fenómeno por parte del investigador</i></p> <p>Se observa de nuevo el fenómeno presentado en la fase 1, un investigador sopla en el espacio entre dos latas tumbadas y después estas se acercan entre sí y chocan. Mientras tanto, se proporciona la siguiente explicación:</p> <p>El principio de Bernoulli, de física de fluidos, nos indica que al aumentar la velocidad de un fluido disminuye la presión lateral que este ejerce. El aire que soplamos entre las latas desplaza al que había entre ellas anteriormente. Este aire tiene mayor velocidad y por lo tanto ejerce una presión menor sobre las paredes de las latas. Por otra parte, el aire circundante de la atmósfera sigue aportando una presión en los otros lados de la lata. Esta diferencia de presión genera una fuerza neta que hace que las latas se junten.</p> <p><i>Objetivos de la fase 3</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Proporcionar una explicación científica al fenómeno observado. 	
<p><i>Fase 4. Solicitud de explicación del fenómeno a cada estudiante</i></p> <p>Se solicita al participante que explique con sus propias palabras el fenómeno que acaba de presenciar. A continuación, se realizan las siguientes preguntas.</p> <p><i>Objetivos de la fase 4</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Registrar la reelaboración conceptual y el grado de seguridad con respecto a esta. 	
<p><i>Pregunta 4.1</i> ¿Podrías explicar con tus propias palabras el fenómeno que acabas de presenciar?</p>	<p>Respuesta libre.</p>
<p><i>Pregunta 4.2</i> ¿En qué medida estás segura/o de la explicación proporcionada?</p>	<p>Misma lista de respuestas que la pregunta 1.2.</p>

Study of Emotions in a Cognitive Breakthrough Process Through Facial Recognition

Ángel Ezquerro, Sonia Pamplona, Amalia Casas-Mas, Iván Nieto-Gómez

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas Facultad de Educación – CFP.

Universidad Complutense de Madrid, España

angelezq@ucm.es, spampilon@ucm.es, amacasas@ucm.es, ivnieto@ucm.es

Alternative conceptions are mental representations that we develop about the environment; they are implicit and have a pragmatic character (Pozo & Gómez Crespo, 1998; Schnotz et al., 1999). They prove to be highly resistant to change (Driver et al., 1985) and are often disconnected from each other or lack internal coherence. When there is a transformation of these pre-existing conceptions, it is referred to as conceptual change (Posner et al., 1982; Vosniadou, 2008). This process is complex and not easily achieved (Duit, 1999). However, cognitive processes appear to involve intentionality, interest, values, and emotions (Dolan, 2002; Matusovich & McCord, 2012). Thus, to differentiate from «cold» approaches, the term *hot cognition* was introduced (Pintrich et al., 1993) along with *hot conceptual change*.

Traditionally, the identification of emotions has been carried out declaratively (through questionnaires, interviews, etc.) and observationally. While these methodologies have led to significant advancements, specific shortcomings have been identified in tracking epistemic emotions. To address these issues, techniques such as facial emotion recognition (FER) have been employed, utilizing artificial intelligence (AI) to automate the process (Ezquerro et al., 2022; Ezquerro et al., 2023; Liaw et al., 2021). AI algorithms undergo successive processing to search for similarities between the graphs of detected facial markers and stored reference patterns.

The overall purpose of this study has been to identify the emotions experienced by students through FER during an activity that collided with their initial conjectures. The emotions detected when students observed the contrast between their conjectures and the facts were two: surprise and disgust. Analysis of emotional flows allowed us to classify the 16 students into 3 groups: Surprise, Anger, and Surprise + Anger.

The Surprise group comprised 9 students (53 %). Surprise expressions started at 1.5 seconds after the collision of the cans and disappeared after the 6th second. This surprise response appears to be related to the dissonance between what happened and the student's prediction.

The anger reaction occurred in a group of 3 students (22 %). Anger expressions began at the 2-second mark after the first collision of the cans and persisted until the end of the studied interval. Members of this group seem to display a rejection of the idea of having failed in their prediction.

The group expressing Surprise + Anger consisted of 4 students (25%). Surprise began at the 2-second mark after the collision and disappeared at the 4-second mark. Displays of anger (lip curling, in this case) commenced at the 3-second mark and continued until the end of the studied interval.

It appears that the contrast between their predictions and reality led them to a sudden imbalance in their pre-existing ideas. This impact was accompanied by highly intense changes in their emotional expressions.

The explanation given by the students after attending an explanation from the teacher was also studied. It was observed that students represented the shape of the cans with their hands or simulated air pressure with their arms while verbally narrating the events. Moreover, the expression data collected during this recall seems to echo the same emotions felt.

Furthermore, the cognitive elements that the individual felt as crucial and wanted to highlight were particularly emphasized with emotional expressions. Not with just any emotion, but with those experienced and felt at the moment of the dissonance. This has significant educational implications, suggesting that when we explain a natural phenomenon, we are imbuing the facts with emotions, specifically, with our emotions. Thus, we would expressively highlight the primacy of the phenomenon for us compared to what is superficial for us.



Mirada profesional del futuro profesor en torno al signo igual

Professional Noticing of the Equal Sign in Prospective Teachers

Sebastián Parodi, Cristina Ochoviet
Consejo de Formación en Educación, Montevideo, Uruguay
parodiseb@gmail.com, cristinaochoviet@gmail.com

Javier Lezama
Profesor invitado, Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo, Guerrero, México
jlezamaipn@gmail.com

RESUMEN • En este trabajo se examina la habilidad docente conocida como *mirada profesional* en situaciones relativas al signo igual. Los participantes cursan el último año de la carrera de profesor de matemática en un instituto de formación docente de Uruguay. Se adopta como perspectiva teórica una conceptualización de la mirada profesional y una categorización de las concepciones de los estudiantes respecto a este signo. Se implementa una secuencia de actividades durante una sesión de trabajo dirigida a todos los participantes, en la que se propone el análisis de respuestas de estudiantes a tareas sobre el signo igual. Los resultados explican la manera en la que los futuros profesores son capaces de mirar profesionalmente en torno a este tópico. Se infieren implicaciones didácticas que pueden contribuir al desarrollo de esta habilidad, esencial en el quehacer profesional del docente.

PALABRAS CLAVE: Mirada profesional; Signo igual; Sesión de trabajo; Formación docente.

ABSTRACT • Professional noticing about students' mathematical thinking in situations that involve the equal sign is examined. The participants are studying the last year of a mathematics teaching program at a teacher training institute in Uruguay. A theoretical perspective is adopted as a conceptualization of professional noticing and categorising students' conceptions regarding the equal sign. A sequence of activities is implemented during a work session aimed at all participants, in which the analysis of students' responses to tasks involving the equal sign is proposed. The results explain the way in which prospective teachers can notice this matter. Educational implications that can contribute to developing this essential skill of the teacher's professional work are thus inferred.

KEYWORDS: Professional noticing; Equal sign; Workshop; Teacher training.

Recepción: octubre 2022 • Aceptación: enero 2023 • Publicación: marzo 2024

Parodi, S., Ochoviet, C. y Lezama, J. (2024). Mirada profesional del futuro profesor en torno al signo igual. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(1), 43-63.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5806>

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la matemática requiere tomar decisiones en torno a la práctica docente para favorecer el aprendizaje de los estudiantes. La mirada profesional, también conocida como *mirar con sentido* o *professional noticing*, es una habilidad que puede resultar útil para esta tarea, pues consiste en percibir e interpretar aspectos significativos de una determinada situación en clase para tomar decisiones de enseñanza fundamentadas en esa interpretación (van Es y Sherin, 2002). Requiere utilizar el conocimiento matemático para la enseñanza con el objetivo de analizar las interacciones de aula, razonar sobre prácticas docentes y decidir justificadamente el tipo de enseñanza que se va a impartir. Una conceptualización de esta habilidad, focalizada en el pensamiento matemático (Jacobs et al., 2010), permite indagar la manera en la que se interpreta la comprensión matemática de los estudiantes y el modo en que se utiliza esa interpretación para tomar decisiones durante la instrucción.

Las investigaciones que exploran la mirada profesional desde esta perspectiva suelen enfocarse en un contexto matemático específico: por ejemplo, la aritmética (Jacobs et al., 2010), la generalización de patrones (Zapatera, 2019), los números racionales (Bartell et al., 2013), la transición del pensamiento aditivo al multiplicativo (Fernández et al., 2012) o la derivada (Sánchez-Matamoros et al., 2015). Este estudio se centra en el dominio matemático del signo igual debido a la importancia que tiene su comprensión en la introducción al álgebra (Knuth et al., 2008), lo que se suma a la escasez de trabajos previos que han explorado la mirada profesional en este contexto (Kiliç y Masal, 2019; van den Kieboom et al., 2017).

REVISIÓN DE ANTECEDENTES Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Los estudiantes de enseñanza secundaria (de aquí en adelante, *estudiantes*) tienden a interpretar el signo igual como indicador del resultado de una operación, en lugar de interpretarlo como indicador de una relación de equivalencia (Kieran, 1981; Burgell y Ochoviet, 2015; Parodi et al., 2017), esencial para el estudio del álgebra (Knuth et al., 2008). Pese a la necesidad de atender las interpretaciones del signo igual en la enseñanza, los docentes suelen desconocer esta problemática y evidencian dificultades para anticipar objetivos, prever estrategias de resolución o gestionar tareas sobre este signo matemático (Prediger, 2010; Stephens, 2006).

La investigación creciente en mirada profesional muestra que es posible diseñar e implementar módulos de enseñanza para explorar o promover el desarrollo de esta habilidad (Llinares et al., 2019). Suele proponerse el análisis de representaciones de la práctica (Buchbinder y Kuntze, 2018) con base en *lentes teóricas* presentadas al inicio para centrar la atención de los participantes en aspectos matemáticos relevantes (Fernández y Choy, 2020). Decidir es la destreza más difícil de desarrollar, porque ser conscientes de la comprensión de los estudiantes no garantiza una toma de decisiones efectivas para la enseñanza (Lee y Choy, 2017).

Solo dos trabajos exploran la mirada profesional en torno al signo igual (Kiliç y Masal, 2019; van den Kieboom et al., 2017). Por un lado, van den Kieboom et al. (2017) implementan un módulo de formación con futuros maestros para indagar las destrezas de percibir y de explorar las estrategias de los estudiantes; en este estudio, cada participante mantiene dos entrevistas clínicas con estudiantes que resuelven tareas sobre el signo igual. Al cabo de la primera entrevista, los participantes recibieron formación teórica acerca de las concepciones de los estudiantes (Matthews et al., 2012), pero no se observó una variación estadísticamente significativa al comparar los hallazgos obtenidos en cada entrevista. Kiliç y Masal (2019), por otro lado, trabajan con futuros profesores, quienes también mantienen una entrevista clínica con estudiantes que resuelven esas tareas; no obstante, la exploración de la mirada profesional ocurre en la entrevista de cada participante con uno de los investigadores a partir del

visionado conjunto de la entrevista clínica en cuestión. En este estudio, no consta si se proporcionó información teórica sobre el signo igual durante la experiencia. Los participantes presentan dificultades para distinguir distintas comprensiones del signo igual en las estrategias de los estudiantes, y consideran innecesario intervenir para apoyar la comprensión respecto de este signo.

Ambos trabajos informan sobre las dificultades para mirar profesionalmente la problemática del signo igual, pero no exploran una propuesta de enseñanza que ayude a desarrollar esta mirada profesional. Si bien el abordaje de lentes teóricas suele ser de utilidad para ello, la formación teórica de los participantes en van den Kieboom et al. (2017) no provocó mayores progresos en la percepción y exploración de las estrategias empleadas por los estudiantes. Con base en estos hallazgos, indagamos otro acercamiento a la mirada profesional en torno al signo igual.

El estudio aquí presente examina la mirada profesional en torno al signo igual de un grupo de futuros profesores de Uruguay (FP) durante una sesión de trabajo en la que se aborda una secuencia de actividades que propone analizar, sin el apoyo de lentes teóricas, las respuestas de estudiantes a tareas sobre este signo. Se plantean tres preguntas de investigación respecto de la participación de los FP en la sesión de trabajo: *i*) ¿qué y cómo son capaces de percibir e interpretar?, *ii*) ¿qué y cómo son capaces de decidir?, *iii*) ¿existen cambios en sus maneras de percibir, interpretar y decidir? Los resultados proporcionan un marco explicativo sobre la forma en la que los FP son capaces de mirar profesionalmente en torno al signo igual.

MARCO CONCEPTUAL

Se conjuga una conceptualización de la mirada profesional (Jacobs et al., 2010) con una categorización de las concepciones del signo igual (Matthews et al., 2012).

Jacobs et al. (2010) señalan que mirar profesionalmente el pensamiento matemático de los estudiantes es una habilidad que implica tres destrezas del profesor: percibir las estrategias de los estudiantes, interpretar la comprensión de los estudiantes y decidir cómo responder a partir de dicha comprensión. *Percibir* consiste en identificar los elementos matemáticos relevantes en las estrategias de los estudiantes, que puedan proporcionar una vía de acceso a su pensamiento matemático. *Interpretar* implica razonar y reflexionar sobre las estrategias empleadas por el alumnado, vinculando evidencias concretas con elementos matemáticos relevantes y los resultados de investigación relativos al pensamiento matemático de los estudiantes. *Decidir* requiere razonar para tomar decisiones docentes que favorezcan el progreso de los aprendizajes, de forma accesible pero desafiante, según la comprensión de los alumnos y los hallazgos de investigación relativos al aprendizaje.

Matthews et al. (2012) identifican cuatro niveles de conocimiento del signo igual según el tipo de igualdades numéricas que aborda cada uno: operacional rígido, operacional flexible, relacional básico y relacional comparativo. El nivel *operacional rígido* se refiere a aquellas sentencias con operaciones solo al lado izquierdo del signo igual: $5 + 2 = 7$. *Operacional flexible* introduce las sentencias compatibles en una visión operacional, pero con operaciones solamente en el lado derecho o sin operaciones: $7 = 5 + 2$ y $5 = 7 - 2$. El nivel *relacional básico* supone abordar las sentencias con operaciones a ambos lados del signo igual mediante cálculos; por ejemplo, en $52 + 25 = 77$ restar 27 a la suma de 52 y 25. *Relacional comparativo* implica el mismo tipo de sentencias, pero requiere la comparación de expresiones sin cálculos por ejemplo, $28 + 32 = 60 + 33$, reconocer que el número faltante es una unidad mayor que 32, ya que 27 es una unidad menor que 28.

Esta conjunción de perspectivas conforma un constructo teórico que permite explorar las destrezas docentes de percibir, interpretar y decidir en torno al signo igual.

Percibir el signo igual

Aquí se tienen en cuenta tres elementos matemáticos relevantes del signo igual, que emergen de la transición entre dos niveles de conocimiento de este signo (Matthews et al., 2012).

Simetría de la igualdad (E1)

Esta se refiere a la idea del igual como signo que puede leerse en ambos sentidos. Se apoya en la propiedad simétrica de la igualdad. Permite abordar igualdades numéricas con operaciones solamente del lado derecho del signo igual, así como resolver ecuaciones dadas y comparar sus soluciones para decidir si estas son equivalentes. Permite transitar de una concepción operacional rígida a una concepción operacional flexible (Matthews et al., 2012).

Igualdad de cantidades (E2)

Alude a la idea del igual como signo que relaciona cantidades iguales. Está ligado a la propiedad reflexiva de la igualdad, y posibilita abordar igualdades numéricas con operaciones a ambos lados de este signo realizando operaciones, así como verificar si un número dado es la solución de una ecuación. Permite transitar de una concepción operacional flexible a una concepción relacional básica (Matthews et al., 2012).

Conservación de la igualdad (E3)

Se trata de la idea del igual como signo que conserva la igualdad. Guarda relación con las definiciones y propiedades de las operaciones en R (por ejemplo, la propiedad cancelativa de la suma). Hace posible el planteamiento de igualdades numéricas con operaciones a ambos lados del signo igual, comparando expresiones y sin realizar cálculos, así como identificar las transformaciones que generan dos ecuaciones con la misma solución. Permite transitar de una concepción relacional básica a una concepción relacional comparativa (Matthews et al., 2012).

Interpretar el signo igual

Aquí se consideran cuatro momentos de comprensión del signo igual, que se apoyan respectivamente en los cuatro niveles de conocimiento de Matthews et al. (2012).

Operacional rígido (M1)

Se caracteriza por una lectura unidireccional del signo igual, de izquierda a derecha, en la que este signo se interpreta como el indicador del resultado de una operación o una respuesta, una señal de hacer algo o un separador entre las etapas intermedias de un cálculo. Esta interpretación, ligada a una asociación entre las palabras *resultado* y *solución*, conduce a pensar que la solución de una ecuación es el segundo miembro de la ecuación.

Operacional flexible (M2)

Se caracteriza por una lectura unidireccional y operacional del signo igual, pero incorpora la posibilidad de que esta sea de derecha a izquierda y, por tanto, posibilita un entendimiento instrumental del concepto de solución de una ecuación, como número que se obtiene al despejar la variable y al resolver una ecuación.

Relacional básico (M3)

Se caracteriza por una lectura bidireccional del signo igual, en la que este se interpreta como el indicador de una relación de equivalencia; es decir, favorece la conceptualización del concepto de solución de una ecuación como número que verifica una ecuación.

Relacional comparativo (M4)

Se caracteriza por una lectura bidireccional y relacional del signo igual, pero se apoya en el uso de las operaciones y sus propiedades para abordar sentencias numéricas o problemas de ecuaciones equivalentes sin realizar cálculos.

Decidir en torno al signo igual

Se toman como referencia las siguientes prácticas de enseñanza relativas al signo igual, con base en investigaciones que han realizado un aporte sustantivo al aprendizaje de este signo, tanto en un contexto aritmético de igualdades numéricas como en uno algebraico de tareas sobre ecuaciones equivalentes.

Contexto aritmético

Plantear tareas con sentencias numéricas para analizar o completar igualdades numéricas, en contextos no estándar de operaciones del lado derecho y de operaciones a ambos lados (Burgell y Ochoviet, 2015); plantear operaciones y solicitar que las respuestas estén dadas por otras operaciones que representen el mismo valor (Darr, 2003); plantear expresiones del tipo $\diamond = \Delta + 2$ y preguntar qué relación debe existir entre los números representados por símbolos para que la sentencia sea verdadera (Darr, 2003).

Contexto algebraico

Plantear tareas enfocadas a similitudes y diferencias (Parodi et al., 2017); proponer la construcción de ecuaciones algebraicas a partir de igualdades numéricas con operaciones a ambos lados (Kieran, 1981); utilizar el método de prueba y error al incursionar en la resolución de ecuaciones (Kieran, 1981); utilizar *es lo mismo que* en lugar de *da* para aludir al resultado de una operación (Knuth et al., 2008).

MÉTODO

Se propone un estudio de casos con nueve FP que cursan el cuarto y último año de la carrera de profesor de matemática en un instituto de formación docente de Uruguay.

Contexto y participantes

Los participantes tienen aprobados dos cursos anuales de Didáctica de la Matemática - Práctica Docente. Al participar en esta investigación, cursan el tercero de estos cursos, por lo que tienen un grupo de enseñanza secundaria a su cargo en el que cumplen el rol completo de profesor. En su práctica de aula son supervisados por un profesor de didáctica que también es responsable de los aspectos teóricos del curso Didáctica de la Matemática - Práctica Docente.

Se diseña una secuencia de actividades dirigida a todos los participantes, que se implementa en una sesión de tres horas y es facilitada por un integrante del equipo de investigación. Los FP no contaban con formación teórica previa sobre mirada profesional o sobre niveles de conocimiento del signo igual.

Se propone intencionalmente no proporcionar de manera explícita lentes teóricas con las que «mirar»; sin embargo, estas lentes se tienen en cuenta en el diseño de la secuencia para que la propia implementación promueva su uso.

Instrumentos

Se diseña una secuencia de siete actividades, que se implementa bajo una dinámica de taller para analizar el caso de Rosa, una estudiante que resuelve distintas tareas sobre el signo igual. La secuencia se apoya en producciones y fragmentos de entrevistas de Parodi (2016). Las actividades presentan respuestas en un contexto aritmético y algebraico que implican distintos significados del signo igual y, a continuación, se formulan preguntas que demandan percibir, interpretar y decidir sobre este signo.

Los FP se organizan en tres equipos de tres integrantes (A: FP1, FP2 y FP3; B: FP4, FP5 y FP6; C: FP7, FP8 y FP9). Cada equipo recibe y aborda la primera actividad; más tarde, se realiza una discusión en gran grupo sobre esta tarea. La dinámica se repite para el resto de las actividades. Los datos de la investigación provienen de la audiograbación de la puesta en común de cada actividad.

La tarea 1 (A1) gira en torno a dos ecuaciones equivalentes, y en ella se indaga si estas tienen la misma solución. La palabra *evaluar*, en la consigna de esta actividad, no se refiere a la tarea de asignar una calificación, sino a la de interpretar la estrategia de resolución de la estudiante. La actividad requiere percibir E2 e interpretar M3 porque el caso planteado supone la verificación de una ecuación y la comprensión del concepto de solución, pero también percibir E1 e interpretar M1, pues la ausencia de respuesta puede deberse a la confusión entre *solución* y *resultado* y a la interpretación del signo igual como indicador del resultado de una operación. La elaboración del *feedback* (1b) permitirá obtener evidencia de la destreza de decidir.

(A1) Se presenta el trabajo de Rosa (12 años, 2.º año de secundaria) en la pregunta 9:

9) Las dos ecuaciones que se muestran a continuación, ¿tienen la misma solución? Explica tu respuesta. Muestra todos tus planteos.

a.

$$\begin{array}{l} 2x + 15 = 31 \\ \hline 16 \\ 31 - 15 = 16 \\ 2 \cdot x = 16 \\ \downarrow \\ 8 \end{array}$$

b.

$$\begin{array}{l} 2x + 15 - 9 = 31 - 9 \\ \hline 16 \\ 31 - 9 \\ \hline 22 \quad 22 \end{array}$$

- Evalúe el trabajo de Rosa. ¿Qué razonamiento utilizó, a partir de lo que plantea?
- ¿Qué le respondería a Rosa?
- ¿Cuál será la respuesta de Rosa a esta pregunta? ¿Por qué?

La actividad 2 (A2) muestra la respuesta de Rosa a la pregunta de la tarea anterior, quien asume que las ecuaciones dadas no tienen la misma solución. La respuesta a esta tarea se presenta en dos actividades separadas para observar la forma en la que es interpretada entre quienes respondieron afirmativa-

mente en A1. Se requiere percibir E1 e interpretar M1 porque la alumna considera el signo igual como indicador del resultado de una operación, así como tomar decisiones antes de proporcionar el *feedback*.

(A2) Rosa respondió de la siguiente manera:

NO, no tienen la misma solución ya que en la a. su resultado da 37 y en el b. es 22.

- a) ¿A qué cree que se debe esta respuesta?
- b) ¿Realizaría ahora el mismo comentario que propuso en la actividad anterior? ¿Por qué?

La actividad 3 (A3) muestra una tarea que indaga si 9 es solución de $x + 18 + 11 = 27 + 11$, donde Rosa realiza una verificación implícita y responde con acierto. Requiere percibir E1 o E2 al describir la estrategia de la alumna, así como interpretar M1 o M3 al inferir la comprensión de la alumna respecto del concepto de solución de una ecuación: como resultado o como valor de la variable que verifica la ecuación.

(A3) Se presenta el trabajo de Rosa en otra pregunta:

10) Sabemos que 9 es la solución de la ecuación $x + 18 = 27$. ¿Es 9 solución de la ecuación $x + 18 + 11 = 27 + 11$? ¿Por qué? Responde sin resolver las ecuaciones.

Si, porque al ver la ecuación te das cuenta que las dos dan 38. Entonces, sería 9 porque da igual a $27 + 11$.

- a) ¿Qué conocimientos considera que utiliza Rosa para responder esta pregunta?
- b) ¿Cómo explica que Rosa haya respondido la pregunta 10 de la manera en que se muestra arriba y haya dado la siguiente respuesta a la pregunta 9?

NO, no tienen la misma solución ya que en la a. su resultado da 37 y en el b. es 22.

La actividad 4 (A4) plantea un extracto de entrevista en la que Rosa completa la sentencia $14 \times 3 = __ - 3$. Requiere percibir E1 e interpretar M1, puesto que la alumna considera el signo igual como indicador del resultado de una operación. También reflexionar sobre las decisiones de enseñanza que adoptan los docentes en este contexto (4b y 4c).

(A4) Se mantuvo una entrevista con Rosa en la que se le propuso la siguiente cuestión:

¿Cuál es el número que falta en el espacio vacío? ¿Hay más de una opción?

$$14 \times 3 = __ - 3$$

Rosa escribió lo que está subrayado: $14 \times 3 = 42 - 3 = 39$.

Entrevistador: Tú completaste con 42, agregaste un signo igual y el 39.

Rosa: Sí, o sea, 14 por 3, 42, menos 3, sería 39.

E: ¿Cómo es eso?

R: Claro, si tú haces 14 por 3, te da 42... O sea, 4 por 3, 12; 1 por 3, 3, 30; 30 más 12, 42. Es fácil.

E: Mm...

R: Entonces, acá iría 39.

E: ¿Por qué?

R: Porque hice el resultado de esto, menos 3, que sería 42 menos 3, 39.

E: O sea que...

R: Puse el resultado porque no sabía si era 42 menos 3 o si había que poner el resultado con la cuenta hecha.

E: ¿Qué cuenta?

R: Esta cuenta (se refiere a « $__ - 3$ »)

- ¿Por qué Rosa completa el espacio vacío con el número 42?
- ¿Qué prácticas de aula podrían estar incidiendo en la respuesta de Rosa?
- ¿Qué cambios en las prácticas de aula permitirían a Rosa entender mejor la tarea?

La actividad 5 (A5) muestra un segundo extracto de entrevista en el que Rosa avanza en la comprensión del signo igual. Requiere percibir E2 e interpretar M3 en el caso de la sentencia $17 + 4 = 13 + __$ porque implica la igualdad de cantidades y una comprensión relacional del signo igual. También se necesita percibir E3 e interpretar M4 en el caso de $4 + 9 = 9 + 4$. La percepción de E1 y la interpretación de M1 se requiere en el caso de $14 \times 3 = __ - 3$, donde inicialmente se realiza una lectura unidireccional y se considera el signo igual como indicador del resultado de una operación.

(A5) Se plantea otro fragmento de la entrevista con la estudiante:

Entrevistador: Si se escribe $4 + 9 = 9 + 4$, ¿es verdadero o falso?

Rosa: O sea, lo único que cambia es el orden de los números.

E: ¿Entonces?

R: Es verdadero... Claro, 4 más 9 te da 13 y 9 más 4 también. Te da lo mismo.

E: Entonces, ¿cómo completaría el espacio vacío, acá: $6 + 5 = 5 + __$?

R: Con un 6... Porque 6 más 5 es lo mismo que 5 más 6.

E: ¿Y en este caso: $17 + 4 = 13 + __$?

R: Mmm, acá es distinto, porque no se repite el 4... ¡Ah, me tiene que dar el mismo número resultante!

E: ¿A ver?

R: Claro... (Calcula $17 + 4$). Me da 21, entonces... 8, acá tendría que poner 8. Porque 13 más 8 te da 21 y 17 más 4 también.

[...]

E: Volvamos al primer caso: $14 \times 3 = __ - 3$. Habías completado con 42 y 39.

R: Sí, pero ahora que pienso..., no estoy segura si va 42.

E: ¿Por qué?

R: Porque creo que tiene que dar lo mismo de cada lado.

E: ¿A ver? Supongamos que acá va un 42.

R: Creo que no, porque también hay un -3 , entonces, 14×3 no queda igual que $42 - 3$.

E: ¿Entonces?

R: Tendría que pensar en un número que al restarle 3 me dé 42, o sea, 45.

a) ¿Qué avances logró Rosa respecto de la comprensión del signo igual? ¿Por qué?

b) ¿Qué conocimientos sobre el signo igual le parece que son valiosos en el trabajo matemático de un estudiante?

La actividad 6 (A6) plantea un tercer extracto de entrevista, en el que Rosa se vuelve a enfrentar al caso de A1-A2 y concluye que las dos ecuaciones tienen la misma solución. Requiere, al igual que A5, la percepción de E1, E2 y E3; así como la interpretación de M1, M3 y M4.

(A6) A Rosa se le vuelve a presentar su respuesta a la pregunta 9 del cuestionario:

Rosa: Al resultado final, que es 31, le resté 15. Después, averigüé cuánto tiene que valer x para que al multiplicar por 2 me dé 16. Pensé: 2 por 8 es 16, entonces, 2 por x es 16.

Entrevistador: Mm...

R: Después, 16 más 15 es 31, entonces, x es 8. Y en el $b...$ no sé...

E: Debajo del $2x$ escribes un 16.

R: Sí, porque $16 + 15$ me tiene que dar 31, como en la a , pero acá hay un -9 ... Ah..., ya sé, $31 - 9$ tiene que ser 22, entonces, es lo mismo, está bien...

E: ¿A ver?

R: Claro, 2 por x es 16, más 15 es 31, menos 9 es 22. Después, el resultado me está diciendo que es 31 menos 9, que también es 22. Entonces, en los dos casos es 22.

E: ¿Qué puedes afirmar, entonces, sobre la solución de estas ecuaciones?

R: Solución...

E: Por ejemplo, ¿cuál es la solución de la primera ecuación?

R: Solución... que x es 8...

E: ¿Y la solución de la segunda ecuación?

R: Ah, claro, es la misma, porque hice 2 por 8 más 15 las dos veces, que me tiene que dar 31, solo que en un caso le resté 9 y en el otro no.

a) ¿A qué se debe este cambio en la respuesta de Rosa?

b) ¿Por qué había respondido que las ecuaciones dadas no tienen la misma solución?

c) ¿Qué conocimientos requiere la comprensión del concepto de solución de una ecuación?

La actividad 7 (A7) muestra un último extracto de entrevista en el que Rosa escribe $10 - x = 5$ ante la solicitud de escribir una ecuación con solución 5. Requiere percibir E1 e interpretar M1, porque el segundo miembro de la ecuación coincide con la solución dada, lo que deja entrever una lectura unidireccional, una interpretación operacional del signo igual y una asociación entre solución y resultado. También requiere percibir E2 e interpretar M3, pues la ecuación tiene la solución dada, lo que implica una igualdad de cantidades, una interpretación relacional del signo igual y la noción de solución como valor de la variable que verifica la ecuación. Se espera que se interprete que coexisten dos ideas matemáticamente inconsistentes en la alumna respecto del concepto de solución de una ecuación.

(A7) Aquí se desarrolla la parte final de la entrevista:

Entrevistador: Escribí una ecuación que tenga por solución el número 5.

Rosa: Mmm... (piensa y luego escribe: $10 - x = 5$).

E: ¿Por qué te parece que esa ecuación tiene solución 5?

R: Porque x es 5, entonces, al restarle 5 al 10, nos queda como solución 5.

E: ¿Cómo se te ocurrió esta ecuación?

R: Puse $10 - x$, que x tenía que ser la solución, y como resultado, lo que te está pidiendo es que sea 5. Entonces, hice $10 - 5$, 5... Ah, claro, marqué solución como resultado...

E: ¿Cómo es eso?

R: Claro, en este caso, tendría que ser esta la solución (señala la x) y este el resultado (señala el 5 del segundo miembro).

E: La ecuación que escribiste, ¿tiene solución 5 o no?

R: No sé..., creo que no... No, pará... Sí, para mí sí... No estoy segura.

E: ¿Por qué te parece que 5 es solución?

R: Porque si resto 5 a 10, le estoy restando 5 y el resultado es 5. No sé...

- a) ¿Qué otros elementos deben tenerse en cuenta al abordar situaciones relativas al signo igual?
- b) Varios autores se refieren a la importancia de la comprensión del signo igual para el estudio del álgebra (por ejemplo, Kieran, 1981; Knuth et al., 2008). Una comprensión operacional implica interpretar el signo igual como indicador de un resultado, mientras que una comprensión relacional implica interpretar este signo como la señal de una relación de equivalencia. ¿Qué interpretaciones relativas al signo igual sería necesario que Rosa incorporara para incursionar en el estudio del álgebra? ¿Por qué?

Análisis de datos

Se definen indicadores de percepción, interpretación y decisión en torno al signo igual. Un indicador de percepción es describir las estrategias de resolución con base en los elementos matemáticos relevantes del signo igual involucrados. Por ejemplo, si un estudiante responde que « $5 + 9 = 14 : 2 = 7$ es verdadero porque $5 + 9 = 14$ y $14 : 2 = 7$ », este comentario es la evidencia de que percibe E1: «el estudiante compara el resultado de cada operación con el número que aparece a continuación de cada signo igual, siempre de izquierda a derecha». Un indicador de interpretación es explicitar los momentos de comprensión del signo igual (o de conceptos relacionados) involucrados en una estrategia de resolución. Ante el caso anterior, este comentario es la prueba de la interpretación de M1: «el estudiante interpreta que el signo igual se utiliza solamente para indicar el resultado de una operación». Un indicador de decisión es prever una intervención a partir de los elementos matemáticos del signo igual utilizados en una estrategia para favorecer el tránsito entre momentos de comprensión. En el caso dado, este comentario es la evidencia de la decisión que se apoya en E1 para favorecer M2: «propondría invertir de lugar las expresiones con respecto al signo igual al plantear una operación y su resultado».

RESULTADOS

Se organiza la sección de acuerdo con las preguntas de investigación. Los aportes de cada FP se consideran representativos del equipo al que pertenece, a menos que estos se realicen a título personal (por ejemplo, «a mí me parece») o que se evidencie una oposición de ideas dentro del equipo correspondiente.

¿Qué y cómo son capaces de percibir e interpretar los FP?

Lo primero que perciben los FP son aspectos relativos a la escritura matemática: si una verificación está bien o mal planteada, si falta algún símbolo matemático, si la respuesta al problema es o no es explicitada, si alguna explicación dada por Rosa les resulta insuficiente. Luego tienden a percibir conceptos matemáticamente relevantes que conocen por haber aprobado varios cursos de matemáticas superiores. Esto obstaculiza la interpretación del razonamiento de Rosa, porque priorizan lo que debería haber hecho o aplicado según sus perspectivas, en lugar de valorar lo que realmente realizó. Al avanzar la secuencia, la mirada de los FP comienza a posicionarse en los significados del signo igual.

Por ejemplo, FP1 y FP2, en el siguiente diálogo sobre A1, advierten cierta falta de claridad en la respuesta de Rosa (líneas 1, 3) por la ausencia de un signo igual en la verificación (líneas 5, 6). La preocupación radica en un aspecto que no aporta información relevante sobre la comprensión de la tarea. El énfasis en la escritura les impide centrarse en que Rosa haya obtenido una igualdad numérica. Perciben un aspecto de la estrategia que no se relaciona con elementos matemáticos relevantes del signo igual. Esto les impide formular preguntas acerca del entendimiento de la estudiante de los conceptos involucrados. FP1 y FP2 reconocen la falta de respuesta de Rosa (línea 3), pero asumen que respondería afirmativamente (línea 6). Interpretan que la ausencia de respuesta se debe a un aspecto superficial, la claridad u organización de los planteamientos, en lugar de concebir una posible dificultad con respecto al concepto de solución de una ecuación.

- [1] FP1: Para nosotros, no está muy bien hecho el planteo, obviamente.
- [2] Investigador [I]: ¿Por qué?
- [3] FP1: Por el igual, por ejemplo, donde la x ... no sé... Emm... «Explica tu respuesta», o sea, el planteo, por ejemplo, las cuentas las hizo, pero ¿las ecuaciones tienen la misma solución? No está clara la respuesta.
- [4] FP2: No explicó, en realidad [...] Le faltan algunas igualdades en la segunda ecuación.
- [5] FP1: «22, una llave, 22». Falta el igual, la verificación no es la ideal.
- [6] FP2: Se entiende que tiene la idea, que llega a cosas iguales, por eso suponemos que va a responder que sí, pero el igual no lo escribe.

FP1 y FP2, en el siguiente fragmento, señalan que A1 permite introducir o aplicar el concepto de ecuaciones equivalentes (líneas 7, 9). Exigen implícitamente la aplicación de una estrategia de resolución que es matemáticamente conveniente, pero inusual en la producción de los estudiantes (Knuth et al., 2008). FP2 sugiere otra estrategia de resolución (línea 12) que consiste en obtener la ecuación $2x + 15 = 31$ luego de sumar 9 a ambos miembros de la ecuación $2x + 15 - 9 = 31 - 9$, que implica obtener y comparar dos ecuaciones con los mismos términos para concluir que tienen la misma solución. Se observa un apego de los FP a las posibles estrategias formales de resolución, motivado por el conocimiento que tienen sobre la equivalencia de ecuaciones; esto les impide atender específicamente la estrategia que emplea la estudiante.

- [7] FP1: Tampoco sabemos si ya se introdujo ecuaciones equivalentes, pero me imagino que la idea de la actividad no era hacer todo este planteo...
- [8] I: ¿Cuál te parece que era la idea?
- [9] FP1: Claro, si vieron ecuaciones equivalentes, decir: «esta y esta son equivalentes, tienen la misma solución» y listo.
- [10] I: ¿Por qué?
- [11] FP1: Porque son iguales y hay un -9 de cada lado.
- [12] FP2: Si hubiera sumado 9 a ambos miembros, hubiera llegado a la misma ecuación.
- [13] FP1: Claro, sin tener que hacer todo este planteo.

En la puesta en común de A4, FP3 señala que la estudiante «ve que 14×3 le tiene que dar 42». Advierte que se completan los espacios vacíos con el resultado de la operación planteada a la izquierda de cada signo igual. Si bien no se declara que Rosa muestra una interpretación del signo igual como indicador de un resultado, se menciona la idea del igual como signo que relaciona cantidades iguales para aludir a la comprensión relacional que requería la tarea: «no es que de los dos lados tiene que dar el mismo número». También se destaca un tipo de planteo frecuente en un contexto de operaciones combinadas, donde el signo igual se utiliza para separar las etapas intermedias de los cálculos realizados: «sería como una operación combinada, es decir, 14×3 me tiene que dar 42 y a eso le tengo que restar 3». FP3 percibe E1 e interpreta M1, que están involucrados en la resolución de Rosa; además, percibe E2 e interpreta M3, que se requieren para la resolución óptima de la tarea.

Otro ejemplo en la puesta en común de A6 (fragmento siguiente) muestra que FP4 atribuye el cambio de respuesta de Rosa a una mayor comprensión del signo igual (línea 14) y profundiza en el análisis (línea 16). Percibe E1 e interpreta M1 porque se refiere a la comprensión del signo igual como indicador del resultado de una operación, y señala que esta comprensión condujo a la suposición de que las ecuaciones dadas no tenían la misma solución. Percibe E2 e interpreta M3 puesto que entiende que se pasó a interpretar el signo igual como el indicador de una relación de equivalencia y que esta interpretación permitió resolver con acierto la tarea. Percibe E3 e interpreta M4 al destacar que Rosa identifica una transformación que permite obtener ecuaciones equivalentes (línea 18). FP8 atribuye el cambio de respuesta de Rosa a una mejor comprensión del concepto de solución de una ecuación (línea 17). Percibe E2 e interpreta M3 porque alude al entendimiento del concepto de solución de una ecuación que emerge de la estrategia y reconoce implícitamente que este entendimiento se apoya en la comprensión relacional del signo igual.

[14] FP4: Rosa le dio otro sentido al signo igual.

[15] I: ¿Cómo es eso?

[16] FP4: Antes lo tenía como resultado de la cuenta y por eso concluyó que eran distintas, pero luego, cuando vio que el sentido era llegar a una igualdad de los dos lados, comprendió.

[17] FP8: Creo que pudo entender que la x y la barrita en blanco son lo mismo y que, justamente, la solución es encontrar el número que falta para que se verifique la igualdad.

[18] FP4: Se da cuenta que le resta 9.

La percepción de los aspectos matemáticos de las respuestas de Rosa no siempre antecede a la interpretación de la comprensión de la alumna, sino que, en ocasiones, esta interpretación actúa como puente para la percepción de los elementos matemáticos relevantes correspondientes. En A4, por ejemplo, no se percibe primero la no simetría de la igualdad (E1) para luego interpretarse que se está comprendiendo el signo igual de manera operacional (M1), sino que se realiza esta interpretación aludiendo simultáneamente a esa propiedad. Esto significa que interpretar no siempre es consecuencia de percibir, sino que también pueden contribuir a este último proceso los conocimientos matemáticos en juego.

¿Qué y cómo son capaces de decidir los FP?

Se identifican dos grandes estrategias en las decisiones de los FP durante la sesión de trabajo. La primera se refiere a la toma de decisiones que no están fundamentadas en elementos matemáticamente relevantes. Esto conduce a sugerir tareas que evitan el error (por ejemplo, considerar variables en ambos miembros de una ecuación para impedir la interpretación operacional del signo igual) o a formular preguntas que podrían favorecer una visión operacional del signo (por ejemplo, promover la asociación entre resultado, solución y segundo miembro de una ecuación utilizando la formulación

«cuánto da»). La segunda estrategia consiste en tomar decisiones basadas en una sólida percepción e interpretación. Estas resultaron más potentes para promover el aprendizaje de los distintos significados del signo igual. No obstante, los indicios de percepción e interpretación no aseguran la toma de una decisión apropiada para el aprendizaje de este signo. Decidir es una destreza de mayor dificultad con respecto a percibir e interpretar.

En la puesta en común de A2, por ejemplo, FP1 propone modificar el segundo miembro de $2x + 15 - 9 = 31 - 9$: «propusimos poner $-x$ de este lado, en lugar de -9 , para que la ecuación no quede igual a un número». Si bien la literatura muestra que incluso en el contexto de ecuaciones con la variable en ambos miembros los estudiantes pueden evidenciar una comprensión operacional del signo igual (Parodi et al., 2017), FP1 realiza una propuesta con el fin de obstaculizar esa posibilidad. Se intenta evitar el error de la estudiante, en lugar de tomar una decisión que a Rosa le permita identificar y superar la dificultad relativa al signo igual. La decisión adoptada no favorece la comprensión de este último. FP1 prevé la formulación de preguntas que fortalecen la idea de solución como resultado: «¿ahora cómo se resuelve?, ¿cuánto da ahora?, ¿cuánto dan las dos?». Este discurso puede explicar la asociación que suelen establecer los estudiantes entre resultado, solución y segundo miembro de una ecuación. Los FP no parecen considerar la forma en la que sus discursos pueden ayudar a la comprensión operacional del signo.

En la puesta en común de A4 (fragmento siguiente), FP3 reconoce que los profesores tienden a proponer tareas de cálculo en las que el signo igual se utiliza solamente como un operador o como propuesta de actividad (línea 20). Sugiere un abordaje de sentencias numéricas para completar, aunque no presenta ningún ejemplo. También destaca que los profesores tienden a plantear ecuaciones algebraicas en un contexto estándar de operaciones-igual-respuesta (línea 22). Por ello propone invertir la posición de los miembros con respecto al igual, para así promover otros significados de este signo.

- [19] I: ¿Qué tipo de prácticas podrían estar incidiendo en esta respuesta?
 [20] FP3: En primero, siempre se trata de resolver una operación y no de buscar el número que falta para que se cumpla una igualdad.
 [21] I: ¿Qué más?
 [22] FP3: También poner la incógnita del otro lado de la igualdad, porque siempre se pone la cuenta a la izquierda y el resultado a la derecha.
 [23] I: ¿Por ejemplo?
 [24] FP3: En lugar de plantear 15 por 3 igual a algo, plantear el espacio antes de 15 por 3.

Al avanzar la puesta en común de A4, como se muestra a continuación, la discusión se instala en las prácticas de aula que podrían enriquecer la comprensión del signo igual. FP5 vuelve sobre la tendencia a utilizar el signo igual como un operador en contexto aritmético (línea 25). Percibe E1 e interpreta M1 porque focaliza en la lectura unidireccional y en la comprensión operacional en un contexto de operaciones para calcular. Retoma la propuesta de invertir las expresiones con respecto al signo igual (línea 25), donde recupera E1 para favorecer M2. FP8 señala inconvenientes de utilizar el signo igual solo como propuesta de actividad (línea 29), aporta razones matemáticas para desplazar ese uso del signo y plantea una estrategia para favorecer la comprensión relacional (línea 27): suprimir el igual al plantear un cálculo.

- [25] FP5: Siempre se plantea una operación combinada en la que el igual está como «resultado de» y no como símbolo de igual. No siempre debería ser de izquierda a derecha.
 [26] I: ¿Por acá, FP8?
 [27] FP8: La solución que encontramos es poner cuadraditos y aplicar la propiedad simétrica de la igualdad o directamente quitar el signo igual.

[28] I: ¿Cómo es eso?

[29] FP8: Poner «calcula 2 por 7» y sacarle el signo igual porque, en realidad, poner «2 por 7 igual...» ¿igual qué? Perdí la relación de equivalencia y ahí ya estamos en un error matemático. Si no, ¿cuándo van a entender que el signo igual relaciona dos cosas?... nunca.

Los tres equipos discuten durante la puesta en común de A7 (fragmento siguiente). FP1 y FP2 reflexionan respecto a la necesidad de variar las actividades de enseñanza para generar aprendizajes y a la utilidad de explorar el pensamiento matemático de los estudiantes (líneas 32, 34). FP5 alude al tiempo que requiere la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos (línea 31). Estas reflexiones de carácter general, que no se refieren específicamente al signo igual, muestran que los indicios de la llamada mirada profesional no afloran linealmente durante la sesión de trabajo. En particular, las propuestas realizadas por los FP en cuanto que evidencias de su destreza para decidir están relacionadas con el contexto aritmético y algebraico en el que apareció el signo igual; es decir, la mirada profesional está sujeta al tipo de producción analizada y al campo temático en el que se inscribe.

[30] I: ¿Qué otra reflexión deja el trabajo de hoy?

[31] FP5: Que lleva tiempo y trabajo generar un nuevo concepto en una persona.

[32] FP1: Que se tienen que plantear diferentes actividades para lograr eso, se tiene que cambiar de estrategias.

[33] I: ¿Y respecto de las producciones de los estudiantes?

[34] FP2: Que, si es necesario, tenemos que llamarlos a otra instancia y preguntarles qué es lo que quisieron escribir, porque a veces nos quedamos con una idea y sacamos conclusiones que no refieren a lo que ellos pensaron.

[35] FP7: Sí, bucear más en qué pensó el estudiante.

Cambios en la manera de percibir, interpretar y decidir

Para explorar si existen cambios, se realiza un análisis global de todas las evidencias, ejemplificadas en 5.1 y 5.2, a partir del cual se establecen tres grados de evidencia de la mirada profesional.

En la destreza de percibir, el grado bajo implica la consideración de aspectos de la situación no relacionados con elementos matemáticos relevantes del signo igual: «Rosa escribe una flecha para indicar que x vale 8» (en A1). El grado medio se refiere a percibir algunos de los elementos matemáticos relevantes que involucra la situación: «Rosa, al verificar, realiza operaciones y obtiene el mismo número a cada lado del signo igual» (se percibe solo E2 en A1). El grado alto alude a percibir todos los elementos matemáticos relevantes implicados: «Rosa verifica, pero no sé si puede leer el igual en los dos sentidos» (se percibe E1 y E2 en A1).

En la destreza de interpretar, el grado bajo implica que se infiere la comprensión matemática que revela la situación, sin aludir al signo igual: «Rosa se olvidó de responder» (en A1). El grado medio se refiere a la interpretación de algunos momentos de comprensión del signo igual involucrados: «Rosa comprende el concepto de solución porque deja entrever que 8 es solución de cada ecuación» (se interpreta solo M3 en A1). El grado alto alude a la interpretación de todos los momentos de comprensión implicados: «Rosa comprende el concepto de solución, o bien está asociando solución con resultado, por eso no responde» (se interpreta M1 y M3 en A1).

En la destreza de decidir, el grado bajo implica tomar una decisión que no aporta a la comprensión del signo igual o reflexionar sin realizar una propuesta concreta: «le propondría que vuelva a leer la consigna». El grado medio alude al hecho de tomar decisiones sobre un solo elemento matemático relevante del signo igual de la situación para favorecer un solo momento de comprensión: «le propondría igualdades con operaciones del lado derecho» (se considera E1 para favorecer M2 en A1). El grado alto

alude a la toma de decisiones en torno a dos o más elementos matemáticos relevantes del signo igual en la situación dada para favorecer dos o más momentos de comprensión de este signo: «le propondría igualdades con operaciones del lado derecho y con operaciones a ambos lados del signo igual» (se consideran E1 y E2 para favorecer M2 y M3 en A1).

A partir de esta categorización, se realizan tres esquemas para ilustrar las intervenciones más representativas de cada equipo (figuras 1, 2 y 3), según la destreza, el grado de evidencia (rojo: bajo; amarillo: medio; verde: alto) y la actividad en la que tiene lugar cada una de estas. Se colocan etiquetas con enunciados breves que permiten sintetizar lo que cada equipo percibe, interpreta o decide en cada punto del recorrido. Los esquemas revelan cambios en los tres equipos al percibir, interpretar y decidir en torno al signo igual, los cuales se visualizan gráficamente al comparar el color de los puntos representados sobre una misma línea horizontal.

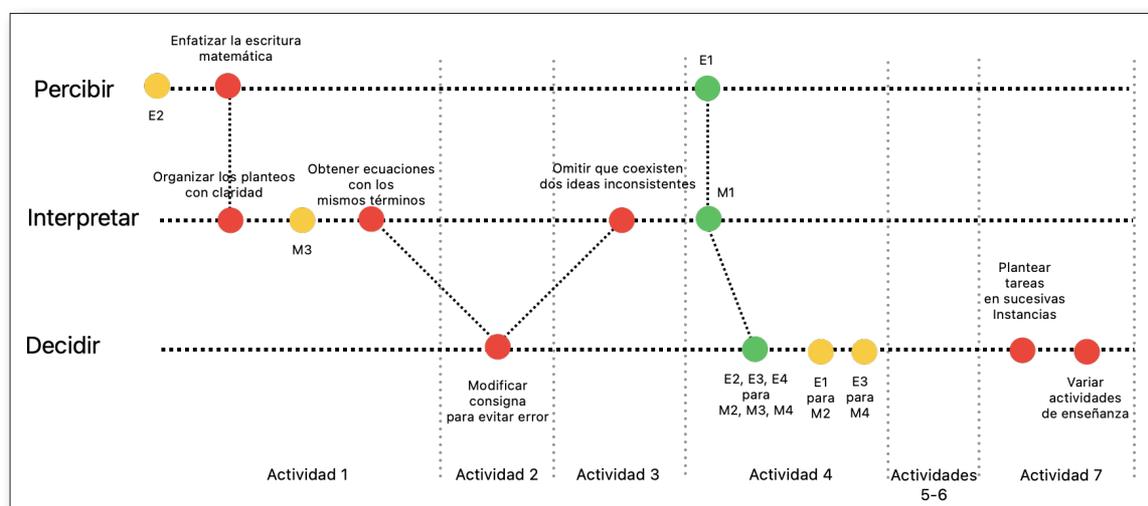


Fig. 1. Mirada profesional del equipo A.

El equipo A, en A1, percibe aspectos de la escritura matemática que no aportan información sobre la comprensión del signo igual. Considera que la ausencia de respuesta de la alumna se debe a una falta de claridad en los planteamientos. Cuestiona la falta de reconocimiento directo de la equivalencia de las ecuaciones dadas, una estrategia de resolución válida pero poco común en estudiantes de secundaria. En A2 propone modificar la tarea para evitar la asociación entre solución y segundo miembro de la ecuación (error), en lugar de tomar una decisión para abordar ese fallo. En A3 interpreta que la estudiante continúa asociando resultado, segundo miembro y solución de una ecuación, omitiendo la coexistencia de dos ideas contradictorias. En A4 interpreta que se está comprendiendo el signo igual como el indicador del resultado de una operación, percibe implícitamente la lectura unidireccional del signo igual y la asocia al planteamiento exclusivo de operaciones para calcular o ecuaciones del tipo $ax + b = c$ para resolver. Toma decisiones que ayudan a la comprensión del signo igual: abordar sentencias numéricas, trabajar con ecuaciones del tipo $c = ax + b$ y utilizar el modelo de la balanza en el estudio de las ecuaciones. En A5 y A6 no se observan evidencias de percepción, interpretación o decisión. En A7 el equipo realiza reflexiones genéricas que no atañen a la enseñanza y el aprendizaje del signo igual: por ejemplo, plantear tareas que demanden más de una instancia de trabajo.

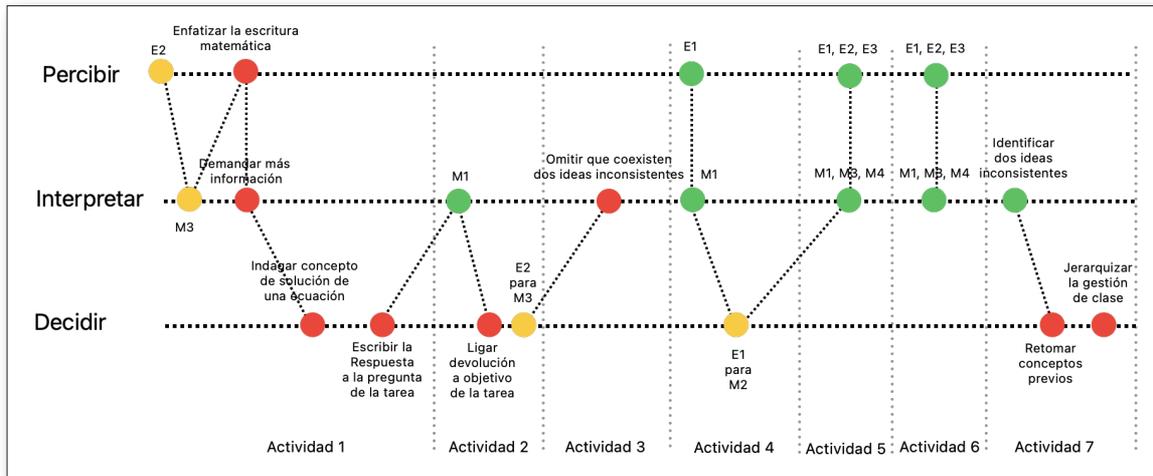


Fig. 2. Mirada profesional del equipo B.

El equipo B, en A1, describe la estrategia de la alumna manifestando preocupación por la forma en que se expresan matemáticamente las ideas, y, aunque problematiza el entendimiento que se infiere del concepto de solución de una ecuación, concluye que es necesario contar con más información. Propone que la alumna indique la solución de cada ecuación y que responda la pregunta de la tarea, sin el propósito explícito de enriquecer la interpretación del signo igual. En A2 alude a la asociación entre resultado de una operación y solución de una ecuación. Sugiere que la alumna está entendiendo la resolución de ecuaciones como la realización de cálculos. Se sugiere sustituir la variable de cada ecuación por la solución de la alumna y condicionar la devolución proporcionada a los objetivos de la tarea; lo que constituye una reflexión genérica, que no aporta nada a la interpretación del signo matemático. En A3 se omite la coexistencia de dos ideas inconsistentes porque se interpreta que la estudiante comete un error de redacción en A1 y A2. En A4 destaca la lectura unidireccional del signo igual, la interpretación de este como indicador del resultado de una operación y la decisión de cambiar expresiones de lugar con respecto al signo igual en cálculos. En A5 y A6 el equipo B muestra una completa evidencia de percepción e interpretación de elementos matemáticos y momentos de comprensión del signo. Alude a la propiedad conmutativa para abordar sentencias numéricas sin realizar cálculos en A5, así como a la habilidad para reconocer directamente la equivalencia de las ecuaciones en A6. En A7 interpreta que conviven dos ideas contradictorias del concepto de solución de una ecuación en la mente de la estudiante. Las reflexiones finales no atienden a la enseñanza y el aprendizaje del signo igual: por ejemplo, se habla de retomar los conceptos previos para avanzar en la enseñanza de cada temática.

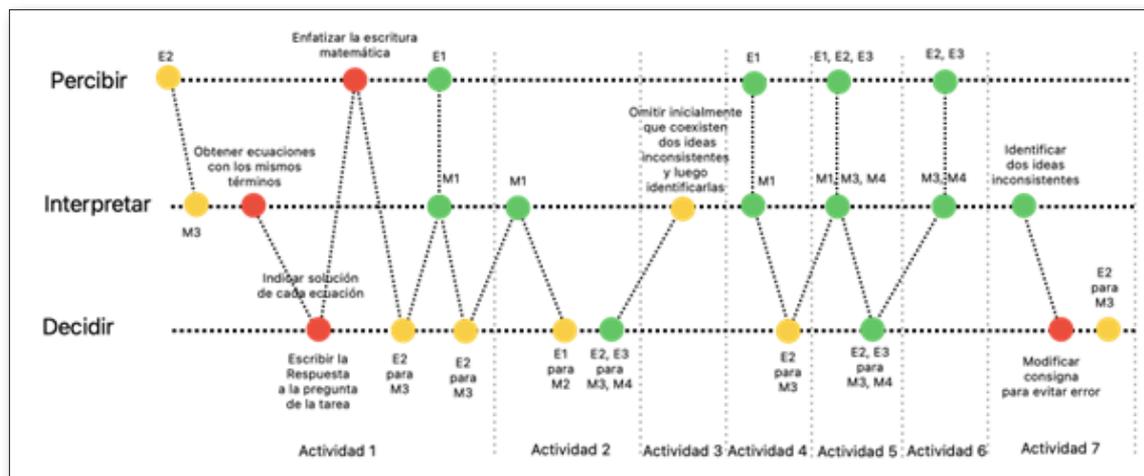


Fig. 3. Mirada profesional del equipo C.

El equipo C, en A1, percibe la escritura matemática de la estudiante, pero también plantea indagar qué significado tiene para la alumna la expresión «22, 22», lo que puede ayudar a la interpretación del signo igual. Anticipa una lectura unidireccional del signo y la asociación entre solución y segundo miembro de una ecuación. Propone una tarea para abordar el concepto de solución de una ecuación. En A2 se refiere a la interpretación del signo igual como indicador del resultado de una operación y toma decisiones para favorecer el aprendizaje de este signo: por ejemplo, planteando una ecuación y su solución para indagar si otra ecuación dada tiene la misma solución. En A3 evidencia una dificultad para reconocer la coexistencia de dos ideas inconsistentes en la alumna, que se diluye al avanzar la puesta en común. En A4 destaca la tendencia de los profesores a limitar el uso del signo igual como propuesta de tarea y sugiere suprimir este signo al plantear operaciones para calcular. En A5 y A6 percibe, interpreta y plantea una nueva intervención para la enseñanza de este signo: abordar sentencias numéricas ligadas al conocimiento de la propiedad conmutativa. En A7 reconoce el pensamiento inconsistente de la estudiante y toma dos nuevas decisiones de enseñanza: jerarquizar la verificación de ecuaciones y proponer ecuaciones con soluciones que no coincidan con el segundo miembro. Esto último es otro ejemplo del fenómeno ya identificado consistente en modificar la consigna de una tarea para evitar que se repita un error, en lugar de tomar una decisión para abordar la dificultad.

En los tres equipos destacan los indicios de mirada profesional que afloran desde A4 en adelante, que contrastan con las dificultades de los FP respecto de esta habilidad hasta la puesta en común de A3.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se propuso examinar la mirada profesional en torno al signo igual de un grupo de FP, en una sesión de trabajo en la que se planteó una secuencia de actividades para analizar respuestas de una estudiante a tareas sobre este signo. Se plantearon tres preguntas de investigación: *i)* ¿qué y cómo son capaces de percibir e interpretar los FP?, *ii)* ¿qué y cómo son capaces de decidir?, *iii)* ¿existen cambios en sus maneras de percibir, interpretar y decidir?

Respecto de la primera pregunta, al percibir, los FP tienden a centrar la atención en la escritura matemática que, si bien es un aspecto que desarrollar durante la escolarización, no debería constituir el principal objetivo de aprendizaje en la iniciación al álgebra. Al interpretar, aluden con frecuencia a la organización de los planteamientos para dar sentido a los errores de la alumna. Los indicios de

percepción no siempre anteceden a los de interpretación, porque si bien el conocimiento matemático facilita la interpretación de la comprensión de los estudiantes, el progreso en la destreza de interpretar también enriquece el conocimiento matemático del futuro profesor. Esto es consistente con van den Kieboom et al. (2017), quienes reportan que los futuros maestros no focalizan en la interpretación del signo igual al explorar estrategias de estudiantes que resuelven tareas sobre este signo.

Respecto de la segunda pregunta, los FP deciden proponer intervenciones para evitar errores de la alumna, en lugar de implementar acciones para abordarlos. Se amplían, pues, los resultados de Kiliç y Masal (2019), quienes informan que los FP consideran innecesario intervenir para favorecer la comprensión del signo igual en entrevistas uno a uno a partir de tareas sobre este signo. Las decisiones que favorecen la comprensión del signo igual son precedidas por evidencias de percepción e interpretación, aunque la percepción e interpretación no asegura una toma de decisiones pertinente. Decidir es la destreza más difícil de desarrollar, en concordancia con estudios previos (Fernández y Choy, 2020; Lee y Choy, 2017).

Respecto de la tercera pregunta, en la sesión de trabajo se revelan cambios en los modos de percibir, interpretar y decidir. Basta contrastar la puesta en común de las primeras tres actividades, donde afloran las dificultades informadas, con la puesta en común de las cuatro actividades restantes, donde aumenta el grado de evidencias de cada destreza. Particularmente en A6, los FP analizan con acierto una respuesta de la alumna que ya habían examinado con dificultad en A1 y en A2. Este estudio explora, entonces, una aproximación a la mirada profesional en el que las distintas concepciones del signo igual no se proporcionan de antemano, sino que emergen en el transcurso de una secuencia diseñada a partir de estas. La emergencia de estas conceptualizaciones teóricas durante la sesión de trabajo orienta el análisis del pensamiento matemático de los estudiantes y permite visibilizar la problemática del signo igual (Prediger, 2010; Stephens, 2006). Este hallazgo entra en diálogo con investigaciones previas que discuten el rol de las lentes teóricas para apoyar la mirada profesional del profesor en formación (Fernández y Choy, 2020; Nickerson et al., 2017; entre otros), pues la secuencia implementada, en ausencia de dichas lentes teóricas previas, resultó eficaz para que estas afloraran y surgieran indicios de mirada profesional en torno al signo igual.

Se complementa y se avanza en la caracterización de las dificultades relativas a esta habilidad y se proporcionan pruebas sobre el potencial de una secuencia para explicitar la problemática del signo igual y ayudar a los FP a mirar profesionalmente en torno a este signo. Una limitación de este abordaje se refiere al sesgo que pudieron ocasionar las interacciones grupales, al realizarse las inferencias respecto de las destrezas de esta habilidad. Se requiere, por tanto, más investigación al respecto para indagar el modo en el que la secuencia implementada, como parte de un módulo de enseñanza, puede aportar a la caracterización y al desarrollo de la mirada profesional en torno al signo igual; esto es, sobre cómo puede enseñarse a mirar profesionalmente.

REFERENCIAS

- Bartell, T., Webel, C., Bowen, B. y Dyson, N. (2013). Prospective teacher learning: recognizing evidence of conceptual understanding. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 16(1), 57-79.
<https://doi.org/10.1007/s10857-012-9205-4>
- Burgell, F. y Ochoviet, C. (2015). Significados del signo igual y aspectos de su enseñanza. Un estudio realizado con estudiantes de primer año de enseñanza secundaria y sus profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(3), 77-98.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1561>
- Darr, C. (2003). The meaning of «equals». *New Zealand Council for Education Research*, 2, 4-7.
<https://doi.org/10.18296/set.0686>

- Fernández, C. y Choy, B. (2020). Theoretical lenses to develop mathematics teacher noticing: learning, teaching, psychological, and social perspectives. En S. Llinares y O. Chapman (Eds.), *International Handbook of Mathematics Teacher Education* (pp. 337-364). Brill.
https://doi.org/10.1163/9789004418967_013
- Fernández, C., Llinares, S. y Valls, J. (2012). Learning to notice students' mathematical thinking through on-line discussions. *ZDM. The International Journal on Mathematics Education*, 44(6), 747-759.
<https://doi.org/10.1007/s11858-012-0425-y>
- Jacobs, V., Lamb, L. y Philipp, R. (2010). Professional noticing of children's mathematical thinking. *Journal for Research in Mathematics Education*, 41(2), 169-202.
<https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.41.2.0169>
- Kieran, C. (1981). Concepts associated with the equality symbol. *Educational Studies in Mathematics*, 12(3), 317-326.
<https://doi.org/10.1007/bf00311062>
- Kiliç, S. y Masal, E. (2019). Secondary school students' attitudes towards the concept of equality and preservice teachers' professional noticing. *International Journal of Psychology and Educational Studies*, 6(3), 49-60.
<https://doi.org/10.17220/ijpes.2019.03.006>
- Knuth, E., Alibali, M., Hartikudur, S., McNeil, N. y Stephens, A. (2008). The importance of equal sign understanding in the middle grades. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 13(9), 514-519.
<https://doi.org/10.5951/mtms.13.9.0514>
- Lee, M. y Choy, B. (2017). Mathematical teacher noticing: the key to learning from lesson study. En E. Schack, M. Fisher y J. Wilhelm (Eds.), *Teacher noticing: Bridging and broadening perspectives, contexts, and frameworks* (pp. 121-140). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-46753-5_8
- Llinares, S., Ivars, P., Buforn, À. y Groenwald, C. (2019). «Mirar profesionalmente» las situaciones de enseñanza: una competencia basada en el conocimiento. En E. Badillo, N. Climent, C. Fernández y M. T. González (Eds.), *Investigación sobre el profesor de matemáticas: formación, práctica de aula, conocimiento y competencia profesional* (pp. 177-192). Ediciones Universidad Salamanca.
- Matthews, P., Rittle-Johnson, B., McEldoon, K. y Taylor, R. (2012). Measure for measure: what combining diverse measures reveals about children's understanding of the equal sign as an indicator of mathematical equality. *Journal for Research in Mathematics Education*, 43(3), 316-350.
<https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.43.3.0316>
- Nickerson, S., Lamb, L. y LaRochelle, R. (2017). Challenges in measuring secondary mathematics teachers' professional noticing of students' mathematical thinking. En E. Schack, M. Fisher y J. Wilhelm (Eds.), *Teacher noticing: Bridging and broadening perspectives, contexts, and frameworks* (pp. 381-398). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-46753-5_22
- Parodi, S. (2016). *Significados del signo igual en la entrada al álgebra: un estudio de casos con estudiantes de segundo grado de enseñanza secundaria* [Tesis de maestría no publicada]. IPN.
- Parodi, S., Ochoviet, C. y Lezama, J. (2017). La comprensión del signo igual en la entrada al álgebra: el diseño de tareas y la conversación en la clase de matemática. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(3), 51-67.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2302>
- Prediger, S. (2010). How to develop mathematics-for-teaching and for understanding: the case of meanings of the equal sign. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 13(1), 73-93.
<https://doi.org/10.1007/s10857-009-9119-y>

- Sánchez-Matamoros, G., Fernández, C. y Llinares, S. (2015). Developing pre-service teachers' noticing of students' understanding of the derivative concept. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(6), 1305-1329.
<https://doi.org/10.1007/s10763-014-9544-y>
- Stephens, A. (2006). Equivalence and relational thinking: preservice elementary teachers' awareness of opportunities and misconceptions. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 9(3), 249-278.
<https://doi.org/10.1007/s10857-006-9000-1>
- Van den Kieboom, L., Magiera, M. y Moyer, J. (2017). Learning to notice student thinking about the equal sign: K-8 preservice teachers' experiences in a teacher preparation program. En E. Schack, M. Fisher y J. Wilhelm (Eds.), *Teacher noticing: Bridging and broadening perspectives, contexts, and frameworks* (pp. 141-159). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-46753-5_9
- Van Es, E. y Sherin, M. (2002). Learning to notice: scaffolding new teachers' interpretations of classroom interactions. *Journal of Technology and Teacher Education*, 10(4), 571-596.
- Zapatera, A. (2019). Descriptores del desarrollo de la mirada profesional en el contexto de la generalización de patrones. *Bolema*, 33(65), 1464-1486.
<https://doi.org/10.1590/1980-4415v33n65a23>

Professional Noticing of the Equal Sign in Prospective Teachers

Sebastián Parodi, Cristina Ochoviet
Consejo de Formación en Educación, Montevideo, Uruguay
parodiseb@gmail.com, cristinaochoviet@gmail.com

Javier Lezama
Profesor invitado, Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo, Guerrero, México
jlezamaipn@gmail.com

Professional noticing of students' mathematical thinking in situations that involve the equal sign is examined in this study. The participants—all of them prospective teachers—are studying the last year of a mathematics teaching program at a teacher training institute in Uruguay. Three research questions were posed: *i*) what and how the prospective teachers are able to perceive and interpret, *ii*) what and how they are able to decide, and *iii*) whether there changes in their ways of perceiving, interpreting and deciding. A conceptualization of professional noticing and a categorization of students' conceptions regarding the equal sign is adopted as a theoretical perspective. A sequence of activities is implemented during a work session aimed at all participants, in which the analysis of students' responses to tasks involving different interpretations of the equal sign is proposed. For data collection, the session was audio recorded. During the session, an academically productive talk in the classroom was promoted. This investigation's results explain how the skills required by a prospective teacher's professional noticing interact and develop. Two practices were fundamental for the development of these important skills in prospective teachers: the analysis of tasks presented within the arithmetic context of numerical sequences to complete or assess, where the equal sign is interpreted as an indicator of the result of an operation, and the analysis of tasks presented within the algebraic context of first-degree equations, in which the root of the equation and the right side of the equation coincide. With regards to the first question, when perceiving, the participants tend to focus their attention on mathematical writing, which, although it is an aspect to be developed during secondary education, should not constitute the main learning objective when first approaching algebra. Regarding interpreting, prospective teachers frequently refer to the organization of the statements to make sense of the student's errors. Perception does not always precede interpretation, because although mathematical knowledge facilitates the interpretation of students' understanding, progress in the skill of interpretation also enriches the mathematical knowledge of the prospective teacher. Regarding the second question, the prospective teachers decide to propose tasks to avoid the student's errors, instead of implementing actions to address them. Decisions that favor the understanding of the equal sign are preceded by evidence of perception and interpretation, although perception and interpretation do not ensure relevant decision making. Deciding is the most difficult skill to develop, in line with previous studies. As for the third question, changes in the ways of perceiving, interpreting, and deciding are revealed in the work session. This study explores, therefore, an approach to professional noticing in which the different conceptions of the equal sign are not provided in advance but emerge over the course of a sequence designed upon them. The emergence of these theoretical conceptualizations during the work session guides the analysis of the students' mathematical thinking and makes the problem around the understanding of the equal sign visible. This finding enters into dialogue with previous research discussing the role of theoretical lenses to support the development of professional noticing in prospective teachers, since the sequence implemented, in the absence of previous theoretical lenses, was effective for the emerging of those lenses and to favor the development of professional noticing of the equal sign.



Las competencias en sostenibilidad del alumnado de educación secundaria según el género

Secondary Education Students' Sustainability Competencies According to Gender

Gisela Cebrián

Departamento de Pedagogía, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, España
gisela.cebrian@urv.cat

Jon Xavier Olano

Institut Universitari de Recerca en Sostenibilitat, Canvi Climàtic i Transició Energètica (IU-RESCAT), Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, España
jonxavier.olano@urv.cat

Juan Prieto

Departamento de Ingeniería Mecánica Térmica y de Fluidos, Universidad de Málaga, Málaga, España
jprieto@uma.es

Álvaro Moraleda

Facultad de Educación, Universidad Camilo José Cela, Villafranca del Castillo, Madrid, España
amoraleda@ucjc.edu

Anna Boqué

Departamento de Geografía, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, España
anna.boque@urv.cat

RESUMEN • En las últimas décadas es plausible un creciente reconocimiento sobre la importancia de integrar las competencias en sostenibilidad en los diferentes niveles educativos, aunque hasta la fecha los estudios sobre la educación secundaria son limitados. El objetivo de este estudio descriptivo es explorar la autopercepción del desarrollo de competencias en sostenibilidad del alumnado de educación secundaria y su relación con el género. Se aplicó un cuestionario a 372 estudiantes de 5 institutos de educación secundaria de la provincia de Tarragona. Los resultados muestran un nivel de autopercepción de las competencias en sostenibilidad bueno, aunque existen diferencias significativas entre hombres y mujeres, principalmente en actitudes y comportamientos en sostenibilidad. Este estudio puede informar el diseño de planes de estudio y el desarrollo de estrategias de educación para la sostenibilidad.

PALABRAS CLAVE: Competencias en sostenibilidad; Género; Alumnado; Educación secundaria; Cambio climático.

ABSTRACT • In the last decades, a growing recognition of the importance of integrating sustainability competences at different educational levels is plausible; however, to date studies on secondary education are still scarce. The aim of this descriptive study is to explore the self-perception of the development of sustainability competences in secondary education students and its relationship with gender. A questionnaire was administered to 372 students from 5 secondary education schools in Tarragona (Spain). The results show a good level of self-perception of sustainability competences, with significant differences between men and women, mainly in attitudes and behaviors in sustainability. This study can inform the design of curricula and the development of educational strategies for sustainability.

KEYWORDS: Sustainability competences; Gender; Students; Secondary education; Climate change.

Recepción: mayo 2023 • Aceptación: octubre 2023 • Publicación: marzo 2024

INTRODUCCIÓN

Las sociedades actuales se enfrentan a diferentes desafíos globales que se manifiestan de distinta forma a escala local y regional, como el cambio climático, las emergencias sanitarias, la desertificación, la deforestación, la degradación ambiental, los conflictos bélicos y la erradicación de la pobreza (Dresner, 2005; Naciones Unidas, 2012). Es en este escenario globalizado donde la necesidad de promover un desarrollo sostenible ha ganado reconocimiento internacional en las últimas décadas, como proceso clave para mejorar la calidad de vida de las personas y promover la equidad y la salud ambiental (Unesco, 2009). Además del diseño e implementación de soluciones técnicas, es también indispensable reorientar los estilos de vida y las prácticas sociales existentes. Para que esta reorientación ocurra, las personas y las comunidades tendrán que involucrarse en procesos de aprendizaje significativo, que promuevan la adquisición de las competencias en sostenibilidad que les permitan vivir e interactuar con el planeta de manera positiva, responsable y colaborativa (Sterling et al., 2017; Wals y Lenglet, 2016).

Las últimas décadas han evidenciado un creciente reconocimiento y acuerdo político sobre el papel de la educación como un agente clave para transformar la sociedad actual en dirección a la sostenibilidad, la equidad y la justicia social (Unesco, 2020; Naciones Unidas, 2012). Numerosas estrategias y políticas nacionales e internacionales han emergido como respuesta; por ejemplo, la Estrategia de Descarbonización 2050 de la Economía Española, la Ley Española de Cambio Climático y Transición Energética (Ley 7/2021), la Estrategia Europea de Desarrollo Sostenible en 2001, la Declaración de la Década de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible (2005-2014) en 2005, la Estrategia de Educación para el Desarrollo Sostenible (ESD o EDS, en español) de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) en 2011 y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptados por los líderes mundiales en la Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible celebrada en 2015. El Gobierno español y la Comisión Europea también han destacado el rol de la educación para promover una transición justa e inclusiva de España y Europa hacia patrones más sostenibles y verdes, lo cual se remarca en la Ley Orgánica de Educación aprobada en 2020 (Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación), en la comunicación del Pacto Verde Europeo, y se reitera en las comunicaciones de la Comisión Europea de 2020 relativas a la consecución del Espacio Europeo de Educación 2025 y al aprendizaje para la transición verde y el desarrollo sostenible (Comisión Europea, 2019; 2022). La educación en todos los niveles y contextos de aprendizaje (formal, no formal e informal) se considera un agente clave para abordar los desafíos actuales relacionados con el cambio climático y la sostenibilidad a los que se enfrentan las sociedades (Leicht et al., 2018; Unesco, 2021; Naciones Unidas, 2012).

Uno de los procesos más destacados en la EDS en este siglo fue la declaración de la Década de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible (UNDESD) (2005-2014). La UNDESD fue coordinada por la Unesco y tenía como objetivo integrar los principios, los valores y las prácticas del desarrollo sostenible en todos los aspectos de la educación y el aprendizaje para abordar los problemas sociales, económicos, culturales y ambientales del siglo XXI. La UNDESD condujo al Programa de Acción Mundial (GAP), que reafirmó el papel clave de la educación en la creación de un futuro más sostenible y buscó generar y ampliar la EDS y acelerar el progreso hacia el desarrollo sostenible reconociendo la importancia de la escolarización y el conocimiento y habilidades de los estudiantes y docentes (Unesco, 2014). El GAP promueve particularmente acciones de EDS en cinco áreas, concebidas como actores y partes interesadas clave: instituciones educativas, docentes, jóvenes, comunidades locales y políticas (Unesco, 2014). Además, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) adoptados por la comunidad global reconocen la educación como un promotor clave de la sostenibilidad y una mejor calidad de vida, mediante la definición de un objetivo específico sobre edu-

cación de calidad (ODS 4) y la definición de un conjunto de objetivos e indicadores que se deberían alcanzar en 2030 (Naciones Unidas, 2015; Unesco, 2020). El Objetivo 4.7 del ODS 4 está dedicado a la EDS y a las competencias y conocimientos sobre sostenibilidad que deben promoverse entre los estudiantes para formar a ciudadanos globales y agentes de cambio hacia sociedades más sostenibles, que defiendan, entre otros, los derechos humanos, la mitigación y adaptación al cambio climático, el consumo sostenible, la igualdad de género y la diversidad cultural (Unesco, 2017).

Las personas como parte de la sociedad deben estar capacitadas para actuar de manera sostenible en situaciones complejas, lo que puede requerir que tomen nuevos caminos y participen en procesos sociopolíticos para que sus sociedades cambien de acuerdo con el modelo de desarrollo sostenible (Sterling et al., 2017; Stibbe, 2009). En este contexto, se requiere una reorientación fundamental de la educación en todos los niveles y áreas para promover estilos de vida sostenibles, la democracia y el bienestar de los seres humanos. La EDS debe entenderse como parte integral de una educación de calidad, inherente al concepto de aprendizaje a lo largo de toda la vida: todas las instituciones educativas, desde la educación infantil hasta la educación superior, pueden y deben fomentar el desarrollo de competencias en sostenibilidad (Leicht et al., 2018; Unesco, 2020).

Promover el desarrollo de competencias en sostenibilidad en todos los niveles educativos es particularmente relevante para la alfabetización en materia de sostenibilidad y para que los individuos se conviertan en agentes de cambio positivos en su vida personal y profesional (Sipos et al., 2008; Unesco, 2021). Aunque existe un creciente reconocimiento sobre la importancia de integrar las competencias en sostenibilidad en los diferentes niveles educativos, hoy en día existen pocas evidencias empíricas del desarrollo de competencias en sostenibilidad en estudiantes de educación secundaria (Cebrián et al., 2020; Olsson et al., 2022). En los últimos años ha habido un aumento en el número de publicaciones sobre la evaluación de las competencias en sostenibilidad utilizando diferentes herramientas, en diversas áreas y contextos, principalmente enfocados en la educación superior, en educadores y en el profesorado en formación (Mulà et al., 2022; UNECE, 2012; Wiek et al., 2011), sin prestar suficiente atención a otros contextos educativos como la educación primaria y secundaria y la formación profesional.

La literatura ha señalado la importancia de la formación de valores, la conciencia ambiental y las competencias en sostenibilidad en la adolescencia, aunque hasta la fecha las investigaciones en la etapa de Educación Secundaria son limitadas (Ignell et al., 2019; Unesco, 2020). A la vez, es importante explorar la relación entre la autopercepción de las competencias en sostenibilidad y la variable del género, pues ésta ha sido estudiada previamente y se han identificado diferencias significativas en los conocimientos y actitudes proambientales entre hombres y mujeres (García-Vinuesa et al., 2020a, Milfont et al., 2015, Poortinga et al., 2019). En este sentido, es fundamental explorar las percepciones de los jóvenes –estudiantes de educación secundaria– por el potencial que existe de influir en la formación de valores a esta edad, y para informar el diseño de planes de estudio, políticas educativas y el desarrollo de estrategias de educación para la sostenibilidad (Deisenrieder et al., 2020).

Por este motivo, el objetivo de este artículo, en el que se presenta un estudio descriptivo, es explorar la autopercepción del desarrollo de competencias en sostenibilidad del alumnado de educación secundaria y su relación con el género. En este trabajo se pretende dar respuesta a dos preguntas de investigación:

1. ¿Cuál es el nivel de autopercepción de las competencias en sostenibilidad en el alumnado de educación secundaria?
2. ¿Existen diferencias en la autopercepción de competencias en sostenibilidad (conocimientos, actitudes y comportamientos) según el género?

LAS COMPETENCIAS EN SOSTENIBILIDAD

Las competencias en sostenibilidad se entienden como la combinación de conocimientos, habilidades cognitivas, habilidades prácticas y valores y actitudes éticas que empoderan a individuos y comunidades para contribuir a la sostenibilidad (Bianchi et al., 2022; Brundiers et al., 2021; de Haan, 2006). La educación basada en competencias implica pasar de enfoques centrados en el profesorado a enfoques centrados en el alumnado (Alcántara Rubio et al., 2022). Cabe destacar que en la última década ha habido un creciente interés académico en definir qué conocimientos, habilidades, actitudes, valores y disposiciones afectivas son necesarias para facilitar la transformación social hacia la sostenibilidad, como la resolución de problemas, la competencia interpersonal y el pensamiento sistémico, el pensamiento de futuro, las competencias estratégicas y las normativas (Brundiers et al., 2021; Wiek et al., 2011). Se han propuesto marcos genéricos de competencias en sostenibilidad (Rieckmann, 2012; Unesco, 2017) junto con marcos más específicos para niños y niñas en edad escolar (de Haan, 2006), estudiantes y grados universitarios (Albareda-Tiana y Gonzalvo-Cirac, 2013; Brundiers et al., 2021; Wiek et al., 2011) o profesores y educadores en formación (Cebrián y Junyent, 2014; UNECE, 2012; Vare et al., 2019).

La mayoría de los artículos publicados en esta área se refieren a contextos de educación superior, con solo algunas publicaciones que abordan la educación infantil, la primaria, la secundaria o la de adultos (Olsson et al., 2022; Sterling et al., 2017). La falta de un marco común y consensuado de competencias en sostenibilidad ha llevado a la proliferación de diferentes marcos y definiciones coexistentes sobre los conocimientos, las habilidades, las actitudes y los valores para la sostenibilidad, sin proporcionar una dirección clara y unificada hacia la promoción de una ciudadanía competente en materia de sostenibilidad (Bianchi, 2020; Mulà et al., 2022). Para abordar esta brecha, el Joint Research Center (JRC) de la Comisión Europea ha publicado recientemente el GreenComp (Bianchi et al., 2022), un marco europeo de competencias en sostenibilidad a lo largo de la vida. GreenComp propone doce competencias en sostenibilidad organizadas en cuatro áreas (encarnar los valores de sostenibilidad, asumir la complejidad de la sostenibilidad, prever los futuros sostenibles y actuar por la sostenibilidad). GreenComp pretende ser un marco competencial de referencia para que en los sistemas educativos europeos se desarrollen conocimientos, actitudes y capacidades que promuevan estilos de vida más sostenibles (Bianchi et al., 2022).

En cuanto a las competencias en sostenibilidad en la Educación Secundaria, hasta la fecha la mayoría de las investigaciones se han centrado en el diseño de instrumentos de evaluación para determinar el grado de conocimientos, las actitudes y las creencias de los jóvenes en relación con el cambio climático y la sostenibilidad (Baldwin et al., 2022; Berglund et al., 2020). La mayor parte de la literatura que investiga las percepciones y las respuestas al cambio climático se ha centrado en adultos y adultos jóvenes (Corner et al., 2015; Lee et al., 2020). En este sentido, uno de los instrumentos más utilizados para medir el cambio climático y las actitudes proambientales ha sido el Nuevo Paradigma Ecológico (NEP) revisado (Dunlap, 2008; Jackson et al., 2016). Específicamente destinado a los jóvenes, Jackson y Pang (2017) utilizaron el NEP para explorar las opiniones de los estudiantes de secundaria sobre el cambio climático en Hong Kong. En relación con las competencias en sostenibilidad, Gericke et al. (2019) han diseñado el cuestionario de conciencia en sostenibilidad, que incluye tanto conocimientos como actitudes y comportamientos en sostenibilidad, y que ha sido validado e implementado en diferentes estados, como Taiwán y Suecia (Berglund et al., 2020). Olsson et al. (2022) han creado un cuestionario que mide la competencia de acción en sostenibilidad en los estudiantes, y muestra un efecto positivo en relación con la implementación de metodologías alineadas con la EDS. En esta línea, Rodríguez-Aboytes y Nieto-Caravero (2018) llevaron a cabo un estudio sobre las competencias en sostenibilidad en estudiantes de educación secundaria de México en el que se diseñó un instrumento que

incluía una tarea de desempeño y un cuestionario de conocimientos y actitudes, donde se observaron actitudes positivas hacia la sostenibilidad, así como un conocimiento básico por parte del alumnado.

En el contexto español, Tomás y Murga-Menoyo (2020) realizaron un análisis comparativo de la coherencia entre las competencias presentes en el currículum oficial de las asignaturas de Biología y Geología de 1.º de la ESO y las competencias clave en sostenibilidad, constatando la falta de temario oficial específico relacionado con la competencia de pensamiento sistémico, el concepto de sistema, el de sostenibilidad y el de desarrollo sostenible. Tal y como señalan numerosos trabajos previos al que aquí presentamos (Cebrián y Junyent, 2014; Barrón et al., 2010; Alcántara Rubio et al., 2022), es necesaria una ambientalización o sostenibilización curricular en todos los niveles educativos, donde se integre la sostenibilidad de forma holística en el currículum, se repiensen los métodos pedagógicos y espacios de aprendizaje, se promueva el trabajo transversal e interdisciplinar y se interrelacionen e integren las dimensiones sociales, ambientales y económicas de la sostenibilidad. En este sentido, cabe destacar la guía PRADO (Murga-Menoyo y Bautista-Cerro, 2019), que contextualiza y relaciona los diecisiete ODS con los contenidos de las asignaturas del currículum básico de Educación Secundaria, proporcionando actividades prácticas y formativas para promover un mayor conocimiento de los ODS y el desarrollo de competencias en sostenibilidad en el alumnado.

GÉNERO Y SOSTENIBILIDAD EN ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN SECUNDARIA

La mayor parte de los estudios sobre género y sostenibilidad que se han publicado hasta la fecha se centran en la percepción y los conocimientos de los jóvenes en relación con el cambio climático y la sostenibilidad, pero prácticamente no existen estudios que aborden explícitamente las competencias en esta última materia. Boon (2010) realizó un estudio para determinar y comparar la comprensión y el conocimiento sobre el cambio climático de estudiantes de educación secundaria y futuros maestros que mostró un bajo nivel de comprensión y concepciones erróneas predominantes entre ambos grupos, hombres y mujeres. Dijkstra y Goedhart (2012) probaron y validaron un cuestionario de actitud hacia el cambio climático y la ciencia, con 671 estudiantes de educación secundaria de cinco países europeos, incluidos Francia, Noruega, Italia, los Países Bajos y España. En este estudio, los estudiantes más jóvenes y las mujeres obtuvieron puntuaciones más altas en varias actitudes con respecto a los estudiantes mayores y los hombres.

Si bien los trabajos de investigación existentes muestran que los jóvenes europeos tienen niveles comparables o más altos de interés y preocupación con relación al cambio climático que los grupos mayores, esto no se traduciría en un cambio de comportamientos y estilos de vida (Corner et al., 2015; Unión Europea, 2021). Existen otros estudios que muestran diferentes roles y patrones de comportamiento en función del género en relación con el cambio climático y la sostenibilidad. En este sentido, los argumentos sobre cambio climático centrados en la ciencia y la economía se atribuyen a los hombres, mientras que los argumentos basados en la justicia ambiental y la ética se atribuyen a las mujeres (Swim et al., 2018). En la misma línea, en el estudio realizado por Stevenson et al. (2019) se concluyó que, en relación con los estudiantes de educación secundaria, las mujeres perciben el cambio climático como un riesgo y un problema en mayor medida que los hombres. Algunos estudios van más allá del estudio de las actitudes y muestran evidencias de que la participación de las mujeres en actividades políticas se correlaciona positivamente con mayores beneficios ambientales (Lv y Deng, 2019). Otros estudios han observado que los países con una mayor proporción de mujeres en el parlamento o en el Gobierno son más sensibles a los tratados ambientales y a la creación de áreas protegidas que aquellos con una mayor proporción de hombres en cargos gubernamentales (Norgaard y York, 2005; Nugent y

Shandra, 2009). Si bien existen evidencias en la literatura que muestran que los hombres y las mujeres tienen diferentes niveles de interés, preocupación e implicación social en el cambio climático (Milfont et al., 2015, Poortinga et al., 2019), estos resultados no serían concluyentes, ya que también existen factores sociales y culturales determinantes (Berglund et al., 2020; García-Vinuesa et al., 2020b).

METODOLOGÍA

Contextualización y caracterización de la muestra

La muestra estuvo compuesta por 372 alumnos (véase tabla 1) de 5 institutos de educación secundaria (3 de titularidad pública y 2 concertados) de la provincia de Tarragona (España); 3 situados en la ciudad de Tarragona, 1 en Cambrils y 1 en Vila-seca. La aplicación del cuestionario se realizó en el curso 2021-2022 y se distribuyó a alumnado de 3.º y 4.º de Educación Secundaria Obligatoria y de 2.º de Bachillerato. Se preguntó a los estudiantes si les gustaría completar un cuestionario en línea sobre sus conocimientos, actitudes y comportamientos en sostenibilidad. Se utilizó un muestreo no probabilístico intencional, basado en la participación voluntaria, con edades comprendidas entre los 14 y los 18 años (edad media de 15,23 años y desviación estándar de 1,02 años), con una distribución por género del 43,55 % en hombres y el 56,45 % en mujeres. Los participantes completaron los cuestionarios firmando el consentimiento informado para participar en el estudio. Su decisión de participar fue voluntaria y se garantizó el anonimato y la confidencialidad con respecto a los datos en su recolección y procesamiento.

Tabla 1.
Estadísticos descriptivos de la muestra distribuida por género

		<i>Edad</i>			
		<i>M</i>	<i>DS</i>	<i>N</i>	<i>%</i>
Género	Masculino	15,15	.93	162	43,55 %
	Femenino	15,29	1,09	210	56,45 %
Total		15,23	1,02	372	100,00 %

Instrumento de recogida de datos

El instrumento utilizado en este estudio es la escala de conciencia de sostenibilidad diseñada y validada por Gericke et al. (2019), que ha sido traducida y adaptada al español para esta investigación. La versión corta del instrumento consta de tres dimensiones: conocimientos en sostenibilidad (enunciados declarativos sobre diversos conocimientos relacionados con la sostenibilidad), actitudes en sostenibilidad (disposición, creencias u opiniones) y comportamientos en sostenibilidad (manera de comportarse o actuar en determinadas situaciones y contextos). Esta prueba cuenta con una excelente estructura factorial y una satisfactoria fiabilidad como consistencia interna, tanto en el índice general como por dimensiones, α de Cronbach $> ,70$ en la muestra original de Gericke et al. (2019) y α de Cronbach $> ,90$ en la muestra de este estudio. Las tres dimensiones (conocimientos, actitudes y comportamientos) corresponden con la definición de competencias en sostenibilidad de diferentes autores, siendo dimensiones esenciales para contribuir a alcanzar la sostenibilidad (Bianchi et al., 2022; Cebrián et al., 2020).

El instrumento se compone de 27 ítems, 9 para cada dimensión, que incluyen 3 ítems relacionados con el ámbito ambiental, 3 con el ámbito social y 3 con el ámbito económico de la sostenibilidad. Se ha utilizado una escala tipo Likert de cinco puntos: Totalmente en desacuerdo (1), En desacuerdo (2), Ni en acuerdo ni en desacuerdo (3), De acuerdo (4), Totalmente de acuerdo (5).

Diseño

En este estudio preliminar se ha utilizado un diseño de investigación *ex post facto*, el tipo que se aplica al buscar las causas y la toma de conciencia de un fenómeno que no puede darse porque ya ha ocurrido (Campbell y Stanley, 1963; Fox, 1981; Kerlinger, 1987; Mateo, 1997).

Procedimiento

Cabe destacar que la recogida de información se ha basado en el principio de no intervención, mediante el cual se buscó la completa independencia de la población por analizar, dando así total libertad para contestar al cuestionario y resultando en la participación voluntaria de los sujetos, sin ninguna compensación económica por haber formado parte del estudio y respetando el carácter anónimo y confidencial de los participantes.

Además, con el consentimiento informado se aseguró la cesión de los datos para tratarlos únicamente con fines investigativos, buscando respetar los principios éticos en cuanto a investigaciones científicas se refiere, recogidos estos en la Declaración Ética de Helsinki. Esta investigación (Núm. expediente CEIPSA-2021-PR-0052) obtuvo la aprobación del Comité Ético de Investigación en Personas, Sociedad y Medio Ambiente de la Universitat Rovira i Virgili (CEIPSA) el 1 de marzo de 2022.

Análisis de datos

Antes de la exploración de datos, el supuesto de normalidad fue verificado por Kolmogorov-Smirnov. De acuerdo con los resultados, para el análisis de los datos se utilizaron estadísticas no paramétricas, específicamente la comparación de la prueba U de Mann-Whitney con la correlación biserial de rango (r_{bis}) utilizada como estimador del tamaño del efecto medido, utilizando la versión 26.0 del *software* de análisis estadístico SPSS (Statistical Package for Social Sciences).

RESULTADOS

Los resultados de los análisis estadísticos descriptivos mostraron la media y la desviación típica de los ítems especificados diferenciados por género (véase tabla 2).

Tabla 2.
Análisis estadísticos descriptivos de las variables a analizar: Dimensiones

<i>Dimensión</i>	<i>Género</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>DS</i>
Conocimientos en sostenibilidad	Masculino	162	35,02	6,533
	Femenino	210	35,74	6,951
Actitudes en sostenibilidad	Masculino	162	35,15	6,294
	Femenino	210	36,90	5,736
Comportamientos en sostenibilidad	Masculino	162	30,88	8,138
	Femenino	210	32,60	6,674

En lo relativo a la comparativa de las dimensiones del instrumento según el género, tras haber realizado la prueba de análisis de rangos con signo de Mann-Whitney (tabla 3), se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en una de las tres dimensiones ($p < ,050$), con tamaño del efecto

bajo ($r_{bis} = 0,100$), con mejor rango medio en mujeres frente a hombres: Actitudes en sostenibilidad ($p = ,003$; $r_{bis} = 0,143$).

Tabla 3.
Resultados de prueba de rangos con signo de Mann Whitney.
Comparativa de dimensiones por género

Dimensión	Género	N	Media de rangos	Suma de rangos	U	p valor	r_{bis}
Conocimientos en sostenibilidad	Masculino	162	178,20	28869,00	15666,000	.191	0,053
	Femenino	210	192,90	40509,00			
Actitudes en sostenibilidad	Masculino	162	167,74	27174,00	13971,000	.003*	0,143
	Femenino	210	200,97	42204,00			
Comportamientos en sostenibilidad	Masculino	162	174,76	28310,50	15107,500	.064	0,177
	Femenino	210	195,56	41067,50			

Nota: * $p < ,050$

En el mismo sentido, y ahondando en cada dimensión, se realizó la misma prueba diferenciando por ítem. En cuanto a la primera, Conocimientos en sostenibilidad, únicamente en uno de los nueve ítems se encontraron valores estadísticamente superiores en las mujeres frente a los hombres (véanse tablas 4 y 5): 8. *El desarrollo sostenible requiere una distribución justa de bienes y servicios entre las personas del mundo* ($p = .038$; $r_{bis} = 0,116$).

Tabla 4.
Análisis estadísticos descriptivos de las variables que analizar:
Ítems de la dimensión Conocimientos en sostenibilidad

Ítem del cuestionario	Género	N	M	DS
1. La reducción del consumo de agua es necesaria para el desarrollo sostenible	Masculino	162	3,56	1,14
	Femenino	210	3,75	1,16
2. Preservar la variedad de seres vivos es necesario para el desarrollo sostenible (preservar la diversidad biológica)	Masculino	162	4,23	,97
	Femenino	210	4,30	,94
3. Para el desarrollo sostenible, es necesario educar a las personas sobre cómo protegerse a sí mismas de los desastres naturales	Masculino	162	3,83	1,05
	Femenino	210	3,89	1,11
4. Una cultura donde los conflictos se resuelvan pacíficamente mediante la discusión es necesaria para el desarrollo sostenible	Masculino	162	3,80	1,22
	Femenino	210	3,86	1,25
5. Respetar los derechos humanos es necesario para el desarrollo sostenible	Masculino	162	4,13	1,00
	Femenino	210	4,09	1,10
6. Para conseguir un desarrollo sostenible, todas las personas del mundo deben tener acceso a una buena educación	Masculino	162	4,02	1,04
	Femenino	210	3,95	1,14
7. El desarrollo sostenible requiere que las empresas actúen de forma responsable con sus trabajadores, clientes y proveedores	Masculino	162	3,93	1,01
	Femenino	210	3,98	1,13
8. El desarrollo sostenible requiere una distribución justa de bienes y servicios entre las personas del mundo	Masculino	162	3,87	1,04
	Femenino	210	4,10	,93
9. Eliminar la pobreza en el mundo es necesario para el desarrollo sostenible	Masculino	162	3,67	1,13
	Femenino	210	3,82	1,13

Tabla 5.
Resultados de prueba de rangos con signo de Mann Whitney.
Comparativa de ítems de la dimensión Conocimientos en sostenibilidad por género

Ítem del cuestionario	Género	N	Media de rangos	Suma de rangos	U	p valor	r _{bis}
1	Masculino	162	175,53	28435,50	15232,500	,073	0,082
	Femenino	210	194,96	40942,50			
2	Masculino	162	181,98	29481,50	16278,500	,434	0,073
	Femenino	210	189,98	39896,50			
3	Masculino	162	181,73	29439,50	16236,500	,432	0,028
	Femenino	210	190,18	39938,50			
4	Masculino	162	182,33	29538,00	16335,000	,492	0,024
	Femenino	210	189,71	39840,00			
5	Masculino	162	186,35	30189,50	16986,500	,980	0,019
	Femenino	210	186,61	39188,50			
6	Masculino	162	188,47	30532,00	16691,000	,743	0,032
	Femenino	210	184,98	38846,00			
7	Masculino	162	180,62	29260,00	16057,000	,329	0,023
	Femenino	210	191,04	40118,00			
8	Masculino	162	174,03	28193,00	14990,000	,038*	0,116
	Femenino	210	196,12	41185,00			
9	Masculino	162	177,93	28824,50	15621,500	,160	0,066
	Femenino	210	193,11	40553,50			

Nota: * $p < ,050$

En la segunda dimensión, Actitudes en sostenibilidad, en cinco de los nueve ítems se encontraron valores estadísticamente superiores en las mujeres frente a los hombres (tablas 6 y 7). Los ítems fueron: 12. *Creo que es importante tomar medidas contra los problemas que tienen que ver con el cambio climático* ($p = ,001$; $r_{bis} = 0,138$); 13. *Creo que se debe dar a todo el mundo la oportunidad de adquirir los conocimientos, valores y habilidades necesarias para vivir de forma sostenible* ($p = ,000$; $r_{bis} = 0,203$); 15. *Creo que las mujeres y los hombres de todo el mundo deben tener las mismas oportunidades de educación y trabajo* ($p = ,000$; $r_{bis} = 0,172$); 16. *Creo que las empresas tienen la responsabilidad de reducir el uso de envases y artículos de un solo uso* ($p = ,000$; $r_{bis} = 0,171$); 18. *Creo que las empresas de los países ricos deberían dar a los trabajadores de los países pobres las mismas condiciones que en los países ricos* ($p = ,005$; $r_{bis} = 0,138$).

Tabla 6.
Análisis estadísticos descriptivos de las variables que analizar:
Ítems de la dimensión Actitudes en sostenibilidad

Ítem del cuestionario	Género	N	M	DS
10. Creo que utilizar más recursos naturales de los que necesitamos no amenaza la salud y el bienestar de las personas en el futuro	Masculino	162	2,83	1,40
	Femenino	210	2,65	1,47
11. Creo que necesitamos leyes y regulaciones más estrictas para proteger el medio ambiente	Masculino	162	3,96	,99
	Femenino	210	4,13	,96
12. Creo que es importante tomar medidas contra los problemas que tienen que ver con el cambio climático	Masculino	162	4,11	,93
	Femenino	210	4,37	,94

Ítem del cuestionario	Género	N	M	DS
13. Creo que se debe dar a todo el mundo la oportunidad de adquirir los conocimientos, valores y habilidades necesarias para vivir de forma sostenible	Masculino	162	3,99	1,08
	Femenino	210	4,40	,89
14. Creo que los que vivimos ahora debemos asegurarnos de que las personas en el futuro disfruten de la misma calidad de vida que hoy	Masculino	162	4,07	,99
	Femenino	210	4,13	1,00
15. Creo que las mujeres y los hombres de todo el mundo deben tener las mismas oportunidades de educación y trabajo	Masculino	162	4,20	,98
	Femenino	210	4,52	,85
16. Creo que las empresas tienen la responsabilidad de reducir el uso de envases y artículos de un solo uso	Masculino	162	3,91	1,02
	Femenino	210	4,25	,94
17. Creo que es importante reducir la pobreza	Masculino	162	4,13	,92
	Femenino	210	4,23	1,02
18. Creo que las empresas de los países ricos deberían dar a los trabajadores de los países pobres las mismas condiciones que en los países ricos	Masculino	162	3,94	1,00
	Femenino	210	4,21	,94

Tabla 7.
Resultados de prueba de rangos con signo de Mann Whitney.
Comparativa de ítems de la dimensión Actitudes en sostenibilidad por género

Ítem del cuestionario	Género	N	Media de rangos	Suma de rangos	U	p valor	r _{bis}
10	Masculino	162	194,44	31499,50	15723,500	,199	0,062
	Femenino	210	180,37	37878,50			
11	Masculino	162	176,12	28532,00	15329,000	,083	0,086
	Femenino	210	194,50	40846,00			
12	Masculino	162	166,94	27044,00	13841,000	,001*	0,138
	Femenino	210	201,59	42334,00			
13	Masculino	162	162,83	26378,00	13175,000	,000*	0,203
	Femenino	210	204,76	43000,00			
14	Masculino	162	182,42	29552,50	16349,500	,493	0,030
	Femenino	210	189,65	39825,50			
15	Masculino	162	164,04	26574,50	13371,500	,000*	0,172
	Femenino	210	203,83	42803,50			
16	Masculino	162	165,77	26855,50	13652,500	,000*	0,171
	Femenino	210	202,49	42522,50			
17	Masculino	162	176,30	28560,50	15357,500	,082	0,051
	Femenino	210	194,37	40817,50			
18	Masculino	162	169,90	27523,00	14320,000	,005*	0,138
	Femenino	210	199,31	41855,00			

Nota: *p < ,050

En la última dimensión, Comportamientos en sostenibilidad, en tres de los nueve ítems se encontraron valores estadísticamente superiores en las mujeres frente a los hombres (véanse tablas 8 y 9). En concreto, en los siguientes ítems: 21. *He cambiado mi estilo de vida personal para reducir los residuos (por ejemplo, tirar menos alimentos o no derrochar materiales)* (p = ,008; r_{bis} = 0,143); 22. *Cuando uso el ordenador o el móvil para chatear, enviar mensajes de texto, jugar, etc., siempre trato a los demás con el*

mismo respeto que lo haría en la vida real ($p = ,002$; $r_{bis} = 0,161$); 24. Muestro el mismo respeto a hombres y mujeres, chicos y chicas ($p = ,004$; $r_{bis} = 0,143$).

Tabla 8.
Análisis estadísticos descriptivos de las variables que analizar:
Ítems de la dimensión Comportamientos en sostenibilidad

Ítem del cuestionario	Género	N	M	DS
19. Reciclo tanto como puedo	Masculino	162	3,60	1,15
	Femenino	210	3,69	1,16
20. Siempre separo los residuos de comida antes de tirar la basura cuando tengo la oportunidad	Masculino	162	3,58	1,28
	Femenino	210	3,80	1,27
21. He cambiado mi estilo de vida personal para reducir los residuos (por ejemplo, tirar menos alimentos o no derrochar materiales)	Masculino	162	3,17	1,25
	Femenino	210	3,52	1,18
22. Cuando uso el ordenador o el móvil para chatear, enviar mensajes de texto, jugar, etc., siempre trato a los demás con el mismo respeto que lo haría en la vida real	Masculino	162	3,87	1,20
	Femenino	210	4,23	1,00
23. Apoyo a una ONG, asociación o grupo ambiental	Masculino	162	2,72	1,44
	Femenino	210	2,86	1,46
24. Muestro el mismo respeto a hombres y mujeres, chicos y chicas	Masculino	162	4,23	1,05
	Femenino	210	4,51	,88
25. Hago cosas que ayudan a las personas pobres	Masculino	162	3,30	1,24
	Femenino	210	3,53	1,13
26. A menudo compro artículos de segunda mano por internet o en una tienda	Masculino	162	3,04	1,35
	Femenino	210	2,95	1,43
27. Evito comprar bienes/productos a empresas con mala fama o reputación en el cuidado de sus trabajadores y del medio ambiente	Masculino	162	3,35	1,33
	Femenino	210	3,50	1,32

Tabla 9.
Resultados de prueba de rangos con signo de Mann Whitney.
Comparativa de ítems de la dimensión Comportamientos en sostenibilidad por género

Ítem del cuestionario	Género	N	Media de rangos	Suma de rangos	U	p valor	r_{bis}
19	Masculino	162	181,81	29453,00	16250,000	,443	0,039
	Femenino	210	190,12	39925,00			
20	Masculino	162	174,96	28344,00	15141,000	,059	0,086
	Femenino	210	195,40	41034,00			
21	Masculino	162	170,09	27554,50	14351,500	,008*	0,143
	Femenino	210	199,16	41823,50			
22	Masculino	162	167,98	27212,50	14009,500	,002*	0,161
	Femenino	210	200,79	42165,50			
23	Masculino	162	181,13	29342,50	16139,500	,386	0,048
	Femenino	210	190,65	40035,50			
24	Masculino	162	170,88	27682,50	14479,500	,004*	0,143
	Femenino	210	198,55	41695,50			

Ítem del cuestionario	Género	N	Media de rangos	Suma de rangos	U	p valor	r_{bis}
25	Masculino	162	176,31	28561,50	15358,500	,097	0,096
	Femenino	210	194,36	40816,50			
26	Masculino	162	190,69	30892,00	16331,000	,500	0,032
	Femenino	210	183,27	38486,00			
27	Masculino	162	179,59	29093,00	15890,000	,263	0,057
	Femenino	210	191,83	40285,00			

Nota: * $p < ,050$

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio con relación a los conocimientos, actitudes y comportamientos en sostenibilidad del alumnado de educación secundaria según el género confirman la tendencia que se ha señalado en la literatura científica existente, que pone de manifiesto que hombres y mujeres tienen diferentes niveles de interés, preocupación e implicación social en problemáticas ambientales (Milfont et al., 2015, Poortinga et al., 2019). En este estudio se aprecia un nivel bueno de competencia en sostenibilidad en general, correspondiendo a las tres dimensiones, conocimientos, actitudes y valores, donde se observan diferencias significativas en cuanto a la dimensión Actitudes, en la que las participantes del género femenino muestran mayores niveles de predisposición o actitud hacia la sostenibilidad.

En la dimensión Conocimientos en sostenibilidad, en este estudio no se observan diferencias significativas en las mujeres y los hombres, siendo un único ítem –el relacionado con la dimensión económica de la sostenibilidad, la distribución justa de bienes y servicios– en el que se observa una mayor autopercepción por parte de las mujeres. Otros estudios previos han identificado un mayor conocimiento por parte de los hombres que las mujeres, lo que no concuerda con los resultados de este estudio (Harker-Schuch y Bugge-Henriksen, 2013; McCright, 2010). Por ejemplo, en la investigación llevada a cabo por García-Vinuesa et al. (2020b), los jóvenes españoles del género masculino obtuvieron una mayor frecuencia de respuesta correcta y una mayor puntuación media en conocimientos sobre el cambio climático que las mujeres, lo que difiere con nuestro estudio, en el que no se han obtenido diferencias significativas entre hombres y mujeres. Los hallazgos de nuestro trabajo concuerdan con el estudio realizado por Boon (2010), en el que no se observaron diferencias en el nivel de comprensión sobre el cambio climático en estudiantes de secundaria según el género. Estudios anteriores han relacionado las diferencias con respecto a los conocimientos en cambio climático o sostenibilidad con una menor disposición y autopercepción por parte de las mujeres hacia las ciencias o la tecnología, los conocimientos o habilidades científicas (García-Vinuesa et al., 2020a). Estas diferencias en la autopercepción en las ciencias y las STEM son plausibles en los diferentes niveles educativos y aumentan con la edad y el nivel educativo (OECD, 2019; Wong y Kemp, 2018).

En cuanto a las actitudes en sostenibilidad, en este estudio se obtienen diferencias significativas en cinco de los nueve ítems, relacionados con la importancia de tomar medidas y acciones para afrontar el cambio climático, la igualdad de oportunidades de aprendizaje y la igualdad de género. De acuerdo con estudios previos, este hecho se podría atribuir a una mayor predisposición por la ética y la justicia ambiental en las mujeres (Swim et al., 2018). Este resultado está en línea con investigaciones previas que demuestran actitudes más positivas y proactivas hacia el cambio climático y la sostenibilidad en el género femenino (García-Vinuesa et al., 2020b; Dijkstra y Goedhart, 2012). El género ha sido identificado como un factor determinante con relación a las actitudes en sostenibilidad en muchos países (Jackson et al., 2016; Poortinga et al., 2019).

En la dimensión Comportamientos en sostenibilidad, se observaron diferencias significativas en tres de los nueve ítems, relacionados con haber cambiado el estilo de vida, la acción en la esfera personal y el respeto y trato igualitario a los demás. Los resultados obtenidos en las dimensiones Actitudes y Comportamientos podrían estar asociados a una mayor preocupación y sentido de responsabilidad en relación con las problemáticas socioambientales en las mujeres, que perciben los retos ambientales como un problema y riesgo mayor que los hombres (McCright, 2010; Stevenson et al., 2019). Este hecho podría estar asociado a factores sociales y culturales relacionados con los estereotipos de género, con una perspectiva relacional y emocional con el planeta, un pensamiento de futuro más desarrollado y una visión más ecocentrista en mujeres que en hombres (García-Vinuesa et al., 2020b). En esta línea, Berglund et al. (2020) también concluyeron que las diferencias en los niveles de competencias en sostenibilidad en diferentes países están relacionadas con valores sociales y culturales.

En cuanto a la visión compleja de la sostenibilidad, que incluye los ámbitos o dimensiones ambientales, sociales y económicas de la sostenibilidad, las diferencias significativas observadas corresponden a la dimensión económica en conocimientos (1 ítem), a las dimensiones ambiental (1 ítem), social (2 ítems) y económica (2 ítems) en Actitudes, así como a las dimensiones ambiental (1 ítem) y social (2 ítems) en Comportamientos. En general, estas diferencias se refieren al ámbito social (4), económico (3) y ambiental (1), lo que podría indicar una mayor visión holística y preocupación hacia las dimensiones sociales y económicas de la sostenibilidad en las mujeres que en hombres. De acuerdo con estudios previos (Alcántara Rubio et al., 2022; Patta y Murga, 2020), es necesario integrar la sostenibilidad de manera holística en el currículum mediante la ambientalización o sostenibilización curricular para promover el desarrollo del pensamiento sistémico y el resto de las competencias en sostenibilidad. El pensamiento sistémico permite una comprensión más profunda y compleja de los sistemas y las problemáticas socioambientales, considerando todas sus dimensiones e interrelaciones sociales, económicas y ambientales, facilitando la acción en el propio entorno y contexto, así como el desarrollo de nuevos comportamientos y estilos de vida a favor de la sostenibilidad (Bianchi et al., 2022; Wiek et al., 2011).

Con respecto a las limitaciones del presente estudio y la prospectiva de futuro, sería necesario aumentar el tamaño de la muestra en futuras investigaciones para poder comparar las variables evaluadas de una manera más confiable. En este sentido, se prescindió de 17 sujetos que no se identificaron con ninguno de los dos géneros tradicionales, y sí como género no binario. De la misma forma, se debe aspirar a diseños cuasiexperimentales pretest-postest con presencia de grupo control. También sería interesante evaluar mediciones más objetivas con respecto a la conciencia de la sostenibilidad (más allá de una prueba de autopercepción), así como un mayor control de las variables extrañas y el uso de variables de naturaleza paramétrica. En futuras investigaciones se debería analizar la influencia de otros aspectos, como el tiempo de participación en proyectos de sostenibilidad en la escuela, en el instituto o en la comunidad o valorar la influencia de otras variables –por ejemplo, los resultados académicos– llevando a cabo estudios longitudinales que puedan aportar evidencias de la progresión de las competencias y los aprendizajes a lo largo de las diferentes etapas educativas.

El objetivo de este artículo era explorar la autopercepción del desarrollo de competencias en sostenibilidad del alumnado de educación secundaria y la relación con el género. Se han identificado diferencias en función del género de los participantes, lo que sugiere que esta variable sí puede influir en las actitudes y comportamientos en sostenibilidad. Es importante diseñar y desarrollar planes de estudio, políticas y prácticas educativas en EDS que permitan a las personas y a las comunidades involucrarse de forma activa en problemáticas socioambientales de su entorno, que fomenten la interdisciplinariedad y la reflexión conjunta, permitiendo vivir y experimentar la sostenibilidad y promoviendo el desarrollo de actitudes y comportamientos en sostenibilidad de todo el alumnado.

AGRADECIMIENTOS.

Gracias al alumnado y centros educativos que han participado en este estudio, que se enmarca en el proyecto EMPOCLIM «*Empoderando a la comunidad Educativa para adaptarnos al cambio climático*» (2021/07). Convocatoria Proyectos I+D+i Diputación de Tarragona (DIPTA) – Universitat Rovira i Virgili (URV).

REFERENCIAS

- Albareda-Tiana, S. y Gonzalvo-Cirac, M. M. (2013). Competencias genéricas en sostenibilidad en la educación superior. Revisión y compilación. *Revista de Comunicación de la SEECI*, 32, 141-159. <https://doi.org/10.15198/seeci.2013.32.141-159>
- Alcántara Rubio, L., Limón-Domínguez, D., García-Pérez, F. F. y Valderrama-Hernández, R. (2022). Orientaciones pedagógicas para integrar la dimensión ambiental para la sostenibilidad en el currículum. *Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad*, 4(1), 1301. https://doi.org/10.25267/Rev_educ_ambient_sostenibilidad.2022.v4.i1.1301
- Baldwin, C., Pickering, G. y Dale, G. (2022). Knowledge and self-efficacy of youth to take action on climate change. *Environmental Education Research*. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2121381>
- Barrón, Á., Navarrete, A. y Ferrer-Balas, D. (2010). Sostenibilización curricular en las universidades españolas. ¿Ha llegado la hora de actuar? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7 (N.º Extraordinario), 388-399. <https://www.redalyc.org/pdf/920/92013009018.pdf>
- Berglund, T., Gericke, N., Boeve-de Pauw, J., Olsson, D. y Chang, T.-C. (2020). A cross-cultural comparative study of sustainability consciousness between students in Taiwan and Sweden. *Environment, Development and Sustainability*, 22, 6287-6313. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00478-2>
- Bianchi, G. (2020). *Sustainability competences*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/200956>
- Bianchi, G., Pisiotis, U. y Cabrera Giraldez, M. (2022). *GreenComp The European sustainability competence framework*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/13286>
- Boon, H. J. (2010). Climate Change? Who Knows? A Comparison of Secondary Students and Pre-service Teachers. *Australian Journal of Teacher Education*, 35(1), 104-120. <https://doi.org/10.14221/ajte.2010v35n1.9>
- Brundiers, K., Barth, M., Cebrián, G., Cohen, M., Diaz, L., Doucette-Remington, S., Dripps, W., Habron, G., Harré, N., Jarchow, M., Losch, K., Michel, J., Mochizuki, Y., Rieckmann, M., Parnell, R., Walker, P., y Zint, M. (2021). Key competencies in sustainability in higher education –toward an agreed-upon reference framework. *Sustainability Science*, 16, 13-29. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00838-2>
- Campbell, D. T. y Stanley, J. C. (1963). Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research on Teaching. En N. L. Gage (Ed.), *Handbook of research on teaching* (pp. 171-246). Rand McNally.
- Cebrián, G. y Junyent, M. (2014). Competencias profesionales en Educación para la Sostenibilidad: un estudio exploratorio de la visión de futuros maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 29-49. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/287507>
- Cebrián, G., Junyent, M. y Mulà, I. (2020). Competencies in Education for Sustainable Development: Emerging Teaching and Research Developments. *Sustainability*, 12, 579-587. <https://doi.org/10.3390/su12020579>

- Comisión Europea. (2019). El Pacto Verde Europeo. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640>
- Comisión Europea. (2022). Recomendación del Consejo de 16 de junio de 2022 relativa al aprendizaje para la transición ecológica y el desarrollo sostenible. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022H0627\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022H0627(01))
- Corner, A., Roberts, O., Chiari, S., Völler, S., Mayrhuber, E. S., Mandl, S. y Monson, K. (2015). How do young people engage with climate change? The role of knowledge, values, message framing, and trusted communicators. *WIREs Climate Change*, 6(5), 523-534. <https://doi.org/10.1002/wcc.353>
- De Haan, G. (2006). The BLK '21' programme in Germany: A 'Gestaltungskompetenz'-based model for Education for Sustainable Development. *Environmental Education Research*, 12(1), 19-32. <https://doi.org/10.1080/13504620500526362>
- Deisenrieder, V., Kubisch, S., Keller, L. y Stötter, J. (2020) Bridging the Action Gap by Democratizing Climate Change Education –The Case of *k.i.d.Z.21* in the Context of Fridays for Future. *Sustainability*, 12, 1748. <https://doi.org/10.3390/su12051748>
- Dijkstra, E. M. y Goedhart, M. J. (2012). Development and validation of the ACSI: measuring students' science attitudes, pro-environmental behaviour, climate change attitudes and knowledge. *Environmental Education Research*, 18(6), 733-749. <https://doi.org/10.1080/13504622.2012.662213>
- Dresner, S. (2005). *The Principles of Sustainability*. Earthscan.
- Dunlap, R. E. (2008). The New Environmental Paradigm Scale: From Marginality to Worldwide Use. *The Journal of Environmental Education*, 40(1), 3-18. <https://doi.org/10.3200/JOEE.40.1.3-18>
- Fox, D. (1981). *El proceso de Investigación en Educación*. EUNSA.
- García-Vinuesa, A., Iglesias, L. y Gradaílle, R. (2020a). Diferencias de género en el conocimiento y las percepciones del cambio climático entre adolescentes. Metaanálisis. *Pensamiento Educativo*, 57(2), 1-21. <https://doi.org/10.7764/PEL.57.2.2020.5>
- García-Vinuesa, A., Bello Benavides, L. O. y Iglesia Da Cunha, M. L. (2020b). Desigualdades de género en la educación para el cambio climático. Estudio de caso: México y España. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 25(87), 1013-1014. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662020000401013
- Gericke, N., Boeve-de Pauw, J., Berglund, T. y Olsson, D. (2019). The Sustainability Consciousness Questionnaire: The theoretical development and empirical validation of an evaluation instrument for stakeholders working with sustainable development. *Sustainable Development*, 27, 35-49. <https://doi.org/10.1002/sd.1859>
- Harker-Schuch, I. y Bugge-Henriksen, C. (2013). Opinions and knowledge about climate change science in high school students. *Ambio*, 42(6), 755-766. <https://doi.org/10.1007/s13280-013-0388-4>
- Ignell, C., Davies, P. y Lundholm, C. (2019). A longitudinal study of upper secondary school students' values and beliefs regarding policy responses to climate change. *Environmental Education Research*, 25(5), 615-632. <https://doi.org/10.1080/13504622.2018.1523369>
- Jackson, L. y Pang, M.-F. (2017). Secondary school students' views of climate change in Hong Kong. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 26(3), 180-192. <https://doi.org/10.1080/10382046.2017.1330036>

- Jackson, L., Pang, M. F., Brown, E., Cain, S., Dingle, C. y Bonebrake, T. (2016). Environmental attitudes and behaviors among secondary students in Hong Kong. *International Journal of Comparative Education and Development*, 18(2), 70-80.
<https://doi.org/10.1108/IJCED-10-2015-0004>
- Kerlinger, F. N. (1987). *Investigación del Comportamiento. Técnicas y Metodología*. Interamericana.
- Lee, K., Gjersoe, N., O'Neill, S. y Barnett, J. (2020). Youth perceptions of climate change: A narrative synthesis. *WIREs Climate Change*, 11(3), 1-24.
<https://doi.org/10.1002/wcc.641>
- Leicht, A., Heiss, J. y Byun, W. J. (2018). *Issues and Trends in Education for Sustainable Development*. Unesco. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261445>
- Lv, Z., y Deng, C. (2019). Does women's political empowerment matter for improving the environment? A heterogeneous dynamic panel analysis. *Sustainable Development*, 27(4), 603-612.
<https://doi.org/10.1002/sd.1926>
- Mateo, J. (1997). *La investigación «Ex-Post-Facto»*. Editorial UOC.
- McCright, A. M. (2010). The effects of gender on climate change knowledge and concern in the American public. *Population and Environment*, 32(1), 66-87.
<https://doi.org/10.1007/s11111-010-0113-1>
- Milfont, T. L., Milojev, P., Greaves, L. M. y Sibley, C. G. (2015). Socio-structural and psychological foundations of climate change beliefs. *New Zealand Journal of Psychology*, 802, 44(1), 17-30.
- Mulà, I., Cebrián, G. y Junyent, M. (2022). Lessons Learned and Future Research Directions in Educating for Sustainability Competencies. En P. Vare, N. Lausset y M. Rieckman (Eds.), *Competencies in Education for Sustainable Development: Critical Perspectives* (pp. 185-194). Springer International Publishing.
- Murga-Menoyo, M.^a A. y Bautista-Cerro, M.^a J. (Eds.) (2019). *Guía PRADO. Sostenibilizar el currículo de la Educación Secundaria*. UNED. <https://doi.org/10.5944/catedra.eads.501120>
- Naciones Unidas. (2012). *El futuro que queremos. El documento final de la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible*. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/764Future-We-Want-SPANISH-for-Web.pdf>
- Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015 (A/70/L.1)*. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Norgaard, K. y York, R. (2005). Gender Equality and State Environmentalism. *Gender & Society*, 19(4), 506-522. <https://doi.org/10.1177/0891243204273612>
- Nugent, C. y Shandra, J. M. (2009). State Environmental Protection Efforts, Women's Status, and World Polity. *Organization & Environment*, 22(2), 208-229.
<https://doi.org/10.1177/1086026609338166>
- OECD. (2019). *PISA 2018 Results (Volume II): Where All Students Can Succeed*. <https://doi.org/10.1787/b5fd1b8f-en>
- Olsson, D., Gericke, N. y Boeve-de Pauw, J. (2022). The effectiveness of education for sustainable development revisited –a longitudinal study on secondary students' action competence for sustainability. *Environmental Education Research*, 28(3), 405-429.
<https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2033170>
- Tomás, M. P. y Murga-Menoyo, M. Á. (2020). El marco curricular de la Educación Secundaria Obligatoria: Posibilidades para la formación de competencias en sostenibilidad. *Revista Internacional de Comunicación y Desarrollo (RICD)*, 3(13), 90-109.
<https://doi.org/10.15304/ricd.3.13.7180>

- Poortinga, W., Whitmarsh, L., Steg, L., Böhm, G. y Fisher, S. (2019). Climate change perceptions and their individual-level determinants: A cross-European analysis. *Global Environmental Change*, 21, 55, 25-35.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.01.007>
- Rieckmann, M. (2012). Future-oriented higher education: Which key competencies should be fostered through university teaching and learning? *Futures*, 44(2), 127-135.
<https://doi.org/10.1016/j.futures.2011.09.005>
- Rodríguez-Aboytes, J. G. y Nieto-Caraveo, L. M. (2018). Assessment of Competencies for Sustainability in Secondary Education in Mexico. En W. L. Filho, R. Noyola-Cherpitel, P. Medellín-Milán y V. Ruiz Vargas (Eds.), *Sustainable Development Research and Practice in Mexico and Selected Latin American Countries* (pp. 199-216). Springer.
- Sipos, Y., Battisti, B. y Grimm, K. (2008). Achieving Transformative Sustainability Learning: Engaging Head, Hands and Heart. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 9(1), 68-86.
<https://doi.org/10.1108/14676370810842193>
- Sterling, S., Glasser, H., Rieckmann, M. y Warwick, P. (2017). 10. «More than scaling up»: a critical and practical inquiry into operationalizing sustainability competencies. En P. B. Corcoran, J. P. Weakland y A. E. J. Wals (Eds.), *Envisioning Futures for Environmental and Sustainability Education* (pp. 153-168). Wageningen Academic.
- Stevenson, K. T., Peterson, M. N. y Bondell, H. D. (2019). The influence of personal beliefs, friends, and family in building climate change concern among adolescents. *Environmental Education Research*, 25(6), 832-845.
<https://doi.org/10.1080/13504622.2016.1177712>
- Stibbe, A. (Ed.). (2009). *The Handbook of Sustainability Literacy: Skills for a changing world*. Green Books.
- Swim, J. K., Vescio, T. K., Dahl, J. L. y Zawadzki, S. J. (2018). Gendered discourse about climate change policies. *Global Environmental Change*, 48 (December 2017), 216-225.
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.12.005>
- UNECE. (2012). *Learning for the future: Competences in Education for Sustainable Development*. https://unece.org/fileadmin/DAM/env/esd/ESD_Publications/Competences_Publication.pdf
- Unesco. (2009). Declaración de Bonn. *UNESCO World Conference on Education for Sustainable Development*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000188799_spa
- Unesco. (2014). *UNESCO Roadmap for Implementing the Global Action Programme on Education for Sustainable Development*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000230514>
- Unesco. (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivos de aprendizaje*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423>
- Unesco. (2020). *Educación para el Desarrollo Sostenible. Hoja de ruta*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374896>
- Unesco. (2021). *El profesorado opina: motivación, habilidades y oportunidades para enseñar la educación para el desarrollo sostenible y la ciudadanía mundial*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381225>
- Unión Europea. (2021). *Special Eurobarometer 513. Climate Change* (Issue April).
<https://doi.org/10.2834/437>
- Vare, P., Arro, G., de Hamer, A., Gobbo, G. Del, de Vries, G., Farioli, F., Kadji-Beltran, C., Kangur, M., Mayer, M., Millican, R., Nijdam, C., Réti, M. y Zachariou, A. (2019). Devising a competence-based training program for educators of sustainable development: Lessons learned. *Sustainability*, 11(7) 1890.
<https://doi.org/10.3390/su11071890>

- Wals, A. E. J. y Lenglet, F. (2016). Sustainability citizens: collaborative and disruptive social learning. En R. Horne, J. Fien, B. B. Beza, y A. Nelson (Eds.), *Sustainability Citizenship in Cities: Theory and Practice* (pp. 52-66). Earthscan.
- Wiek, A., Withycombe, L. y Redman, C. L. (2011). Key competencies in sustainability: a reference framework for academic program development. *Sustainability Science*, 6, 203-218.
<https://doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6>
- Wong, B. y Kemp, P. E. J. (2018). Technical boys and creative girls: the career aspirations of digitally skilled youths. *Cambridge Journal of Education*, 48(3), 301-316.
<https://doi.org/10.1080/0305764X.2017.1325443>

Secondary Education Students' Sustainability Competencies According to Gender

Gisela Cebrián

Departamento de Pedagogía, Universitat Rovira i Virgili,
Tarragona, España
gisela.cebrian@urv.cat

Álvaro Moraleda

Facultad de Educación, Universidad Camilo José Cela,
Villafranca del Castillo, Madrid, España
amoralada@ucjc.edu

Jon Xavier Olano

Institut Universitari de Recerca en Sostenibilitat, Canvi
Climàtic i Transició Energètica (IU-RESCAT), Universitat
Rovira i Virgili, Tarragona, España
jonxavier.olano@urv.cat

Anna Boqué

Departamento de Geografía, Universitat Rovira i Virgili,
Tarragona, España
anna.boque@urv.cat

Juan Prieto

Departamento de Ingeniería Mecánica Térmica y de
Fluidos, Universidad de Málaga, Málaga, España
jprieto@uma.es

The last decades have evidenced a rising recognition and political agreement on the role of education as a key lever to transform the current society towards sustainability, equity and social justice (UNESCO, 2020; United Nations, 2012). The literature has pointed out the importance of values education, environmental awareness and sustainability competencies in adolescents and youngsters; however, to date research in the secondary education level is scarce (Ignell et al., 2019; UNESCO, 2020). In this context, it is also important to explore the relationship between self-perception of sustainability competencies and the gender variable. The effects of this variable have been previously studied, where significant differences have been found in relation to pro-environmental knowledge and attitudes (García-Vinuesa et al., 2020a, Milfont et al., 2015, Poortinga et al., 2019). In this sense, it is essential to explore the perceptions of young people –secondary education students– because of the existing potential to influence the formation of values at this age, and to also inform the design of study programmes, educational policies, and the development of education for sustainability strategies (Deisenrieder et al., 2020).

The objective of this descriptive study is to explore the self-perception of the development of sustainability competencies in secondary education students and its relationship with the gender dimension. A questionnaire was applied to 372 students from 5 secondary education schools in the province of Tarragona (Spain). The instrument used was the short version of the Sustainability Consciousness Questionnaire, designed and validated by Gericke et al. (2019), which has been translated and adapted to Spanish in this research. The short version of the instrument is comprised by three dimensions: knowingness in sustainability (declarative statements about knowledge related to sustainability), attitudes in sustainability (disposition, beliefs, or opinions) and behaviours in sustainability (way of behaving or acting in certain situations and contexts). The instrument is formed by 27 items, 9 for each dimension, which includes: 3 items related to the environmental sphere, 3 to the social sphere and 3 to the economic sphere of sustainability.

The results of this study in relation to the knowledge, attitudes, and behaviours in sustainability among secondary education students according to gender confirm what has been pointed out in the existing literature, showing that men and women have different levels of interest, concern, and social involvement in environmental problems (Milfont et al., 2015, Poortinga et al., 2019). The results show a good level of self-perception of sustainability competencies, with significant differences between men and women, mainly in attitudes and behaviours in sustainability. Regarding the complex vision of sustainability, which includes the environmental, social, and economic spheres or dimensions of sustainability, the significant differences observed correspond mainly to the social and economic spheres, which could indicate a greater holistic vision and concern towards the social and sustainable-economy dimensions in female participants.

Based on the findings of this research, it is necessary to integrate sustainability holistically within the educational curriculum by means of curriculum greening approaches, to promote the development of systemic thinking and the rest of the sustainability competencies (Alcántara Rubio et al., 2022; Patta and Murga, 2020). It is also important to design and develop study programmes, policies and educational practices in ESD that allow citizens and communities to actively engage in socio-environmental problems in their context and sphere of action, and that promote inter-disciplinarity and collaborative reflection, allowing students to live and experience sustainability and promoting the development of sustainability competencies amongst youngsters.



Saberes docentes y educación inclusiva en la confección de recursos didácticos de ciencias

Teacher Knowledge and Inclusive Education in the Development of Science Teaching Resources

Beatriz Cavalheiro Crittelli

Departamento de Letras, Universidade Federal de São Paulo, Unifesp, Guarulhos, São Paulo, Brasil.
beatriz.crittelli@unifesp.br

Verónica Marcela Guridi

Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
veguridi@usp.br

Celi Rodrigues Chaves Dominguez

Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
celi@usp.br

Eder Pires de Camargo

Departamento de Física e Química, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, Brasil.
eder.camargo@unesp.br

RESUMEN • Es fundamental que en la formación inicial de profesores se problematice la enseñanza de las ciencias, favoreciendo la construcción de saberes docentes para el trabajo con la diversidad en el aula, en una perspectiva inclusiva. Este trabajo relata una investigación cuyo objetivo fue analizar recursos didácticos inclusivos elaborados por estudiantes de un curso de profesorado en ciencias naturales en una disciplina de metodología de la enseñanza. Los recursos fueron analizados a la luz de la didáctica multisensorial de Soler y las contribuciones de Camargo sobre la construcción de saberes docentes relacionados con la enseñanza para estudiantes con deficiencia visual. Los resultados evidencian la construcción de saberes docentes y la presencia de elementos de la multisensorialidad en los recursos elaborados, una práctica que puede ser replicada en otros cursos de profesorado.

PALABRAS CLAVE: Formación de profesores de ciencias; Recursos didácticos; Educación inclusiva; Didáctica multisensorial; Saberes docentes.

ABSTRACT • In teacher education, it is essential to problematize science teaching by favoring the construction of teaching knowledge which will be useful when working with diversity in the classroom, from an inclusive perspective. This paper reports research aimed to analyze inclusive didactic resources developed by students of a Science Teacher Education Program in a teaching methodology subject. The resources were analyzed in the light of Soler's multisensory didactics and Camargo's contributions to the construction of teaching knowledge related to teaching visually impaired students. The results show the development of this teaching knowledge and the presence of multisensorial elements in the designed resources, exposing a practice which could be replicated in other teacher education programs.

KEYWORDS: Science teacher education; Didactic resources; Inclusive education; Multisensorial didactics; Teaching knowledge.

Recepción: mayo 2023 • Aceptación: octubre 2023 • Publicación: marzo 2024

INTRODUCCIÓN

En el escenario educacional actual, cada vez son más los desafíos impuestos a los profesores de ciencias, ya que, además de las demandas específicas de construcción de saberes docentes (Sasseron, 2015; Carvalho, 2013; Carvalho y Gil-Pérez, 1994) para ejercer la práctica pedagógica de forma consciente y crítica, también deben tener conocimiento de referenciales teóricos y de estrategias didácticas que les posibiliten construir saberes para incluir la diversidad en el aula, pues el público estudiantil viene diversificándose cada vez más.

Por ese motivo, el debate sobre la inclusión escolar ha ganado fuerza, especialmente en los últimos años, y conceptos como *inclusión*, *educación inclusiva* y *educación para todos* han ganado fuerza en la literatura especializada (Lopes Victor et al., 2017). Siempre en la línea de la educación inclusiva, otros trabajos abordan la temática de la enseñanza de la matemática a estudiantes con discapacidad (Ramos et al., 2017; Cobeñas et al., 2021). En el ámbito de la enseñanza de las ciencias, existe una considerable cantidad de trabajos presentes en la literatura que han explorado el potencial de la multisensorialidad para la enseñanza de las ciencias. Por citar algunos, Fernandes et al. (2017) abordan la enseñanza de la química de personas con deficiencia visual por medio de la experimentación en una perspectiva multisensorial; Chaves et al. (2018) describen un jardín multisensorial como práctica inclusiva para la enseñanza de botánica; Costa et al. (2019) y Michelotti y Loreto (2019) abordan la utilización de modelos didácticos en una perspectiva multisensorial como metodología para la enseñanza de biología celular para estudiantes con deficiencia visual.

Como resultado de políticas públicas como la Política Nacional de Educación Especial en la Perspectiva Inclusiva (Brasil, 2008) y la Ley Brasileña de Inclusión de la Persona con Deficiencia (Brasil, 2015), en la actualidad es frecuente contar en el aula con estudiantes que antiguamente estaban presentes en las clases de educación especial, pero que hoy se encuentran en aulas comunes¹.

En Brasil, en los últimos veinte años, esas políticas también fomentaron la realización de investigaciones sobre enseñanza de ciencias para estudiantes con deficiencias. Por ejemplo, Camargo et al. (2007) realizaron un análisis de las concepciones alternativas del estudiante deficiente visual total, comparando estas con las de estudiantes videntes. Los autores encontraron indicios de que, en términos de percepción sensorial, tanto ciegos como videntes presentan una diferencia (ver o no ver) y cuatro entidades. Esos sujetos pueden compartir las observaciones de fenómenos táctiles, auditivos, olfativos y gustativos y construir colectivamente significados sociales de conceptos relacionados con la visión.

Camargo (2020) coordinó y realizó también investigaciones sobre enseñanza de la física a estudiantes con deficiencia visual desde una perspectiva social, tales como el análisis del discurso de personas ciegas acerca de fenómenos de astronomía y el análisis de las potencialidades del programa LaTeX para superar la ausencia de accesibilidad de estudiantes ciegos a los contenidos matemáticos en problemas de física, entre otros trabajos.

En este sentido, es importante reflexionar sobre el concepto de inclusión. La inclusión es una *praxe* social que considera la participación efectiva de los grupos humanos históricamente excluidos. Por lo tanto, engloba no solo a personas con deficiencias y no se aplica únicamente al ambiente escolar. Camargo (2017, p. 1) describe la inclusión de la siguiente forma: «es una práctica social que se aplica en el trabajo, en la arquitectura, en el ocio, en la educación, en la cultura, mas, principalmente, en la actitud y en el percibir las cosas, a sí mismo y a *outrem*». En otras palabras, el concepto de inclusión se extrapola al ambiente escolar, sus espacios físicos y materiales, envolviendo una práctica en sociedad que reconoce la diversidad humana como fundamental para su propio desarrollo.

1. «se considera público de la educación especial a las personas con deficiencia, con trastornos globales del desarrollo y con altas habilidades o superdotación» (Brasil, 2014, traducción nuestra).

Lippe y Camargo (2009) defienden que es necesario diseñar y rediseñar el nuevo «mapa de la educación escolar», abarcando en el proyecto político pedagógico o PPP a alumnos, a los profesores y a la comunidad para que, de esa forma, exista una efectiva inclusión. Así, romper con las bases de una estructura educacional excluyente puede ser una posible solución para que la escuela pueda desempeñar su papel formador por todos los que están incluidos en ella (Mantoan, 2003).

Ya hubo en el país formaciones específicas para trabajar con estudiantes atendidos en la educación especial, generalmente vinculadas a los cursos de Magisterio y de Pedagogía. Actualmente, existen varios cursos de posgrado a nivel de especialización que prometen formaciones específicas en las áreas más diversas de la educación especial en la perspectiva de la educación inclusiva (Brasil, 2008), además de iniciativas puntuales en algunos cursos que incluyen disciplinas específicas en la formación de los futuros profesores. Varias preguntas surgen frente a esta situación: ¿cuál sería la formación ideal para que los profesores pudieran propiciar la inclusión de esos alumnos? ¿Cuáles deberían ser los conocimientos y las prácticas que deben ser incluidas en la formación inicial docente para dar subsidios teóricos y metodológicos a los estudiantes, para que construyan saberes y desarrollen prácticas inclusivas en su futuro ejercicio profesional?

Con base en las problematizaciones anteriores, cabe la pregunta citada en el trabajo de Souza (2008, p. 2): ¿Cómo contribuir a que la enseñanza de las ciencias sea más inclusiva para todos los alumnos, independientemente de sus condiciones físicas, sociales, de salud o sus posibilidades relacionales? Sería mucha pretensión intentar agotar las respuestas a esa pregunta, razón por la cual es necesario discutir y problematizar el tema para que pueda apoyar discusiones y rupturas con el sentido común en esa área de formación cada vez más profundizada.

En este contexto, en el presente trabajo describimos una investigación realizada en el marco de una disciplina sobre metodología de la enseñanza en un curso de profesorado en Ciencias Naturales de una universidad pública brasilera, donde los futuros profesores y alumnos de la referida disciplina fueron desafiados a desenvolver recursos didácticos orientados al público de la antiguamente denominada educación especial, supuestamente ahora incluidos en aulas comunes en la red de enseñanza regular. El referencial teórico que orientó la confección y el análisis de los recursos fue la didáctica multisensorial desarrollada por Soler (1999). El análisis de los recursos didácticos elaborados por los estudiantes se realizó a la luz de ese referencial, además de las contribuciones de Camargo (2012), procurando verificar la construcción de saberes para el trabajo docente en aulas inclusivas.

EDUCACIÓN ESPECIAL Y EDUCACIÓN INCLUSIVA: HISTÓRICO Y LEGISLACIÓN ACTUAL EN BRASIL

La Declaración de Jomtien (Unesco, 1990) y la Declaración de Salamanca (Unesco, 1994) son documentos internacionales decisivos para el desarrollo de la educación inclusiva. La educación inclusiva constituye un paradigma educacional fundamentado en la concepción de los derechos humanos, que conjuga igualdad y diferencia como valores indisociables, y que avanza con relación a la idea de equidad formal al contextualizar las circunstancias históricas de producción de la exclusión dentro y fuera de la escuela (Brasil, 2008).

En los documentos oficiales, se afirma que la inclusión educacional «postula una reestructuración del sistema educacional, o sea, un cambio estructural en la enseñanza regular, cuyo objetivo es hacer que la escuela se torne inclusiva» (Brasil, 2001, p. 40). Ese movimiento defiende la inclusión de todas las personas en el proceso educacional, y, más específicamente, de aquellas que no tuvieron acceso a lo largo de la historia, entre las cuales se encuentra el individuo con deficiencia (Sasaki, 2005).

Por otro lado, históricamente, la educación especial, en su abordaje paralelo a la enseñanza común, tiene sus raíces en la concepción biológica de la deficiencia, que atribuye al estudiante con deficiencia

la responsabilidad de adecuarse al medio social establecido (Sasaki, 2005; Camargo, 2012). En el campo educacional, la educación especial fomenta la denominada integración escolar, que, a diferencia de la inclusión, no presupone alteraciones organizacionales y curriculares significativas para lidiar con estudiantes con deficiencia (Ainscow, 2009).

La educación especial, en su modalidad transversal a la educación básica (Brasil, 1996), se ofrece preferentemente en las escuelas con clases comunes entre estudiantes con o sin necesidades especiales. El público al que se destina esa modalidad es definido por la Política Nacional de Educación Especial en la Perspectiva de la Educación Inclusiva (PNEEPEI) (Brasil, 2008), que incluye a alumnos con deficiencia, con trastornos globales del desarrollo y con altas habilidades/superdotación (Brasil, 1996). Camargo (2017) destaca que la educación especial promueve el acceso de todos los estudiantes al currículo común.

Dentro de esa perspectiva se encuentra la propuesta de Atención Educacional Especializada (AEE) (Brasil, 2009). Esa directriz destaca, en su artículo 12 (inc. VI e VIII), el propósito de un trabajo conjunto con los profesores de la enseñanza regular. Esta visión nos ayuda a comprender la importancia de la educación especial pensada a partir de un recorte próximo a la perspectiva de inclusión cuando esta se asocia al público destinatario de la educación especial.

En este contexto, las concepciones sobre educación inclusiva atribuyen al medio social, y más específicamente a las personas y estructuras que lo componen, una mayor responsabilidad sobre la condición social de la persona con deficiencia (Sasaki, 2005; Camargo, 2012). En este sentido, la educación científica de la persona con deficiencia puede ser vista como un derecho de acceso al conocimiento científico a través de la educación escolar (Brasil, 2008; 2015; Unesco, 1990; 1994). La accesibilidad se entiende como aquella que concede la posibilidad de utilización de todos los espacios, mobiliarios, equipamientos, transportes, así como de otros bienes y servicios a todos los sujetos, independientemente de su condición.

El concepto de diseño universal, intrínseco a la idea de accesibilidad, se trata de la siguiente forma en la Ley Brasileña de Inclusión de la Persona con Deficiencia (LBIPD) (Brasil, 2015):

Art. 3.º -II- diseño universal: concepción de productos, programas y servicios a ser usados por todas las personas, sin necesidad de adaptación o de proyecto específico, incluyendo los recursos de tecnología asistencial.

En el campo educacional, el diseño universal presupone que se cree un ambiente en la clase donde se contemple la presencia y participación de todos los estudiantes, sin necesidad de crear contextos específicos para estudiantes con deficiencia, por ejemplo. Esta atmósfera incluye la organización física, el abordaje metodológico y los recursos didácticos, entre otros. Entre los abordajes metodológicos orientados para el diseño universal, se destaca la didáctica multisensorial propuesta por Soler (1999), que será descrita en la próxima sección.

LA DIDÁCTICA MULTISENSORIAL: UN ABORDAJE METODOLÓGICO PARA CLASES INCLUSIVAS

Para concretizar la inclusión, son necesarias adaptaciones tanto en las instituciones como en las prácticas de enseñanza del profesor, una vez que los alumnos con deficiencias sensoriales interactúan de manera distinta con el saber escolar, utilizando una comunicación diferenciada y sus otros sentidos. La palabra *adaptar* está siendo utilizada tanto para las prácticas como para los espacios y los materiales planificados sin pensar en los alumnos que frecuentan la educación especial. Este término tiene una connotación excluyente, en el sentido de que el público al que se destina la educación especial debe realizar un movimiento para poder integrarse en el ambiente de clase. Pero la perspectiva inclusiva,

como se expuso anteriormente, presupone que tanto el ambiente del aula como los abordajes metodológicos y los recursos didácticos puedan llegar a todo el grupo de estudiantes.

La didáctica multisensorial propone la utilización de todos los canales sensoriales para la construcción del conocimiento, excediendo lo que se trabaja habitualmente en las clases convencionales de ciencias: la visión y la audición. Soler (1999) presenta una perspectiva de trabajo que estimula al individuo de forma integrada, de cuerpo entero, para su proceso de aprendizaje, en el que el tacto, el oído, el gusto y el olfato pueden actuar como canales de entrada de informaciones que son procesadas por el cerebro, donde se interrelacionan adquiriendo un significado único.

Esta perspectiva refleja un aprendizaje más completo, puesto que las acciones didácticas se tornan convenientes para estudiantes con deficiencias sensoriales o no, reforzando de manera integrada todos los conceptos desarrollados en clase (Tavares y Camargo, 2010). Así, la multisensorialidad en la enseñanza de las ciencias permite la utilización de un método no restringido al espacio escolar, que posibilita la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias utilizando todos los sentidos de una manera interdependiente.

Los principios que rigen el trabajo con base en la multisensorialidad involucran dimensiones como la lógica, la observación, la experimentación, el análisis, la síntesis, la curiosidad y el descubrimiento, la imaginación, la creatividad, la inventiva, la descripción verbal y la lectura, empleando diversos canales de recepción de información desde el medio externo (los cinco sentidos). Al utilizar más de una vía sensorial en el proceso de aprendizaje, se amplía la recepción de informaciones y, consecuentemente, el aprendizaje se torna más significativo.

Esto no trae consigo un aumento de contenidos conceptuales, ni adaptaciones curriculares, sino un trabajo docente que realmente incluya a todos los estudiantes en un único espacio, con acceso a los mismos recursos didácticos, pudiendo interactuar con ellos de manera constructiva y creativa. De este modo, las secuencias didácticas construidas a partir de la perspectiva multisensorial pueden ser comprendidas como formas de accesibilidad metodológica, y los recursos didácticos entendidos como formas de accesibilidad instrumental (Sasaki, 2005).

En la perspectiva de la educación inclusiva, los recursos didácticos multisensoriales intentan atender las necesidades de los educandos con deficiencia, especialmente las sensoriales. En este sentido, los recursos didácticos táctiles-visuales son una alternativa interesante (Amaral et al., 2009; Camargo, 2012; Silva et al., 2014), ya que parten del principio de que existe la posibilidad de apropiación del conocimiento científico por todas las vías sensoriales y no solamente por las utilizadas tradicionalmente, a saber: visión y audición.

LA EDUCACIÓN INCLUSIVA EN LA FORMACIÓN DE PROFESORES DE CIENCIAS

Varios autores han destacado la importancia de trabajar en los cursos de formación docente con cuestiones vinculadas a la educación inclusiva. Por ejemplo, Pletsch (2009) destaca que la formación docente para la educación inclusiva debe saber movilizar los conocimientos del profesor, articulándolos con sus competencias y promoviendo una reflexión teórico-práctica. Sant'Ana (2005) afirma que el éxito de la intervención del profesor en clases inclusivas depende de cambios en las prácticas pedagógicas, de adaptaciones curriculares, así como del uso de nuevas técnicas y recursos, entre otros.

Para Rodrigues (2006), el proceso inclusivo en la escuela tiene por fundamento la formación docente; sin embargo, según la investigación de Vilela-Ribeiro y Benite (2010, p. 592), «la universidad no prepara a esos profesionales para la inclusión porque los propios formadores no tuvieron contacto con ese asunto».

En Brasil, la Resolución CNE/CP n.º 1, del 18 de febrero de 2002, del Consejo Nacional de Educación, que instituye Directrices Curriculares Nacionales para la Formación de Profesores de la Educación Básica, en el nivel superior y en el curso de profesorado, en su artículo 6.º, párrafo 3.º, inciso II, establece la siguiente directriz para componer el proyecto político pedagógico de los cursos de formación de profesores: «conocimientos sobre niños, adolescentes, jóvenes y adultos, allí incluidas las especificidades de los alumnos con necesidades educacionales especiales y las de las comunidades indígenas» (Brasil, 2002).

En consecuencia, la formación docente precisa reflexionar sobre la importancia de atender a la diversidad de estudiantes, promoviendo un estudio sistemático acerca de la legislación educacional sobre la política de educación inclusiva y aspectos psicológicos relacionados con diferentes tipos de deficiencia o, incluso, de altas habilidades/superdotación. Finalmente, y no menos importante, la formación docente requiere discutir sobre elementos teórico-metodológicos para el trabajo en clases inclusivas, que posibiliten la construcción del conocimiento científico por parte de todos los discentes. Más específicamente, supone traer elementos para la construcción de saberes docentes para el trabajo en la perspectiva inclusiva.

Últimamente, son varios los cursos de formación de profesores de ciencias que han incorporado contenidos sobre educación inclusiva. Pero ¿cuáles serían los contenidos más relevantes que deben ser considerados en esos cursos de formación de profesores para la enseñanza de las ciencias en clases inclusivas? ¿Cuáles serían los saberes docentes necesarios para una práctica inclusiva? Esa no es, sin duda, una pregunta simple. Lo discutiremos más ampliamente en la próxima sección.

SABERES DOCENTES PARA EL TRABAJO CON ESTUDIANTES CON DEFICIENCIA VISUAL

Camargo (2012) identificó, por medio de la investigación, una serie de saberes docentes para la inclusión del estudiante con deficiencia visual en las clases de Física, la mayor parte de los cuales describiremos brevemente a continuación, parafraseando al autor.

Sin embargo, antes de presentar este conjunto de saberes docentes, describiremos tres categorías de significados elaboradas por el autor para la interpretación de conceptos y fenómenos físicos:

- *Significados inseparables*: son aquellos cuyas representaciones internas y mentales no pueden separarse de la base empírica que los constituye. Ejemplos de conceptos que contienen esos significados son los de color, en el caso de la visión, la altura y el timbre, con relación a la audición, y la sensación térmica, para el caso del tacto.
- *Significados vinculados*: son aquellos cuyas representaciones externas pueden ser permutables con relación a la base empírica inicial que los constituye. Los conceptos que contienen geometrías estáticas y dinámicas son ejemplos de ello.
- *Significados sin relación sensorial*: son aquellos independientes de representaciones empíricas internas y externas. Como ejemplo, podemos mencionar los conceptos de carga eléctrica, los campos (eléctrico, magnético y gravitacional), la masa, etc. Es decir, se trata nociones que, para ser comprendidas, no se deben fundamentar en referencias empíricamente construidas. Estos son significados abstractos y cuyas tentativas de representación externa alcanzan un objetivo, el de mostrar cómo, de hecho, el fenómeno no es.

Presentadas las categorías, describiremos los saberes docentes:

1. *Conocer la historia previa visual del alumno.* Es decir, saber si el estudiante es ciego de nacimiento, si perdió la visión a lo largo de la vida o si presenta baja visión puede facilitar la planificación por parte del docente, para poder aprovechar posibles registros visuales de estudiantes en las clases de ciencias.
2. *Saber que significados vinculados a las representaciones visuales siempre podrán ser registrados y vinculados a otro tipo de representación (táctil, auditiva, etc.).* En las ciencias, existen muchos constructos abstractos y, en ese sentido, las representaciones externas de esos constructos, la mayor parte de las veces, aparecen en registros visuales. Siendo así, la dificultad comunicacional de los significados científicos asociados a esos constructos cuando está orientada a los alumnos con deficiencia visual reside en la vinculación visual. La superación de esa dificultad estaría en la posibilidad de vincular esos significados a representaciones no visuales, por ejemplo, representaciones táctiles o auditivas.
3. *Saber que significados indisociables de representaciones no visuales y sin relación sensorial no necesitan de referencial visual para ser comprendidos.* En el aprendizaje de conceptos vinculados con la terminología, se ha verificado la existencia de una relación expresiva entre la viabilidad de comunicación y los lenguajes de estructura semántico-sensorial que es indisociable de representaciones no visuales en el caso de las personas con deficiencia visual. Los resultados de estas investigaciones demuestran que esos conceptos se relacionan estrechamente con ideas táctiles como lo caliente, lo frío o la sensación térmica. Esos conceptos son potencialmente accesibles para alumnos ciegos o con baja visión, siendo que la accesibilidad está condicionada por la estructura empírica del lenguaje que se va a emplear.
4. *Saber que existen fenómenos físicos que no pueden ser observados empíricamente y que, en este caso, la visión o cualquier otro sentido no contribuye a su comprensión.* Hay algunos significados sensorialmente no relacionables (por ejemplo, los pertenecientes al campo eléctrico, al campo magnético, a la energía, a la carga eléctrica, a la masa, al tiempo y *momentum* relativísticos, a la invariancia de la velocidad de la luz (Camargo y Nardi, 2013), entre otros. En ese contexto, hay que saber diferenciar entre los significados inherentes a los efectos producidos por los campos eléctrico y magnético, por ejemplo, y los significados intrínsecos a esos fenómenos.
5. *Saber abordar los múltiples significados de un fenómeno físico. Este conocimiento es fundamental en el contexto de los fenómenos con significados indisociables de representaciones visuales, como el color, y de los alumnos ciegos de nacimiento.* Cuando el estudiante es ciego de nacimiento, se debe reconocer el hecho de que los significados indisociables de representaciones visuales no podrán ser comunicados a ese alumno.

Las categorías de significados son importantes porque permiten clasificar los conceptos cuyas representaciones dependen o no dependen de la visión, permutables entre distintas representaciones y, por lo tanto, foco de transformaciones curriculares, así como los que no se relacionan con ninguna representación. Cuando se aplican al campo de la óptica, muestran que la luz interpretada como algo visible posee el significado indisociable de representaciones visuales. En este sentido, por ejemplo, las ideas de color, de transparencia o de opacidad son incomunicables a ciegos totales de nacimiento, pues están estructurados en experiencias empíricas que este sujeto nunca tuvo.

Las ideas interpretativas acerca de la naturaleza de la luz y que poseen básicamente carácter geométrico son de naturaleza vinculada. Por este motivo, pueden ser representadas por medio de registros táctiles y visuales y ser plenamente comunicadas a personas ciegas y videntes. Por último, significados como el de que la luz es energía se construyen sin ninguna relación sensorial. En el campo de la física, la energía es un concepto abstracto.

Una posible superación de esa dificultad proveniente del perfil semántico-sensorial sería la utilización de analogías, dejándose este aspecto explícito al estudiante. Por ejemplo, el concepto de superposición de colores primarios para la obtención de colores secundarios en la óptica puede explicarse a un estudiante ciego apelando al concepto de interferencia de ondas electromagnéticas e, incluso, combinándolo con el fenómeno de interferencia de ondas sonoras.

6. *Saber construir de forma superpuesta registros táctiles y visuales de comportamientos o fenómenos físicos con significados vinculados a las representaciones visuales.* El docente debe saber cómo construir maquetas que puedan describir táctil y visualmente comportamientos físicos como el desvío de la luz en el fenómeno de la refracción, la trayectoria de un proyectil después de haber sido lanzado o el movimiento de los planetas alrededor del Sol. El registro táctil y visual simultáneo de fenómenos físicos transforma estos en fenómenos accesibles a estudiantes ciegos o con baja visión, lo que crea canales de comunicación entre esos estudiantes, el resto de los colegas videntes y el docente.
7. *Saber destituir la estructura empírica audiovisual interdependiente del lenguaje.* La estructura empírica se refiere a la forma material del lenguaje, o sea, la manera como una determinada información se organiza, almacena, transporta y recibe. Esa estructura empírica del lenguaje se reorganiza en subcategorías, que se describen a continuación:
 - *Estructuras fundamentales:* están constituidas por los códigos visual, auditivo y táctil, articulados de manera autónoma o independiente. En esta subcategoría se encuentran estructuras como la fundamental auditiva, la auditiva y la visual interdependiente, la táctil-auditiva interdependiente y la fundamental visual.
 - *Estructuras mixtas:* surgen cuando los códigos fundamentales se combinan de un modo interdependiente. Se clasifican en esta subcategoría las estructuras audiovisuales interdependientes y la táctil-auditiva interdependiente.

Abordamos aquí la estructura audiovisual interdependiente, que se caracteriza por la dependencia mutua entre los códigos auditivo y visual, que sustentan la diseminación de informaciones científicas. El acceso a los lenguajes con esta característica se da por medio de la observación simultánea de los códigos mencionados, pues la observación parcial de uno de los códigos no deshace la independencia de su soporte material. Así, ser capaces de desvincular la estructura empírica audiovisual interdependiente del lenguaje es fundamental para la creación de canales de comunicación en el contexto de la enseñanza de las ciencias para estudiantes con deficiencia visual.

Una característica peculiar de la estructura empírica del lenguaje mencionada con anterioridad es la de que el profesor indica oralmente un determinado aspecto visual registrado. Esta característica podría sintetizarse con afirmaciones del tipo: «Mira cómo es esto»; «Fíjate cómo se comporta este gráfico»; «Esto más esto da este resultado». Es importante señalar que dicha estructura empírica tuvo el respaldo de recursos instruccionales tales como la pizarra y el proyector, entre otros.

8. *Saber explorar las potencialidades comunicacionales de los lenguajes constituidos por estructuras empíricas de acceso visualmente independiente.* Por medio de la utilización de maquetas y de otros materiales susceptibles de ser manipulados táctilmente y percibidos auditivamente, se vinculan los significados a las representaciones táctil y auditiva. De esta forma, utilizando la estructura mencionada, esos significados son accesibles a los estudiantes ciegos o con baja visión. La accesibilidad del alumno ciego o con baja visión dependerá de la intensidad descriptiva oral de los significados que van a ser comunicados. Son ejemplos del potencial comunicacional de tales estructuras la descripción oral de gráficos, tablas, el comportamiento geométrico de rayos de luz, entre otros. Cabe esclarecer que, en tal contexto, la utilización de recursos instruccionales vi-

suales como la proyección, las imágenes de los libros de texto, entre otros, no es necesariamente inadecuada para estudiantes con deficiencia visual, ya que todo depende de la audiodescripción que se realice y del conocimiento previo del estudiante sobre el objeto descrito.

9. *Saber realizar actividades comunes a los alumnos con y sin deficiencia visual.* Una dificultad bastante frecuente cuando se utiliza el lenguaje de estructura empírica táctil-auditiva interdependiente es la implementación de actividades específicas para el estudiante con deficiencia visual. Ese problema educativo fue explicado como un modelo denominado 40 + 1. Según este modelo, el «cuarenta» se refiere al promedio de estudiantes videntes de una clase, el «uno» al estudiante con deficiencia visual y la suma a la idea de que ese último no pertenece a la clase y que el docente tendrá un trabajo adicional. El modelo explica el siguiente problema del profesor de Física: cuando este se entera de que habrá un estudiante ciego o con baja visión en el aula, piensa que deberá construir dos materiales, dos experimentos o preparar dos clases. En otras palabras, el estudiante con deficiencia visual realiza, en el mismo ambiente educativo, actividades de manera separada al resto del grupo. Para evitar esta situación, es importante que el docente sepa planificar y desarrollar actividades comunes a todos los estudiantes.

Por este motivo es por el que invertimos en un curso de formación de profesores en una disciplina de carácter instrumental, Metodología de Enseñanza en Ciencias Naturales, en la cual se abordan algunos contenidos relacionados con la educación inclusiva y, más específicamente, con la didáctica multisensorial, como será descrito en la próxima sección.

PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS DE INVESTIGACIÓN

La construcción de los recursos didácticos fue solicitada dentro de la propuesta de Metodología de Enseñanza en Ciencias Naturales 2, una asignatura ofrecida en el octavo y último semestre del curso de profesorado en Ciencias Naturales, la última de un conjunto de diez disciplinas que abordan asuntos pedagógicos en este curso.

Dicha disciplina tiene como objetivo posibilitar que los futuros profesores de ciencias reflexionen sobre las especificidades de la enseñanza de materias científicas en la educación básica, sobre el currículo de Ciencias y sobre sus posibles abordajes mediante el uso de diferentes modalidades y recursos didácticos (USP, 2018).

Para alcanzar esos objetivos, se abordan contenidos como lenguajes y enseñanza de las ciencias; análisis de materiales didácticos y complementarios; enseñanza de las ciencias e inclusión; papel de la imaginación en la enseñanza y aprendizaje de ciencias, entre otros (USP, 2018).

Se invita a los estudiantes a producir, durante el transcurso de la disciplina, cuatro actividades denominadas «actividades creativas», que buscan desarrollar en los futuros docentes competencias y habilidades vinculadas con la producción de planificaciones de clase y recursos didácticos que estimulen la creatividad. Como actividad final de la disciplina, los alumnos deben producir secuencias didácticas que incorporen las diversas actividades creativas realizadas, además de tener recursos didácticos variados y, como mínimo, ocho clases.

La cuarta actividad creativa está orientada a la producción de recursos didácticos para alumnos con deficiencias sensoriales. En la clase anterior a la producción de la actividad creativa, los estudiantes discuten, junto con las docentes de la disciplina, sobre la enseñanza para estudiantes con deficiencia, así como el referencial de la didáctica multisensorial, proponiendo cuestiones metodológicas referentes a las especificidades del aprendizaje de ciencias por parte de esos estudiantes. En la producción de esta actividad, los alumnos realizan un taller junto con uno de los técnicos del Laboratorio de Desarrollo de Recursos Didácticos del curso, en el que elaboran un recurso didáctico orientado a estudiantes con deficiencia auditiva, visual o ambas.

Todas las actividades creativas se presentan a los grupos en horario de clase. Durante las presentaciones, los estudiantes tienen la oportunidad de discutir posibilidades de utilización de los recursos elaborados por su propio grupo y por los colegas, ampliando las reflexiones y el repertorio de posibilidades de actuación en la enseñanza de las ciencias. De esa manera, la unión de distintas actividades creativas conduce al desarrollo gradual de las secuencias didácticas, creando un ambiente propicio para la discusión y el intercambio de ideas respecto a la producción de las actividades.

Acompañando a un grupo de veinte estudiantes del segundo semestre de 2019, estos se dedicaban a desarrollar los recursos en el tiempo destinado por la profesora de la disciplina en la sesión. Todos los recursos didácticos fueron fotografiados y archivados.

Cabe resaltar que el recurso didáctico elaborado para la cuarta actividad creativa debería ser incluido, obligatoriamente, en una de las clases propuestas en la secuencia didáctica. No obstante, por los límites de extensión de este artículo, no se presentará aquí el análisis de las secuencias didácticas completas que fueron producidas por los estudiantes, ya que el foco de este trabajo se encuentra en los saberes desarrollados para la construcción de los recursos didácticos que se elaboraron para la cuarta actividad creativa.

El análisis de los recursos didácticos producidos por los alumnos se condujo a partir de la identificación de categorías de saberes (Camargo, 2012), que surgieron para la composición de los materiales y de los modos en que los profesores en formación aplicaron la idea del diseño universal en sus producciones. En la siguiente sección presentamos los recursos didácticos elaborados, así como su análisis a la luz del referencial teórico adoptado.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS DATOS: LOS RECURSOS DIDÁCTICOS PRODUCIDOS Y LOS SABERES DESARROLLADOS EN SU CONSTRUCCIÓN

En primer lugar, en todos los recursos se observó que los alumnos prestaron atención a que los colores y contrastes fueran adecuados para una buena visualización de las partes. En tal sentido, hubo una preocupación por que los recursos pudiesen ser utilizados por los estudiantes videntes también, siguiendo la propuesta del diseño universal (Brasil, 2015). Se emplearon diferentes texturas y formatos para identificar las estructuras destacadas. Hubo también un manifiesto interés por la accesibilidad en las informaciones expuestas mediante la escritura ampliada, el braille, la escritura en el alfabeto latino y el uso de leyendas, además de contextualizar los recursos en una secuencia de clases.

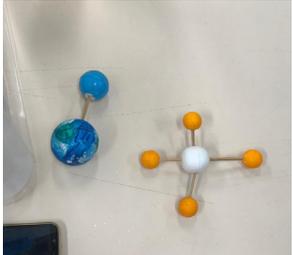
Por ejemplo, en las figuras 1 y 2, referentes a un recurso didáctico sobre fotosíntesis, se introdujo la escritura en el sistema braille asociado con el alfabeto latino para que los estudiantes ciegos y videntes pudieran servirse de este recurso. Adicionalmente, las letras están escritas en fuentes ampliadas y en mayúsculas, posibilitando que los alumnos con baja visión puedan realizar la lectura del texto contenido en el recurso.

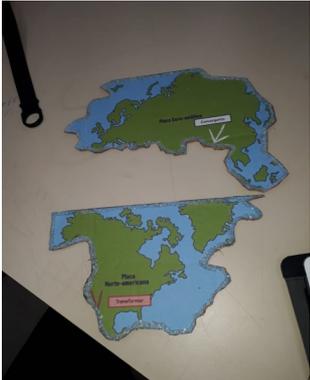


Figs. 1 y 2. La primera figura muestra la foto de la parte del texto de uno de los recursos didácticos, en el que hay palabras escritas en mayúsculas, en el sistema braille arriba y, al lado, la textura correspondiente. En la segunda figura, la foto muestra el material texturizado de acuerdo con el texto.

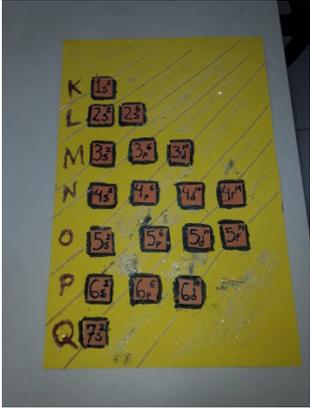
En la tabla 1, se presentan los recursos didácticos elaborados por los estudiantes con imágenes de cada uno de ellos, una breve descripción del recurso, así como los saberes desarrollados en su construcción, según Camargo (2012). Cabe esclarecer que todos los recursos emplearon el saber número 9, pues fueron concebidos en el contexto de la didáctica multisensorial y del diseño universal. Así, dado que esta era una condición obligatoria de la actividad, el saber 9 no aparecerá en esta tabla.

Tabla 1.
Categorías de los recursos didácticos presentados en la cuarta actividad creativa

<i>Recurso didáctico</i>	<i>Imágenes</i>	<i>Área de conocimiento</i>	<i>Descripción del recurso y saberes desarrollados según Camargo (2012)</i>
1. Mapa celeste táctil con el foco en las constelaciones		Astronomía	Texturas con alfileres de colores y líneas interconectadas y escritura en braille con los nombres de las constelaciones. Saberes 2 y 6.
2. Modelos para la representación del eclipse		Astronomía	Bolitas de poliestireno interconectadas usando palillos de madera. Saberes 2, 4 y 6.

<i>Recurso didáctico</i>	<i>Imágenes</i>	<i>Área de conocimiento</i>	<i>Descripción del recurso y saberes desarrollados según Camargo (2012)</i>
3. Representación de la fotosíntesis y partes de una planta		Biología - Botánica	Texturas diferentes en cada parte del material indicando las estructuras de la planta (hoja, tallo y raíz); pequeños carteles con las texturas; escritura en grafía braille, fuente ampliada y escritura con el alfabeto latino. Saberes 2, 6 y 8.
4. Modelo táctil de la tectónica de placas		Geología	Relevos que señalan la parte continental y la oceánica del globo terráqueo, líneas sobresalientes que indican las divisiones de las placas tectónicas. Saberes 2, 3, 4 y 6.
5. Modelo táctil de la tectónica de placas		Geología	Mapa plano recortado en placas de cartón con texturas en los bordes de las placas. Saberes 2, 3, 4 y 6.

<i>Recurso didáctico</i>	<i>Imágenes</i>	<i>Área de conocimiento</i>	<i>Descripción del recurso y saberes desarrollados según Camargo (2012)</i>
6. División de las capas de la Tierra		Geología	<p>Las divisiones internas de la Tierra se elaboraron con diferentes materiales: poliestireno para la corteza, gel para el manto, masa de modelar para el núcleo externo y una bola maciza para representar el núcleo interno.</p> <p><i>Observación:</i> el problema de este recurso es que hay una representación errónea de las densidades de las capas internas. La única parte líquida es el núcleo externo; el manto es sólido. Esa observación se realizó junto al grupo de estudiantes cuando el recurso fue elaborado. Saberes 2, 6 y 8.</p>
7. Modelos táctiles de animales (estrella de mar y araña)		Biología - Zoología	<p>Cada animal representado de forma plana, como un dibujo, en la hoja de papel posee una textura diferente similar a sus estructuras: arroz pegado en la estrella de mar para simular sus pies ambulantes; bolitas de algodón para recrear el cuerpo de la araña y semillas para indicar la estructura de las piernas. Saberes 2, 6 y 8.</p>

<i>Recurso didáctico</i>	<i>Imágenes</i>	<i>Área de conocimiento</i>	<i>Descripción del recurso y saberes desarrollados según Camargo (2012)</i>
8. Diagrama de Linus Pauling táctil		Química	Recurso con diferentes texturas que indican las líneas en la distribución electrónica, escrita en relieve y brillantina para representar los subniveles de energía. Saberes 2, 3 y 8.

Fuente: Elaboración de los autores.

De acuerdo con los datos presentados en la tabla 1, en la elaboración de los materiales la prioridad fue la exploración de las representaciones táctiles-visuales mediante distintas texturas, dimensiones y formatos. Esos materiales se consideraron adecuados para la enseñanza de las ciencias por parte de estudiantes con y sin deficiencia visual. Los datos indican, en su mayor parte, el desarrollo de los saberes 2 y 6.

El saber 2, es decir, aquel «cuyos significados vinculados a las representaciones visuales siempre podrán ser registrados y vinculados a otro tipo de representación», se desarrolló durante la elaboración de todos los recursos didácticos que se diseñaron. Por ejemplo, en el recurso didáctico 1, la representación visual del mapa celeste se sustituyó por una representación táctil-visual de ese mismo mapa, utilizando texturas con alfileres de colores y líneas interconectadas, incorporando la escritura en braille con los nombres de las constelaciones. El mismo razonamiento puede aplicarse al análisis de los demás recursos, como, por ejemplo, el modelo de tectónica de placas, donde estas eran de cartón y sus bordes se destacaron con brillantina.

El saber 3, saber «que significados indisolubles de representaciones no visuales y sin relación sensorial no necesitan de referencial visual para ser comprendidos», se llevó a cabo en la confección de los recursos 4, 5 y 8, dado que el modelo de la tectónica de placas es un modelo teórico, no visual. Así, se elaboraron recursos con un referencial táctil. Un razonamiento análogo puede aplicarse en el caso del diagrama de Linus-Pauling.

El saber 4, es decir, aquel en el que «existen fenómenos físicos que no pueden ser observados empíricamente, y que, en este caso, la visión o cualquier otro sentido no contribuye a su comprensión» se desarrolló en la confección de los recursos 2, 4 y 5. Tanto el modelo del eclipse como el de la tectónica de placas no pueden ser observados de manera empírica, dado que constituyen modelos de fenómenos físicos, pero no constituyen los fenómenos en sí. En el caso de los eclipses, lo que se observa empíricamente es apenas la consecuencia del fenómeno (por ejemplo, la sombra del Sol proyectada en la Luna, o viceversa), pero no el modelo asociado al fenómeno. Un razonamiento análogo puede establecerse en el caso del modelo de la tectónica de placas.

El saber 6, el de «construir de forma superpuesta registros táctiles y visuales de comportamientos/ fenómenos» científicos, estuvo presente en la elaboración de gran parte de los recursos, con excepción del recurso 8, puesto que el diagrama de Linus Pauling ya es, de por sí, una representación, y no un fenómeno. A modo de ejemplo, puede citarse el modelo táctil de tectónica de placas, que explora

recursos táctiles como la brillantina para marcar los límites de las placas tectónicas. El mismo razonamiento puede aplicarse al análisis de los demás recursos.

Para finalizar, cabe destacar que solo un recurso, el 6, referente a la división en capas de la Tierra, exploró de manera exclusiva la representación táctil de las diferentes densidades de materiales, «pudiendo en estos ser perceptibles también diferentes sensaciones térmicas».

Como se pudo constatar, aun en la tentativa de incitar a los futuros profesores a utilizar ampliamente la multisensorialidad, se optó por los recursos sensoriales táctiles y visuales, no habiendo siquiera un recurso que explorara el olfato, el oído o el gusto. Esto revela que, aunque los alumnos se hayan esforzado por producir recursos didácticos inclusivos, les faltaron «elementos creativos» para conseguir realmente utilizar la multisensorialidad de manera más amplia.

En lo que se refiere a los saberes identificados, cabe resaltar que son categorías vinculadas específicamente a estudiantes con deficiencia visual y a contenidos del área de la física. Esto no significa que esas categorías no puedan aplicarse a otros campos del conocimiento, como, por ejemplo, la química, como indica el trabajo de Silva (2019). En la investigación aquí expuesta, algunos de los recursos didácticos producidos por los estudiantes abordaron fenómenos y conceptos de otras áreas del conocimiento, como la biología y la geología.

Pese a ser conscientes de esta limitación en nuestro análisis, se pudieron realizar algunas constataciones interesantes. En los recursos analizados, se desarrollaron los saberes 2, 3, 4, 6 y 8, mientras que los saberes 1, 5 y 7 no aparecieron en nuestro análisis.

El saber 5 (saber cómo abordar los múltiples significados de un fenómeno físico) –que puede extrapolarse a otras ciencias, como la química y la biología, por ejemplo– no apareció, probablemente por la dificultad que conlleva para los estudiantes explorar estos múltiples significados y así poder elaborar los recursos didácticos. A modo de ejemplo, el concepto de color, en términos sensoriales, posee un significado indisociable de la representación visual, no pudiendo ser representado interna o externamente por códigos no visuales. Así, un ciego de nacimiento no puede aprender ese significado exclusivo. Por otro lado, el concepto de color no está circunscrito a dicho significado. Se puede trabajar con esta noción en relación con una determinada frecuencia electromagnética. Este significado se vincula a las representaciones visual y táctil, por medio de la exploración de maquetas táctiles, siendo accesible tanto para personas ciegas como videntes.

Con relación al saber 7 (saber destituir la estructura empírica audiovisual interdependiente del lenguaje), sería más fácil de especificar en una situación en la que el futuro profesor realmente aplicase el recurso para explicar algún fenómeno. Dado que la producción del recurso no supone la utilización del lenguaje verbal, es comprensible que esta categoría no haya aparecido.

CONSIDERACIONES FINALES

Los saberes que aparecieron en los recursos indican que los estudiantes consiguieron incorporar parte de las discusiones realizadas en clase acerca de la multisensorialidad y de aspectos teórico-metodológicos vinculados con la educación inclusiva y que realizaron un esfuerzo por contemplar dicha dimensión en la producción de materiales didácticos.

Estas constataciones señalan que la inversión en acciones formativas para la promoción de la educación inclusiva en cursos de profesorado de ciencias puede ser fructífera, pero que necesita ser bastante intensificada. Cabe recordar que los estudiantes que participaron en esta investigación tuvieron solamente dos clases dedicadas a las discusiones sobre inclusión y que solo con ellas ya fue posible constatar la influencia de esas reflexiones en el material que diseñaron. Así, podemos inferir que, si hubiera una mayor inversión en la promoción de situaciones formativas, tendríamos más profesores de ciencias bien preparados para enseñar esta disciplina a cualquier estudiante.

De acuerdo con los recursos presentados por los alumnos, es posible notar que la elaboración de recursos y secuencias didácticos para estudiantes con deficiencia es un desafío, porque además de planificar un recurso accesible desde el principio también, en cierta medida, obliga a los profesores y a todos los que forman parte de la comunidad educativa a pensar en una nueva escuela, un nuevo currículo, una nueva forma de enseñar y una reestructuración del sistema educativo en el que todos los estudiantes quepan.

Repensar prácticas exige un esfuerzo hercúleo por parte de los profesores y los demás integrantes de la comunidad escolar, exige un cambio en el sistema educativo, en la formación de esos profesores, una transformación social y un cambio, también, en las políticas públicas. Desafortunadamente, todos estos cambios deben producirse, pues todo lo que ya fue construido priorizó a ciertos grupos sociales, excluyendo, como consecuencia, a los demás.

Es necesario un cambio en la formación inicial y continua de los profesores, lo que exige una reestructuración del currículo, la inserción de disciplinas vinculadas con la temática de la educación inclusiva o el desarrollo de prácticas en otras disciplinas que contribuyan a la formación del futuro profesor, incluyendo las prácticas docentes inclusivas.

Mientras tanto, iniciativas como las de incorporar trabajos en las disciplinas pedagógicas de los cursos de profesorado dentro de las áreas científicas que inviten a los estudiantes a pensar en clases y recursos accesibles es de vital importancia. Esto no garantiza que los estudiantes se gradúen con la seguridad de estar preparados para trabajar con ese público, pero les permite, en algún momento de su formación, reflexionar sobre ese asunto y repensar prácticas docentes antes de iniciar su trabajo en las escuelas o en la investigación académica. Se entiende que la educación inclusiva es un tema transversal, que necesita abordarse en todos los cursos de formación para los profesionales de la educación básica.

REFERENCIAS

- Ainscow, M. (2009). Tornar a educação inclusiva: como essa tarefa deve ser conceituada? En O. Fávero, W. Ferreira, T. Ireland y D. Barreiros (Orgs.), *Tornar a educação Inclusiva* (pp. 11-23). Unesco. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000184683>
- Amaral, G. K., Ferreira, A. C. y Dickman, A. G. (2009). Educação de estudantes cegos na escola inclusiva: O ensino de Física. En *Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- Brasil. (1996). *Lei Nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional*. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm
- Brasil. (2001). *Diretrizes nacionais para a educação especial na educação básica*. MEC. <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/diretrizes.pdf>
- Brasil. (2002). Conselho Nacional De Educação [CNE]. Resolução CNE/CP 1, de 18 de fevereiro de 2002. Institui Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, p. 31, abril de 2002. <http://goo.gl/EHrBKB>
- Brasil. (2008). *Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva*. MEC/SEESP. <http://portal.mec.gov.br/arquivos/pdf/politicaeducespecial.pdf>
- Brasil. (2009). Conselho Nacional de Educação [CNE] Resolução CNE/CP Nº 4, de 2 de Outubro de 2009. Institui Diretrizes Operacionais para o Atendimento Educacional Especializado na Educação Básica, modalidade Educação Especial. Resolução CNE/CEB 4/2009. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, p. 17, 5 de outubro de 2009. http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/rceb004_09.pdf

- Brasil. (2014). *Nota Técnica n. 04 / 2014 / MEC / SECADI / DPEE. Orientação quanto a documentos comprobatórios de alunos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades/superdotação no Censo Escolar*. MEC/SECADI /DPEE. <http://portal.mec.gov.br>.
- Brasil. (2015). *Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015*. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm
- Camargo, E. P. (2012). Discussão dos saberes docentes para a inclusão do aluno com deficiência visual em aulas de física. En E. P. Camargo, *Saberes docentes para a inclusão do aluno com deficiência visual em aulas de física* (pp. 249-263). Editora UNESP. <https://doi.org/10.7476/9788539303533>
- Camargo, E. P. (2017). Inclusão social, educação inclusiva e educação especial: enlaces e desenlaces. *Ciência e Educação (Bauru)*, 23(1), 1-6. <https://doi.org/10.1590/1516-731320170010001>
- Camargo, E. P. (Org.). (2020). *Inclusão escolar dos alunos público-alvo da educação especial: pesquisas em ensino de física, química, biologia e astronomia*. Cultura Acadêmica.
- Camargo, E. P. y Nardi, R. (2013). Contextos comunicacionales adecuados e inadecuados para la inclusión de alumnos con discapacidad visual en clases de Física moderna, *Enseñanza de las Ciencias*, 31(3), 155-175.
- Camargo, E. P., Scalvi, L. V. A. y Saes, T. M. (2007). Concepciones alternativas sobre reposo y movimiento, modelos históricos y deficiencia visual. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(2), 171-182.
- Carvalho, A. M. P. (Org.) (2013). *Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula* (1.ª ed.). Cengage Learning.
- Carvalho, A. M. P. y Gil-Pérez, D. (1994). *Formação de Professores de Ciências*. Cortez.
- Chaves, J. O., Gualter, R. M. R. y Oliveira, L. S. (2018). Jardim de sensações como prática inclusiva no ensino de botânica para alunos de Ensino Médio. *Experiências em Ensino de Ciências (Porto Alegre)*, 13(1), 241-250.
- Cobeñas, P., Grimaldi, V., Broitman, C., Sancha, I. y Escobar, M. (Coords.) (2021). *La enseñanza de las matemáticas a alumnos con discapacidad* (1.ª Ed.). EDULP. <https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/1635/1614/5265-1>
- Costa, A. F. S., Junior, A. J. V. y Gobara, S. T. (2019). Enseñanza de la biología celular a través de modelos concretos: un estudio de caso en el contexto de la discapacidad visual. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias (REIEC)*, 14(1), 50-62. <https://doi.org/10.54343/reiec.v14i1.240>
- Fernandes, T. C., Hussein, F. R. G. S. y Dominguez, R. C. P. R. (2017). Ensino de química para deficientes visuais: a importância da experimentação num enfoque multissensorial. *Química Nova na Escola*, 39(2), 195-203. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160076>
- Lippe, E. M. O. y Camargo, E. P. (2009). O ensino de ciências e seu desafio para a inclusão: o papel do professor especialista. En R. Nardi (Org.), *Ensino de ciências e matemática I: temas sobre formação de professores* (pp. 133-143). Cultura Acadêmica. <https://books.scielo.org/id/g5q2h/pdf/nardi-9788579830044-09.pdf>
- Lopes Victor, S., Vieira, A. B. y Oliveira, I. M. (Orgs.) (2017). Educação especial inclusiva: conceituações, medicalização e políticas. Brasil Multicultural. https://brasilmulticultural.org/wp-content/uploads/2020/04/Ebook_Educacao_especial-inclusiva-1.pdf
- Mantoan, M. T. E. (2003). *Inclusão Escolar: o que é? Por quê? Como fazer?* Moderna.

- Michelotti, A. y Loreto, E. L. S. (2019). Utilização de modelos didáticos tateáveis como metodologia para o ensino de biologia celular em turmas inclusivas com deficientes visuais. *Contexto & Educação*, 109, 150-169.
<http://dx.doi.org/10.21527/2179-1309.2019.109.150-169>
- Pletsch, M. D. (2009). A formação de professores para a educação inclusiva: legislação, diretrizes políticas e resultados de pesquisas. *Educar em Revista*, 33, 143-156.
<https://doi.org/10.1590/S0104-40602009000100010>
- Ramos, L., Castro, E. y Castro-Rodriguez, E. (2016). Instrucción en el uso de esquemas para la resolución de problemas aditivos a estudiantes con necesidades educativas especiales. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(1), 173-192.
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1765>
- Rodrigues, D. (Org.). (2006). *Inclusão e educação: doze olhares sobre a educação inclusiva*. Summus.
- Sant'ana, I. M. (2005). Educação inclusiva: concepções de professores e diretores. *Psicologia em Estudo*, 10(2), 227-234.
<https://doi.org/10.1590/S1413-73722005000200009>
- Sassaki, R. K. (2005). Inclusão: O Paradigma do Século XXI. *Inclusão- Revista da Educação Especial*, MEC/SEESP, 1(1), 19-23.
- Sasseron, L. H. (2015). Alfabetização Científica, Ensino por Investigação e Argumentação: relações entre Ciências da Natureza e escola. *Revista Ensaio*, 17 (número especial), 49-67, novembro.
<https://doi.org/10.1590/1983-2117201517s04>
- Silva, L. V. (2019). *Potencialidades da áudio-descrição de um livro didático de química: substâncias simples e compostas em foco*. [Tesis de máster]. Unesp - Faculdade De Ciências.
- Silva, T. S., Landim, M. F. y Souza, V. R. M. (2014). A utilização de recursos didáticos no processo de ensino e aprendizagem de ciências de alunos com deficiência visual. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 32-47.
- Soler, M. A. (1999). *Didáctica multisensorial de las ciencias: Un nuevo método para alumnos ciegos, deficientes visuales, y también sin problemas de visión*. Ediciones Paidós Ibérica.
- Souza, V. C. A. (2008). O ensino de Ciências e seus desafios inclusivos: o olhar de um professor de Química sobre a (in)diferença escolar. En *Atas do V Seminário Internacional Sociedade Inclusiva*, Belo Horizonte. <http://fep.if.usp.br/~profis/arquivos/vienpec/CR2/p40.pdf>
- Tavares, L. H. W. y Camargo, E. P. (2010). Inclusão Escolar, Necessidades Educacionais Especiais e Ensino de Ciências: Alguns Apontamentos. *Ciência em Tela*, 3(2).
- Unesco. (1990). Declaração Mundial da Educação para todos: Satisfação das necessidades básicas de aprendizagem. En *Conferência Mundial da Educação para todos*. Unesco. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000086291_por
- Unesco. (1994). Declaração de Salamanca sobre Princípios, Política e Práticas na Área das Necessidades Educativas Especiais. En *Conferência Mundial sobre Educação para Necessidades Especiais: Acesso e Qualidade*. Unesco. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000139394>
- Universidade de São Paulo (USP). (2018). *Ementa da disciplina Metodologia de Ensino em Ciências da Natureza*. <https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?sgldis=ACH4017&verdis=7>
- Vilela-Ribeiro, E. B. y Benite, A. M. C. (2010). A educação inclusiva na percepção dos professores de química. *Ciência & Educação*, 16(3), 585-594.
<https://doi.org/10.1590/S1516-73132010000300006>

Teacher Knowledge and Inclusive Education in the Development of Science Teaching Resources

Beatriz Cavalheiro Crittelli
Departamento de Letras. Universidade Federal de São
Paulo, Unifesp, Guarulhos, São Paulo, Brasil.
beatriz.crittelli@unifesp.br

Verónica Marcela Guridi
Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade
de São Paulo, São Paulo, Brasil.
veguridi@usp.br

Celi Rodrigues Chaves Dominguez
Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade
de São Paulo, São Paulo, Brasil.
celi@usp.br

Eder Pires de Camargo
Departamento de Física e Química. Faculdade de Engen-
haria, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, Brasil.
eder.camargo@unesp.br

The debate on school inclusion has grown, especially in recent years, and concepts such as *inclusion*, *inclusive education*, and *education for all* have gained relevance in the specialized literature. Inclusive education is an educational paradigm based on the conception of human rights, which combines equality and difference as inseparable values, and which advances in relation to the idea of formal equity by contextualizing the historical circumstances of exclusion inside and outside the school. Current views on inclusive education attribute a greater responsibility for the social condition of the person with disabilities to the social environment, and more specifically, to the people and structures that compose it. In this sense, the scientific education of the person with disabilities can be seen as a right to access scientific knowledge in the school system.

Linked to inclusive education, the idea of a universal design of learning presupposes the creation of a classroom environment in which all students are involved, for instance, without the need to create specific learning contexts for students with disabilities. This inclusive atmosphere includes the physical organization of the classroom, the methodological approach, and didactic resources, among others. In the field of science education, several works have emerged in the specialized literature that explore multisensoriality as an appropriate methodological approach for teaching in inclusive classes. However, little progress has been made in terms of teacher education when it comes to dealing with diversity in the classroom.

In this context, several questions arise: How can we contribute to making science education more inclusive for all students, regardless of their physical, social, health or relational possibilities? What would be the ideal education for teachers to promote the inclusion of these students? Is there such education? Which teaching practices and knowledge should be included in former teacher education in order to provide future teachers with the theoretical and methodological resources so that they can build knowledge and develop inclusive practices by themselves? Faced with this problem, in this paper we describe a piece of research carried out within the context of a teaching methodology discipline in a Science Teaching Education Program of a Brazilian public university, where prospective teachers –students in this program– were challenged to develop didactic resources oriented to the target of the formerly called special education, now, supposedly, included in general classrooms.

The theoretical framework that guided the preparation of the resources was the multisensory didactics developed by Soler. The analysis of the didactic resources which were produced by the students in the program draws on knowledge categories as proposed by Camargo: knowledge with meanings linked to visual representations that can always be registered and associated with another type of representation (tactile, auditive, etc.); the piece of knowledge dealing with the multiple meanings of a natural phenomenon; and knowledge on how to construct tactile and visual registers of natural behaviours/phenomena which are linked to visual representations in a overlapped way, among others.

The results show, first, that the resources were consistent to the proposal of a universal design and that students applied this idea to their productions. Secondly, that knowledge developed in the elaboration of the resources indicates that these prospective teachers incorporated part of the discussions held in the lessons on multisensoriality by fundamentally exploring the tactile dimension. Lastly, students in the aforementioned teaching program incorporated theoretical and methodological aspects related to inclusive education, thus making an effort to introduce this inclusive view in the production of didactic materials. The findings pointed out that investment in practices for the promotion of inclusive education in science teacher education programs can be fruitful but needs a wider application.



«No todo es sargazo»: Aprendizajes en un proyecto de ciencia ciudadana marino-costera

«Not Everything is Sargassum»: Learning from a Marine-Coastal Citizen Science Project

Ana I. Benavides Lahnstein
*Angela Marmont Centre for UK Nature,
Natural History Museum,
Londres, Reino Unido*

Arely A. Paredes Chi
*CONAHCYT, Facultad de Ciencias, UMDI
Sisal,
Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Mérida, Universidad Nacional
Autónoma de México, Yucatán, México*

Ameyalli Ríos Vázquez
*Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Mérida, Universidad Nacional
Autónoma de México, Yucatán, México*

María del Carmen Galindo-De Santiago
*Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Mérida,
Facultad de Ciencias, UMDI Sisal,
Universidad Nacional Autónoma de México,
Yucatán, México*

Kaysara Khatun
*Natural Resources Institute, Faculty
of Engineering & Science, University of
Greenwich. Londres. Reino Unido*

Erika Vázquez Delfin
*Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Mérida, Universidad Nacional
Autónoma de México, Yucatán, México
Centro de Investigación y de Estudios
Avanzados del Instituto Politécnico Nacional
(Cinvestav, Unidad Mérida), Yucatán,
México*

Lucy Robinson
*Angela Marmont Centre for UK Nature,
Natural History Museum,
Londres, Reino Unido*

Juliet Brodie
*Science, Natural History Museum,
Londres, Reino Unido*

Jessica Wardlaw
*Angela Marmont Centre for UK Nature,
Natural History Museum,
Londres, Reino Unido*

RESUMEN • Los efectos de la llegada abundante de macroalgas, como el sargazo, a la península de Yucatán motivó el monitoreo de los arribazones por medio de un proyecto de ciencia ciudadana dirigido a poblaciones afectadas o interesadas. Por medio de cuestionarios y entrevistas semiestructuradas, se analizaron los aprendizajes de 18 participantes (de 16 a 18 años) de la primera etapa del proyecto. Entre los hallazgos, destacó la interrelación de los nuevos aprendizajes disciplinares sobre las macroalgas y los procedimentales del trabajo de campo. Los participantes mostraron actitudes renovadas y positivas hacia la ciencia y el arribazón. Se reflexiona sobre qué factores impulsaron sus aprendizajes y habilidades para la investigación al atender los objetivos científicos, entre ellos: la relevancia del problema, el taller introductorio y la socialización entre las científicas y los participantes.

PALABRAS CLAVE: Cambio climático; Ciencia comunitaria; Formación científica; Ciencia ciudadana; Sargazo.

ABSTRACT • The effects of the abundant arrival of macroalgae, such as Sargassum, to the Yucatan Peninsula motivated the monitoring of beach-cast seaweeds through a citizen science project aimed at affected and interested populations. Questionnaires and semi-structured interviews were employed to analyse the learning outcomes of 18 participants (16 to 18 years) in the project's first stage. Among the findings, the interrelation of new disciplinary learning about macroalgae and skills for fieldwork stood out. Participants showed renewed and positive attitudes toward science and beach-cast seaweeds. We reflect on which factors drove their learning and research skills when addressing the scientific objectives, including the relevance of the problem, the introductory workshop, and the socialisation between the scientists involved and the participants.

KEYWORDS: Climate change; Community science; Scientific training; Citizen science; Sargasso.

Recepción: abril 2023 • Aceptación: septiembre 2023 • Publicación: marzo 2024

INTRODUCCIÓN

Los efectos del cambio climático, como el incremento de las temperaturas de los océanos (Marx et al., 2021), están relacionados con eventos que enmarcan la llegada abundante de macroalgas pelágicas del género *Sargassum* (sargazo) a la península de Yucatán, en México (García-Sánchez et al., 2020; Robledo et al., 2021; Vázquez-Delfin et al., 2021). Las macroalgas ofrecen servicios ecosistémicos, pero las acumulaciones abundantes afectan a otros ecosistemas como los arrecifes o las praderas de pastos marinos, y perjudican las actividades económicas en la región (Rosellón-Druker et al., 2022; Robledo et al., 2021). Los arribazones son acumulaciones de macrófitos en las playas causadas por corrientes, oleaje y viento, y pueden monitorearse por medio de ciencia ciudadana (CC) marino-costera (o ambiental) para generar información de línea base más amplia de lo que es comúnmente posible para grupos de investigación en la academia (Theobald et al., 2015). La CC invita al público a participar en estudios científicos apoyados por profesionales y su contribución varía según los niveles de participación que van desde la generación de datos hasta la inmersión completa en procesos de investigación (Cigliano y Ballard, 2018). Bonney et al. (2014) y Eitzel et al. (2017), ofrecen amplias perspectivas sobre la terminología, la definición y la progresión del campo.

La CC ambiental también puede ser una oferta complementaria para la educación científica formal (National Academies of Sciences, Engineering and Medicine [NASEM], 2018). Quizá por ello la implementación de proyectos de CC ambiental en contextos curriculares y extracurriculares ha ido en aumento (Rautio et al., 2022). El monitoreo de los arribazones a través de la CC promete experiencias situadas y formativas en ciencia que pueden darle un sentido funcional a la educación científica (Ryder, 2001). También puede ser una oferta complementaria para la educación científica formal y para abordar problemas socioambientales y acciones en torno al cambio climático (Cruz Sánchez et al., 2020; Hadjichambi et al., 2023; Hernández Velásquez et al., 2018), que en el currículo de la educación básica en México usualmente carece de relevancia con respecto a las problemáticas específicas de una región (González y Meira, 2020). No obstante, la participación o los aprendizajes alcanzados por el público infantil y juvenil son temas poco investigados (Kelemen-Finan et al., 2018; Rautio et al., 2022), incluyendo aquellos implementados en el sur global (Gouet Hiriart et al., 2022).

Dentro del proyecto *The Big Seaweed Search, Mexico: A Citizen Science Approach to Resolve Local Environmental and Societal Challenges in a Time of Global Climate Crisis*, se realizó la adaptación e implementación en México de *The Big Seaweed Search*, un programa de CC marino-costera de Reino Unido en operación desde el 2009. A la par, se desarrollaron dos líneas adicionales de investigación: un análisis socioeconómico del impacto del fenómeno en la región y una investigación educativa sobre los aprendizajes de jóvenes en el proyecto de CC. La adaptación del proyecto de CC se nombró *Ciencia en Acción: Ciudadanos navegando en el arribazón* (de aquí en adelante, lo llamaremos *Ciencia en Acción*) y promovió el monitoreo de arribazones en playas de Sisal, en Yucatán, y de Puerto Morelos, en Quintana Roo, ambos estados de México. Se invitó a ciudadanos locales y, en la primer etapa y enfoque de este estudio, principalmente a jóvenes de entre 16 y 18 años. Este artículo presenta la investigación educativa sobre los aprendizajes científicos y los cambios de actitudes de la juventud que participó en el primer periodo.

POTENCIAL DE LA CIENCIA CIUDADANA PARA EL APRENDIZAJE CIENTÍFICO

Los beneficios de aprendizaje de la CC se han documentado en contextos formales educativos (Kelemen-Finan et al., 2018; Lüsse et al., 2022) y en espacios informales como museos y programas extraescolares (Ballard et al., 2017; Wardlaw et al., 2022). Dos revisiones sistemáticas de estudios sobre CC ambiental publicados entre 2009 y 2017 resumen que aprender sobre las especies o ecosistemas bajo estudio y

habilidades científicas están entre los resultados individuales o colectivos de los científicos ciudadanos, junto a percepciones de mayor autoeficacia y motivación, así como cambios de actitud positivos (Peter et al., 2019; Stepenuck y Green, 2015). En contraste con las investigaciones en la didáctica de las ciencias (Osborne et al., 2003), los aprendizajes afectivos, como el cambio de actitudes y la curiosidad, se han reportado con menor frecuencia en CC (Gouet Hiriart et al., 2022; Stepenuck y Green, 2015). El enfoque afectivo se ha concentrado en factores de motivación para la participación en CC.

Las oportunidades de aprendizaje en CC dependen del individuo o las comunidades involucradas, pero también de los niveles de participación y de los roles disponibles (Davis Stylinski et al., 2020). Por ejemplo, la participación en la obtención de datos científicos puede desarrollar habilidades científicas al observar, medir, clasificar e identificar los objetos de estudio (García Bedoya et al., 2018). Dentro de la CC, también existe potencial para indagar o generar una hipótesis hacia el manejo o resolución de una problemática (Bruckermann et al., 2022). Dichas habilidades son necesarias para el razonamiento crítico y el trabajo científico (Padilla, 1990), así como para problematizar o razonar sobre conexiones causales, teorizar y elaborar explicaciones objetivas (Tolmie et al., 2016). Usar habilidades científicas y explorar creencias epistemológicas sobre la ciencia están implícitas al involucrarse en la CC (Bruckermann et al., 2022); no obstante, es posible participar en proyectos científicos sin profundizar en la naturaleza y métodos de la investigación (Lederman et al., 2019). Por otro lado, ser parte de una investigación puede impulsar el interés de los jóvenes hacia carreras relacionadas con las ciencias (NASEM, 2018) y hacia el desarrollo profesional en investigación (Pitt y Schultz, 2018).

Históricamente, las experiencias y aprendizajes de niñas, niños y jóvenes participantes en CC han sido poco estudiadas (Kelemen-Finan et al., 2018; Rautio et al., 2022). Estudios de caso sobre CC ambiental, dos en los Estados Unidos y uno en Chile, reportan que la juventud participante obtuvo aprendizajes disciplinares ambientales y ampliaron su comprensión del problema ambiental bajo estudio (Ballard et al., 2017; Pitt y Schultz, 2018; Wichmann et al., 2020). Uno de estos estudios también reportó muestras de autoeficacia y autonomía en la toma de roles y ejemplos selectos de agencia ambiental (Ballard et al., 2017). En estos programas, la interacción entre jóvenes y profesionales de la ciencia o manejo ambiental supuso una mejor participación y generó oportunidades para el aprendizaje en ciencias, además de ofrecer otra forma de enriquecer la cultura ecológica de los participantes (Rodríguez Jiménez et al., 2022). Si bien estos estudios han sentado un precedente, es necesario continuar explorando el potencial de aprendizaje de la CC en temas diversos, así como en otras regiones y contextos socioambientales.

METODOLOGÍA

Preguntas de investigación

Ciencia en Acción es un estudio de caso único examinado por medio de su primera etapa de implementación en dos sitios en una misma región (Yin, 2018). La investigación educativa atiende las siguientes preguntas:

1. ¿Qué aprendizajes sobre macroalgas, sus servicios ecosistémicos y posibles usos adquirieron las y los jóvenes participantes?
2. ¿Qué aprendizajes y habilidades sobre el trabajo científico para el estudio de los arribazones adquirieron las y los jóvenes participantes?
3. ¿Cuál es el potencial transformador del proyecto para la alfabetización científica y ambiental a nivel comunitario local?

El caso se analiza a partir de los aprendizajes alcanzados por jóvenes que fueron participantes en la primera etapa del proyecto de CC, considerando la influencia de un taller de introducción y las actividades científicas de campo en acompañamiento. Con énfasis en el enfoque cualitativo e influenciado por un paradigma interpretativo-constructivista (Cohen et al., 2018; Creswell, 2013), la investigación educativa se concentró en el estudio de las ideas, conocimientos y experiencias de quienes participaron en ella para encontrar las evidencias de aprendizaje.

Adaptación e implementación de «*Ciencia en Acción*»

Ciencia en Acción se basó en *The Big Seaweed Search* (<https://bigseaweedsearch.org>), este último desarrollado en el año 2009 por el Museo de Historia Natural de Londres y la Sociedad de Conservación Marina en Reino Unido. Por su parte, *Ciencia en Acción* generó información de línea base para estudiar la composición y la variación estacional de especies vegetales en los arribazones en la península de Yucatán, atendiendo a la presencia y abundancia relativa de 45 y 28 especies/taxones de macroalgas y pastos marinos en Puerto Morelos y Sisal, respectivamente. La implementación se llevó a cabo en tres etapas durante 10 meses y, aunque se contó con la colaboración de dos centros escolares de bachillerato, la participación de los jóvenes fue extraescolar. Siguiendo las recomendaciones de LEARN CitSci (<https://education.ucdavis.edu/ccs-learn-citsci>), un proyecto educativo previo que, entre otros programas, estudió *The Big Seaweed Search* durante 2017-2022 (Wardlaw et al., 2022), se integró un taller introductorio¹ al inicio de cada etapa de colecta en la playa (determinada por factores estacionales del clima) y se promovió la interacción entre científicos expertos y ciudadanos.



Fig. 1. Participantes de Sisal durante la etapa de identificación de material vegetal después de la primera sesión de campo en la playa.

1. Para acceder a una versión condensada del taller de introducción de *Ciencia en Acción*, sígase este enlace: <http://hdl.handle.net/10141/623061>.

En cada ocasión, el taller abarcó ocho horas a lo largo de una semana y ofreció: *a*) una introducción a las algas y los arribazones (incluyendo los arribos excesivos del sargazo y su ruta), al tema y al proyecto; *b*) apoyo y entrenamiento para el uso del protocolo de colecta o investigación, la guía de identificación de especies y otros materiales para el trabajo científico (figuras 1 y 2); *c*) una sesión de campo inicial para herborizar macroalgas en acompañamiento. Los monitoreos mensuales, cada uno de 2-3 horas, se iniciaban en un recinto académico, donde se formaban equipos y se repartían materiales para luego dirigirse al sitio de estudio. Tanto los ciudadanos como el equipo académico interactuaron constantemente durante el taller y en los monitoreos mensuales.



Fig. 2. Participantes de Puerto Morelos utilizando la guía de investigación en la primera sesión de campo en la playa.

Los datos obtenidos por los ciudadanos se registraron en papel y fueron recogidos y verificados *in situ* por el equipo académico, dado que la mayoría de quienes participaron no contaban con dispositivos móviles e internet en las playas. La verificación *in situ* permitió dar retroalimentación y reforzar conocimientos en tiempo real. Esta práctica de registrar los datos en papel también fue efectiva con jóvenes participantes de *The Big Seaweed Search* en Reino Unido (Wardlaw et al., 2022). Al final de las tres etapas, *Ciencia en Acción* sumó 112 participantes (niños, jóvenes y adultos) de ambos sitios de implementación.

Los participantes de esta investigación

La investigación educativa solo pudo realizarse con jóvenes (entre 16 y 18 años) que participaron en la primera etapa (entre marzo y julio del 2022) y que cumplieron con los criterios de inclusión: estar vacunado contra la COVID-19, participación voluntaria, tener consentimiento firmado de sus padres o tutores, participar en el taller de capacitación y participar en al menos tres sesiones de monitoreo en campo. En total, 18 jóvenes (9 de cada sitio de trabajo) decidieron participar de forma voluntaria (tabla 1) y cumplieron con los criterios de inclusión, 12 fueron del género femenino, 5 del masculino y uno prefirió omitir esta información. De este total, 7 indicaron ser de origen indígena (maya: 4,

tonaca: 1, zapoteca: 1 y sin especificar: 1); 8 se reconocieron como parte de la comunidad de Sisal y 7, de Puerto Morelos. Para esta investigación se obtuvo la autorización del comité de ética de las dos universidades involucradas en el proyecto (folios UREC/21.2.7.16 y 001/INV/2022) y los directivos y docentes de escuelas de bachillerato mediaron el acercamiento a la juventud participante en cada sitio.

Instrumentos y toma de datos

La obtención de datos se realizó antes y después de la intervención, administrando dos cuestionarios², uno previo y otro posterior a la participación en el taller de capacitación; así como una entrevista semiestructurada³ para quienes participaron en tres sesiones de colecta de macroalgas en la playa. Las encuestas y entrevistas del estudio LEARN CitSci (<https://education.ucdavis.edu/ccs-learn-citsci>) fueron adaptadas para esta investigación. En LEARN CitSci, los instrumentos se diseñaron a partir de una revisión de literatura (no publicada) sobre el aprendizaje de las ciencias en contextos informales y fueron validados mediante el pilotaje extensivo durante un año y revisados por los investigadores educativos y expertos en CC involucrados. En la adaptación de dichos instrumentos al presente proyecto educativo, se implementaron tres estrategias adicionales de validación recomendadas por Creswell (2013): *a*) se revisó la interrelación del contenido de las preguntas en los cuestionarios y en la entrevista; *b*) se pilotearon los instrumentos con miembros del proyecto cercanos al contexto de implementación; y *c*) se discutieron los instrumentos finales con miembros del equipo académico.

Para este proyecto, los cuestionarios se pilotearon en una escuela de la cabecera municipal de Sisal, con jóvenes que tenían características similares a los participantes del proyecto. Los cuestionarios se administraron de forma impresa en Sisal y por Google Forms para Puerto Morelos. El precuestionario está integrado por 28 preguntas abiertas, cerradas y de opción múltiple; y recabó experiencias en proyectos similares, conocimientos previos sobre las algas y la ciencia, así como su disposición inicial hacia la ciencia y la naturaleza. El poscuestionario contiene 45 preguntas que incluyen ítems abiertos, cerrados, de opción múltiple, explora aspectos de participación y refleja los contenidos del precuestionario. La entrevista también retomó y exploró con más profundidad los temas cubiertos por los cuestionarios y se apoyó en notas tomadas de las respuestas a los cuestionarios.

Tabla 1.
Resumen de datos recolectados para la investigación educativa

<i>Sitio de trabajo en campo</i>	<i>Precuestionario</i>	<i>Poscuestionario</i>	<i>Entrevista (-25 min)</i>
Sisal, Yucatán, México	9	9	5
Puerto Morelos, Quintana Roo, México	9	8	6
Total	18	17	11

También se generó un registro de las decisiones metodológicas y la implementación de los instrumentos y un registro y una evaluación de los riesgos potenciales. Estos también se emplearon como herramientas de comunicación para los miembros del equipo que apoyaron las actividades en campo de la investigación educativa. Además, se llevaron a cabo varias sesiones formativas con el equipo en campo para discutir y explicar los procesos de obtención de datos.

2. Para acceder a una versión condensada de los instrumentos que se usaron para la recolección de datos, sígase este enlace: <http://hdl.handle.net/10141/623061>.

3. <http://hdl.handle.net/10141/623061>

Análisis de datos

Dentro del proceso de análisis (tabla 2), destaca la codificación del cuerpo de datos cualitativos (hecho en Dedoose 9.0.54) y el análisis interpretativo consecuente (Cohen et al., 2018). El libro de códigos fue generado a través de una revisión de literatura extensiva, que pasó por seis ciclos de revisión y fue editado por seis investigadores educativos involucrados en LEARN CitSci (aunque no publicado, se obtuvo permiso para usarlo). Los códigos deductivos incluyen los componentes del aprendizaje agéntico científico-ambiental propuesto por Ballard et al. (2017) y los pasos hacia la generación de un registro biológico a través de la CC propuesto por Lorke et al. (2021). Se agregaron códigos inductivos y más específicos sobre la clasificación de las algas, nociones de biodiversidad y servicios ecosistémicos, entre otros.

Tabla 2.
Secuencia resumida del proceso de análisis

<i>Etapas</i>	<i>Descripción</i>
<i>Procesamiento</i>	Transcripción y familiarización del cuerpo de datos.
<i>Preparación del libro de códigos</i>	El libro de códigos de LEARN CitSci fue revisado por la transcriptor y las analistas para incluir códigos inductivos informados por las lecturas iniciales de los datos.
<i>Codificación de datos</i>	Codificación de los datos cualitativos de cada grupo (Sisal y Puerto Morelos) y doble codificación en ciego de tres cuestionarios para reducir la subjetividad en la aplicación de los códigos (Campbell, 2013).
<i>Triangulación de datos</i>	Se usó una guía de análisis interpretativo con base en cada pregunta de investigación. También se generaron matrices para aislar conjuntos de datos de un individuo, de todos los participantes en un grupo (Sisal o Puerto Morelos) y de ambos. De forma paralela y complementaria, se analizaron las narrativas en los cuestionarios y entrevistas, resaltando conocimientos y descripciones de actitudes, comportamiento y práctica de habilidades.
<i>Reporte</i>	El reporte de resultados agrupa los hallazgos de los jóvenes en ambos lugares (Sisal y Puerto Morelos), ya que no se encontraron diferencias notables en los análisis hechos por separado para el grupo de participantes de cada sitio.

La validación del análisis se fortaleció con varias estrategias sugeridas por Creswell (2013) y Flick (2018): contar con una guía de análisis, un libro de códigos revisado por varios expertos, codificar en ciego y examinar los datos obtenidos por cada instrumento de manera complementaria. También se organizaron reuniones mensuales con el equipo de investigación educativa del proyecto para discutir el progreso del análisis.

Se buscaron evidencias de aprendizaje científico y la adquisición de conocimientos relacionados con la temática del proyecto de CC, como se ha sugerido en otras investigaciones (por ejemplo, en Ballard et al., 2017; Kelemen-Finan et al., 2018; Lüsse et al., 2022; Wardlaw et al., 2022). Se identificaron aprendizajes en torno a las habilidades científicas puestas en práctica (Davis Stylinski et al., 2020), el uso de vocabulario científico (NASEM, 2018) y los cambios de actitud sobre la ciencia en general, la naturaleza y las macroalgas. Como se ha encontrado en otros proyectos (NASEM, 2018; Stepenuck y Green, 2015), estos cambios incluyen expresiones de entusiasmo por la ciencia, ideas positivas o propositivas sobre el sargazo y el interés por la naturaleza o la ciencia. También, como hicieron Ballard et al (2017), se identificaron aspectos metacognitivos de competencia y autoeficacia.

RESULTADOS

Adquisición de conocimientos disciplinares sobre las macroalgas y sus servicios ecosistémicos

En el precuestionario, las y los jóvenes mostraron conocimientos limitados acerca de las algas marinas. La mayoría no conocía ningún tipo, aunque cinco jóvenes mencionaron el sargazo (Sisal, $n = 3$ y Puerto Morelos, $n = 2$), mientras que otro par mencionó las algas verdes y rojas. En el poscuestionario se les preguntó «¿Qué tipo de algas marinas conoces ahora?» y 17 participantes mencionaron múltiples ejemplos, de modo que mostraron la adquisición de nuevos conocimientos sobre las macroalgas.

Al hablar de sus observaciones en el campo, mencionaron especies como las «Filamentosas y pelágicas» (PMS2, Puerto Morelos, poscuestionario) y las «*[Sargassum] fluitans*, *[S.] natans* 1[I], *[S.] natans* 8[VIII] y *Thalassia testudinum*» (PMS6, Puerto Morelos, poscuestionario). Otros comentarios describen cómo: «[Ahora] conozco algunas algas rojas, verdes y pardas» (SS1, Sisal, entrevista) o «...Y a mí la que me gustó es la Jania y la que parece gelatinosa.» (SS13, Sisal, entrevista). En las encuestas y entrevistas, 6 participantes recordaron y usaron correctamente términos científicos específicos de las guías para el trabajo del campo, pero el resto utilizó descripciones menos específicas.

En menor grado se mencionaron categorías taxonómicas de primer orden (por ejemplo, el género), la textura y consistencia y el hábitat: «Algas verdes, algas rojas, *[S.] natans* 1[I], *[S.] natans* 8 [VIII], *[Sargassum] fluitans*, *Turbinaria turbinata*, algas filamentosas, pastos marinos» (PMS4, Puerto Morelos, poscuestionario). Otro joven apuntó: «En los libros [guía de identificación] estaban divididas cada especie de las algas. Estaban las pelágicas, bentónicas, carnosas creo que se llamaban también, que esas eran las que no habían aquí» (PMS2, Puerto Morelos, poscuestionario). De manera general, los participantes no diferenciaron entre los niveles de clasificación taxonómica con gran detalle, pero sí mostraron conocimientos taxonómicos básicos.

Tanto los comentarios realizados en la entrevista como las respuestas a las preguntas abiertas de los cuestionarios mostraron que algunos reconocieron nuevos aprendizajes: «Antes no sabía de la importancia del arribazón y por qué es necesario saber de las algas. Antes pensaba que, no sé, son [plantas] que se echaron a perder o algo así» (SS12, Sisal, entrevista). Otra joven mencionó: «Pues ahora conozco más y entiendo como preservar estas especies y eso también transmitirlo a mis familiares» (PMS3, Puerto Morelos, poscuestionario). También se mencionó la adquisición de conocimientos sobre la diversidad de algas marinas en los arribazones. Por ejemplo, un joven afirmó:

Yo no sabía casi nada, o sea, sí sabía del sargazo, pero no sabía que eso que le llamamos «sargazo» era un arribazón. O sea, yo me imaginaba solo el sargazo y que [todo] es sargazo, pero, ya viendo bien el arribazón pues ya hay diversidad de algas (SS5, Sisal, entrevista).

La comparación de los cuestionarios mostró que también ampliaron sus ideas iniciales sobre los servicios ecosistémicos. En un inicio, de manera general reconocieron que las algas contribuyen al soporte de la vida marina, pero después 17 jóvenes mencionaron servicios ecosistémicos más específicos como los de provisión. Entre sus comentarios se encuentra el que especifica que «[Las algas] se pueden utilizar como fertilizante natural, componente de medicinas o cosméticos» (PMS1, Puerto Morelos, poscuestionario) y que «Tienen distintas funciones: hay algas que se comen, se utilizan para crear compuestos» (SS12, Sisal, poscuestionario). La herborización de macroalgas en el taller también motivó a un par de jóvenes de Sisal a reconocer el potencial artístico de las macroalgas, atribuyéndoles un valor estético, sociocultural e incluso económico.

Aprendizajes y habilidades científicas alcanzadas

Poner en práctica el protocolo para la colecta de datos en la playa creó oportunidades para el desarrollo del pensamiento y habilidades científicas de los participantes. Al estudiar sus respuestas en los cuestionarios y las entrevistas, 13 afirmaron que mejoraron su habilidad para la observación, la medición o la identificación de diferentes tipos de macroalgas. Por ejemplo, una joven dijo: «Puedo identificar 3 tipos de *Sargassum* y 2 pastos» (PMS6, Puerto Morelos, poscuestionario) y otro joven confesó que desarrolló un «Mayor conocimiento sobre [las macroalgas], y más rapidez al identificarlas» (SS1, Sisal, poscuestionario). Otros participantes reconocieron que mejoraron su destreza para usar la guía de investigación, la balanza y otros materiales que se emplearon para el trabajo de campo en la playa. El poscuestionario y las entrevistas no presentaron evidencia de otras habilidades como inferir, predecir y comunicar resultados.

En el poscuestionario, 12 jóvenes describieron el tipo de datos que recopilaron: «... Las diferentes macroalgas, tipos, sus partes, cómo se conservan, características» (SS5, Sisal, poscuestionario), «Los nombres científicos, características de las algas, cantidades, tipos de algas, etc.» (PMS4, Puerto Morelos, poscuestionario) y la ubicación, las condiciones climáticas y la abundancia del arribazón. Estas evidencias están relacionadas con sus ideas sobre el uso de los datos. Por ejemplo, un participante comentó:

[Los datos] formarán parte de un registro. O sea, como para ver qué cantidad de algas hay en un cierto mes, de qué especie o qué, y si el clima o las condiciones en sí afectan [...] Por ejemplo, puede ser que en un día soleado haya mucha alga, pero no haiga (sic) abundancia de especies, o sea, probablemente haiga dos especies. Y, por ejemplo, si está nublado o hay frío, puede ser que haiga otras [especies]. (SS10, Sisal, entrevista)

En el precuestionario, 14 jóvenes respondieron que el objetivo de *Ciencia en Acción* era aprender sobre las macroalgas, aunque este fue solo uno de los objetivos específicos. Después de participar, 17 participantes señalaron que el proyecto podría: contribuir al conocimiento sobre la composición o abundancia del arribazón; mejorar métodos de investigación similares o relacionados; analizar el aprendizaje de las y los científicos ciudadanos; informar al público sobre este fenómeno natural; o generar propuestas de manejo de los arribazones. Por ejemplo, un joven mencionó que sus datos se usarían para «Saber un aproximado del arribazón que llega y en qué tiempo» (SS1, Sisal). Los participantes mostraron incertidumbre sobre el uso de los resultados, aunque estas nociones fueron más apegadas a los objetivos iniciales.

El potencial transformador del proyecto para la alfabetización científica en la comunidad

Al responder a la pregunta «¿Cómo ha cambiado tu forma de pensar acerca de la ciencia?» en el poscuestionario (la misma pregunta se repitió para la naturaleza), 15 participantes expresaron nuevas actitudes positivas hacia la ciencia, las macroalgas o la naturaleza. Sus expresiones incluyeron un entusiasmo renovado hacia la ciencia y dijeron que la entendían mejor. Sus comentarios incluyeron: «[Ahora] creo que no todo es aburrido, y es que sí tenía esa idea de que la ciencia es aburrida» (PS9, Puerto Morelos, poscuestionario). Sobre la naturaleza y las macroalgas, sus comentarios incluyen: «Cuidar el ambiente del cual también dependemos» (PS8, Puerto Morelos, poscuestionario) y «[Cambié] de una manera bien, llamándome la atención sobre las funciones que tienen las macroalgas» (SS4, Sisal, poscuestionario). Algunas personas indicaron que las macroalgas no son «basura» o necesariamente peligrosas (las mismas que afirmaron lo contrario antes del proyecto), y a veces les atribuyeron un valor estético. Un joven de Puerto Morelos, donde se presenta la problemática del sargazo con mayor intensidad, mencionó que su actitud había cambiado al darse cuenta de que «No todo es sargazo, existen

otros tipos de vida» (PS9, Puerto Morelos, poscuestionario). Por ejemplo, una joven dijo que su visión de la naturaleza cambió al ya «No ver de manera negativa a las macroalgas» (SS4, Sisal, poscuestionario) y otro joven explicó que:

No tenía mucho conocimiento de [algas]. Yo pensaba que el arribazón pues solo era [sic] el sargazo y ya. Jamás me había puesto a verlo detenidamente y solo [pensaba] «Es sargazo y ya. Es sargazo». No veía muy interesante el sargazo ¿ya? Entonces me acerqué, nos empezaron a dar estos talleres, el curso y todo eso, y pues ya fui cambiando mi forma de pensar. Veo que [las algas] sirven para muchas cosas: para comer, para cosas del hogar o algo así. (SS5, Sisal, entrevista)

En Sisal, los eventos de sargazo no son tan intensos como los de Puerto Morelos (el segundo lugar de investigación); no obstante, sus ideas muestran que las creencias compartidas del fenómeno han llegado a otras regiones también. Algunos de los comentarios muestran brevemente sus creencias e historias locales sobre las algas:

Sí porque acá la gente pues como que le da más o menos asco el acercarse al arribazón y tocarlo. Porque hay algunas [algas] que te dan un poco de comezón. Entonces, la gente al estar mayormente desinformada pues lo ignoró. Antes yo hacía eso porque **de chiquito siempre me decían**, cuando me iba a bañar al mar, «¡No estés tocando el sargazo!», me decían. (SS1, Sisal, entrevista)

Hay evidencias en las entrevistas y en el poscuestionario de que también comenzaron a usar lo aprendido durante el proyecto en su vida cotidiana. Por ejemplo, una joven mencionó: «He aprendido a identificarlas [macroalgas] y enseñé a algunos amigos sobre esto» (PMS2, Puerto Morelos, poscuestionario). Siete jóvenes también narraron que compartieron sus experiencias y aprendizajes sobre la diversidad de los arribazones con familiares u otras personas en sus círculos cercanos para promover una mejor comprensión del arribazón. Un joven relató: «Pues le enseñé a mi familia lo que aprendí para que así sepan que no todo es sargazo» (PMS4, Puerto Morelos, poscuestionario). A la par, cuatro jóvenes buscaron o identificaron macroalgas en su tiempo libre; aunque no se mencionó que usaran algún protocolo para la observación. También una joven apuntó que a veces lee la guía de identificación en su tiempo libre y otra dijo:

Cuando empecé el curso, mi primo y yo fuimos a la playa y empezamos a buscar algas, pero no sabíamos todavía su nombre. Cuando llegamos a nuestra casa, llevamos el alga, la agarramos, y fui a buscar el librito y busqué su nombre. (SS13, Sisal, entrevista)

Les pareció importante que otros miembros de sus comunidades tengan más información sobre el arribazón; 8 jóvenes visualizaron que la comunidad podría verse beneficiada de aprender sobre las macroalgas y su posible aprovechamiento. También destacó que uno de los jóvenes empezó a trabajar en la generación de abono para plantas usando macroalgas como fuente de nutrientes, minerales y carbono. Cinco jóvenes indicaron que planean participar en otras actividades relacionadas con la ciencia o la naturaleza: «Planeo participar en proyectos que involucren a la ciencia y mi comunidad» (SS1, Sisal, poscuestionario). De estos, 4 no habían tenido experiencias similares previamente, lo cual sugiere que el proyecto estimuló su interés para explorar este tipo de proyectos en otros contextos.

DISCUSIÓN

Conocimientos y prácticas para estimular la alfabetización científica

El desarrollo del mismo proyecto en dos sitios diferentes (Sisal y Puerto Morelos) demostró que la participación en CC impulsó el aprendizaje científico sobre los temas abordados en la mayoría de los

participantes. Estudios previos han reportado que la participación en CC motiva la adquisición de conocimientos sobre el objeto principal de estudio (Peter et al., 2019; Pitt y Schultz, 2018; Stepenuck y Green, 2015; Wardlaw et al., 2022). No obstante, la clara interrelación entre los aprendizajes disciplinares y prácticos, la poca disponibilidad de CC en Yucatán y Quintana Roo, así como las barreras para la comunicación oral y escrita de las y los participantes atribuyen importancia a sus avances para aprender sobre la diversidad de las macroalgas y los procesos de monitoreo en la playa.

Unido a la adquisición de conocimientos disciplinares de la mayoría, el taller y el trabajo de monitoreo en la playa impulsó a las y los participantes a aprender qué observar para distinguir la diversidad en la materia vegetal en el arribazón. La «ceguera por las plantas» (Achurra, 2022) o la disparidad en la apreciación por las plantas (Parsley, 2020) sugiere que las personas notamos más a los animales que a estas; y esto fue evidente en las ideas iniciales sobre las algas que tenía la mayoría. Desde el punto de vista biológico, Achurra (2022) explica que las plantas crean un panorama visual homogéneo verde, y para el ojo humano esto puede dificultar la diferenciación de especies. Aunque las macroalgas no son plantas, normalmente siguen un patrón homogéneo dentro del arribazón, lo que supone una barrera para ser percibidas por el ser humano y un fenómeno que podría investigarse en participantes de CC.

Entre los hallazgos, destacó la interrelación y reciprocidad que se produjo entre los conocimientos disciplinares y las habilidades científicas para el trabajo de campo, un proceso que cimentó sus aprendizajes y podría investigarse más a fondo en otros proyectos. Por ejemplo, la identificación de macroalgas y otras especies vegetales impulsó su conocimiento taxonómico. De forma similar, Bruckermann et al. (2022) concluyeron que las habilidades para el razonamiento científico pueden ser aprendizajes que, en paralelo, estimulen la adquisición de conocimiento disciplinar. Por otro lado, verse a sí mismo, y por otros, como competente en los temas abordados puede estimular o fortalecer su identificación con la ciencia y manifestaciones de agencia ambiental (Ballard et al., 2017).

Por otro lado, el razonamiento lógico para ligar los objetivos científicos y las actividades prácticas en el protocolo de investigación fue limitado. Fueron parte de un proceso científico y adquirieron aprendizajes, aún sin tener una comprensión profunda de por qué se implementó ese proceso para la obtención de los datos. Abrahams et al. (2011) encontraron que el trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias en la escuela puede ser más mecánico que mental, por lo que el andamiaje para el trabajo conceptual puede estar ausente. Por otro lado, en *Ciencia en Acción*, los objetivos no estuvieron enfocados en hacer ese acompañamiento conceptual explícitamente, aunque es una oportunidad latente para iniciativas de CC que impulsan la participación del público a través de la recolección de datos.

El desarrollo de habilidades y la aplicación del rigor científico sugerido influyen en la generación de datos confiables para la investigación (Theobald et al., 2015). También influye la percepción de los participantes sobre el potencial de los datos para la investigación (Wardlaw et al., 2022). En este sentido, las y los jóvenes obtuvieron información biológica que fue útil para desarrollar una base de datos inicial y un artículo de investigación científica (en prensa), lo que potenció una participación efectiva en CC (Lorke et al., 2021). No obstante, la sola obtención de los datos tiene menos incidencia sobre habilidades como inferir, analizar datos y comunicarlos, así como poder ser parte de la comunidad científica del proyecto (Cigliano y Ballard, 2018; Rautio et al., 2022).

En CC, además del contexto científico de las prácticas y el andamiaje, la clara comunicación del marco científico es vital (Wardlaw et al., 2022). Es importante invitar al público a tomar parte en procesos cocreativos, explícitos y reflexivos sobre lo hecho en la investigación (Lederman et al., 2019; Rautio et al., 2022), tomando los principios de la investigación-acción participativa (Senabre Hidalgo et al., 2021). En una revisión sobre cómo se enseña a hacer ciencia, Ezquerro et al. (2019) encontraron que el 58 % de los estudios escogió la investigación participativa con estudiantes y docentes; sin embargo, este estudio demuestra que también la CC puede impulsar el aprendizaje en ciencias y, a través de ella, abordar temas sociocientíficos y situarlos en contextos relevantes.

En México, la Ley General de Cambio Climático reconoce que la formación de la ciudadanía y el fomento de la investigación en temas relativos al cambio climático son instrumentos para la mitigación y el manejo de los riesgos (Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos, 2012). En este sentido, las y los participantes contribuyeron a investigar sobre un tema relacionado con los efectos del cambio climático (en prensa), y generaron preguntas y propuestas básicas para atender la crisis (Cruz Sánchez et al., 2020), sumándose a los casos de CC que impulsan la participación ciudadana en iniciativas proambientales (Hadjichambi et al., 2023). En conjunto, la adquisición de conocimientos disciplinares, el desarrollo de ideas sobre la naturaleza de la ciencia y las habilidades para el razonamiento científico pueden estimular el sentido funcional de la educación científica (Ryder, 2001). En contextos en los que los recientes eventos climáticos se asocian a crisis socioambientales, la educación científica es necesaria para comprender sus consecuencias y poder usar el conocimiento disponible para tomar acciones hacia la recuperación ecológica y la resiliencia socioambiental.

El potencial transformador de la alfabetización científica y ambiental a nivel comunitario local

La adquisición de conocimientos disciplinares sobre las macroalgas también motivó cambios en las creencias y actitudes previas sobre el arribazón. En un inicio, las ideas de las y los jóvenes sobre el arribazón, especialmente entre los de Puerto Morelos, eran de desagrado y desconexión con la posibilidad de incidir positivamente en la problemática y el manejo ambiental responsable del sargazo. Reconocer las percepciones sociales sobre un recurso natural para planear e implementar procesos educativos representa un camino y una oportunidad para la conservación de los recursos costeros (Bennett, 2016; Mendoza-González et al., 2020). Al conocer más sobre los servicios ecosistémicos de las algas y los posibles alcances de la investigación en este proyecto, también ampliaron su cultura ecológica en un contexto relevante (Rodríguez Jiménez et al., 2022) y la utilizaron en procesos de socialización, que son necesarios para su conservación socioambiental (Castillo-Burguete et al., 2019) y para los planes de respuesta y resiliencia frente a los efectos del cambio climático (Hernández Velásquez et al., 2018). Partiendo de esto, otros proyectos de CC ambiental y marina podrían amplificar su impacto al movilizar el intercambio de conocimientos entre redes inter e intracomunitarias y explorar el conocimiento local de las comunidades impactadas y aledañas a los efectos del cambio climático.

CONCLUSIONES

Este estudio planteó que un proyecto de CC, enfocado en el monitoreo de arribazones de macroalgas marinas en la península de Yucatán, puede estimular la educación científica de sus participantes. La mayoría de las y los jóvenes invitados a ser parte de este estudio aprendieron sobre las macroalgas y su diversidad en los arribazones y mostraron actitudes más positivas hacia la ciencia y la naturaleza. Destacó la interrelación entre los conocimientos disciplinares adquiridos y las habilidades para el trabajo y el pensamiento científico como parte de los procesos de aprendizaje. El potencial educativo de este proyecto de CC se fortaleció a través de un taller, el acompañamiento de las científicas en el trabajo de campo y la orientación facilitada por las guías de investigación. El desarrollo del estudio *in situ* y sobre problemas locales fueron factores que impulsaron el interés y la participación. En particular, la juventud en la península de Yucatán se enfrenta a diversas barreras para acceder a una formación científica de calidad; los resultados de este estudio sugieren que los proyectos de CC marina o ambiental pueden ampliar su rango de oportunidades para la educación científica y para la educación sobre el cambio climático en la región.

LIMITACIONES

Siguiendo las recomendaciones del comité de ética, solo se invitó a jóvenes vacunados contra el virus COVID-19. En el momento en el que se condujo esta investigación, únicamente los jóvenes mayores de 15 años tenían acceso a la vacunación. Esto limitó la posibilidad de invitar a participantes más jóvenes. También, durante el trabajo de campo en la playa, el equipo de investigación observó múltiples ejemplos de aprendizaje que no pudieron ser sistemáticamente documentados. Esto significa que esta investigación ofrece una mirada parcial del potencial educativo del proyecto.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros 18 jóvenes participantes de investigación, a los facilitadores, científicos y a otros voluntarios que apoyaron el proyecto.

FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue financiada por «Knowledge Frontiers: Programa Internacional de Investigación Interdisciplinaria 2021» de la Academia Británica (número de subvención KF5210269).

REFERENCIAS

- Abrahams, I., Reiss, M. y Sharpe, R. (2011). Getting practical – the evaluation. *School Science Review*, 93(342), 37-44. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10024056>
- Achurra, A. (2022). Plant blindness: A focus on its biological basis. *Frontiers in Education*, 7, 963448. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.963448>
- Ballard H. L., Dixon, C. y Harris, E. (2017). Youth-focused citizen science: examining the role of environmental science learning and agency for conservation. *Biological Conservation*, 208, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.05.024>
- Bennett, N. (2016). Using perceptions as evidence to improve conservation and environmental management. *Conservation Biology*, 30(3), 582-592. <https://doi.org/10.1111/cobi.12681>
- Bonney, R., Shirk, J. L., Phillips, T. B., Wiggins, A., Ballard, H. L., Miller-Rushing, A. J. y Parrish, J. K. (2014). Next steps for citizen science. *Science*, 343(6178), 1436-1437. <https://doi.org/10.1126/science.1251554>
- Bruckermann, T., Greving, H., Schumann, A., Stillfried, M., Börner, K., Kimmig, S. E., Hagen, R., Brandt, M. y Harms, U. (2022). Scientific reasoning skills predict topic-specific knowledge after participation in a citizen science project on urban wildlife ecology. *Journal of Research in Science Teaching*, 1-27. <https://doi.org/10.1002/tea.21835>
- Campbell, J., Quincy, C., Osserman, J. y Pedersen, O. (2013). Coding in-depth semistructured interviews: problems of unitization and intercoder reliability and agreement. *Sociological Methods & Research*, 42(3), 294-320. <https://doi.org/10.1177/0049124113500475>

- Castillo-Burguete, M. T., Martínez-Mateos M. y Viga-de Alva, M. D. (2019). Natural resources knowledge socialization in Yucatan, Mexico: promoting a mutually beneficial society-nature relationship. *Ecology and Society*, 24(3), 1-26.
<https://doi.org/10.5751/ES-11016-240321>
- Cigliano, J. y Ballard, H.L. (2018). The promise of and the need for citizen science for coastal and marine conservation. En J. Cigliano y H. L. Ballard (Eds.), *Citizen Science for Coastal and Marine Conservation* (pp. 3-15). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315638966>
- Cohen, L., Manion, L. y Morrison, K. (2018). *Research methods in education* (8.ª ed.). Routledge.
- Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos. (2012). Ley General de Cambio Climático. *Diario Oficial de la Federación*, 13 de julio de 2018. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5301093
- Creswell, J. (2013). *Qualitative inquiry and research design*. SAGE Publications.
- Cruz Sánchez, G., Maldonado González, A. y Bello Benavides, L. (2020). Paradigmas mixtos: interpretativo y crítico en estudios sobre cambio climático. *Revista de Investigación Educativa de la Rediech*, 11(E712), 1-21.
https://doi.org/10.33010/ie_rie_rediech.v11i0.712
- Davis Stylinski, C. D., Peterman, K., Phillips, T., Linhart, J. y Becker-Klein, R. (2020). Assessing science inquiry skills of citizen science volunteers: a snapshot of the field. *International Journal of Science Education, Part B*, 10(1), 77-92.
<https://doi.org/10.1080/21548455.2020.1719288>
- Eitzel, M. V., Cappadonna, J. L., Santos-Lang, C., Duerr, R. E., Virapongse, A., West, S. E., Kyba, C. C., Bowser, A., Cooper, C. B., Sforzi, A., Metcalfe, A., N., Harris, E., Thiel, M., Haklay, M., Ponciano, L., Roche, J., Ceccaroni, L., Shilling, F. M., Dörler, D.,... (2017). Citizen Science Terminology Matters: Exploring Key Terms. *Citizen Science: Theory and Practice*, 2(1):1, 1-20.
<https://doi.org/10.5334/cstp.96>
- Ezquerro, A., Mafokozi Ndabishibije, J., Campillejo, A., Benítez Villamor, A. y Morcillo Ortega, J. (2019). Tendencias de las investigaciones sobre la ciencia presente en la sociedad: una revisión sistemática. *Enseñanza de las ciencias*, 37(3), 31-47.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2727>
- Flick, U. (2018). *Doing triangulation and mixed methods*. Londres: SAGE Publications Ltd.
- García Bedoya, N. M., Paca Vallejo, N. K., Bonifaz Valdez, B., Gómez Arteta, I. I. y Arista Santisteban, S. M. (2018). Investigación formativa en el desarrollo de habilidades comunicativas e investigativas. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(1), 125-136.
<https://doi.org/10.18271/ria.2018.336>
- García-Sánchez, M., Graham, C., Vera, E., Escalante-Mancera, E., Álvarez-Filip, L. y Van Tussenbroek, B. I. (2020). Temporal changes in the composition and biomass of beached pelagic Sargassum species in the Mexican Caribbean. *Aquatic Botany*, 167(103275).
<https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2020.103275>
- Gouet Hiriart, C., Salazar Rodríguez, D., Riquelme Maulén, W., Rojo Almarza, A. y Opazo Bunster, D. (2022). The EXPLORA model of citizen science at schools: design and implementation in the intercultural south of Chile. *Tapuya: Latin American Science, Technology and Society*, 5(1), 211-249.
<https://doi.org/10.1080/25729861.2022.2117492>
- González Gaudiano, É. J. y Meira Cartea, P. Á. (2020). Educación para el cambio climático: ¿Educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles educativos*, 42(168), 157-174.
<https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2020.168.59464>

- Hadjichambi, D., Hadjichambis, A., Adamou, A. y Georgiou, Y. (2023). A systematic literature review of K-12 environmental Citizen Science (CS) initiatives: unveiling the CS pedagogical and participatory aspects contributing to students' environmental citizenship, *Educational Research Review*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2023.100525>
- Hernández Velásquez, D., Cruz Sánchez, G. E. y Bello Benavides, L. O. (2018). Representaciones sociales de vulnerabilidad frente a fenómenos hidrometeorológicos de jóvenes de bachillerato. El caso de dos escuelas del Estado de Veracruz. *Trayectorias, Revista de Ciencias Sociales de la Universidad de Nuevo León*, 20(47), 103-125. <https://trayectorias.uanl.mx/public/anteriores/47/pdf/5.pdf>
- Kelemen-Finan, J., Scheuch, M. y Winter, S. (2018). Contributions from citizen science to science education: an examination of a biodiversity citizen science project with schools in Central Europe. *International Journal of Science Education*, 40(17), 2078-2098. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1520405>
- Lederman, J., Lederman, N., Bartels, S., Jimenez, J., Akubo, M., Aly, S., Bao, C., Blanquet, E., Blonder, R., Bologna Soares de Andrade, M., Bunting, C., Cakir, M., EL-Deghaidy, H., ElZorkani, A., Gaigher, E., Guo, S., Hakanen, A., Hamed Al-Lal, S., Han-Tosunoglu, C., ... (2019). An international collaborative investigation of beginning seventh grade students' understandings of scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 56, 486-515. <https://doi.org/10.1002/tea.21512>
- Lorke, J., Ballard, H. L., Miller, A. E., Swanson, R. D., Pratt-Taweh, S., Jennewein, J. N., Higgins, L., Johnson, R. F., Young, A. N., Khanaposhtani, M. G. y Robinson, L. D. (2021). Step by step towards citizen science — deconstructing youth participation in BioBlitzes. *Journal of Science Communication*, 20(4), 1-21. <https://doi.org/10.22323/2.20040203>
- Lüsse, M., Brockhage, F., Beeken, M. y Pietzner, V. (2022). Citizen science and its potential for science education. *International Journal of Science Education*, 44(7), 1120-1142. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2067365>
- Marx, U., Roles, J. y Hankamer, B. (2021). Sargassum blooms in the Atlantic Ocean – From a burden to an asset. *Algal Research*, 54, 102188. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102188>
- Mendoza-González, G., Paredes-Chi, A., Méndez-Funes, D., Giraldo, M., Torres-Irineo, E., Arancibia, E. y Rioja-Nieto, R. (2021). Perceptions and social values regarding the ecosystem services of beaches and coastal dunes in Yucatán, Mexico. *Sustainability*, 13(7), 3592. <https://doi.org/10.3390/su13073592>
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM). (2018). *Learning through citizen science: enhancing opportunities by design*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25183>.
- Osborne, J., Simon, S. y Collins, S. (2003). Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079. <https://doi.org/10.1080/0950069032000032199>
- Padilla, M. J. (1990). Science process skills, research matters to the science teachers-NARST. Página web. <https://narst.org/research-matters/science-process-skills> Visitado el 18-08-2021.
- Parsley, K. (2020). Plant awareness disparity: A case for renaming plant blindness. *Plants, People, Planet*, 2(6), 598-601. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10153>

- Peter, M., Diekötter, T. y Kremer, K. (2019). Participant outcomes of biodiversity citizen science projects: a systematic literature review. *Sustainability*, 11(10), 2780.
<https://doi.org/10.3390/su11102780>
- Pitt, A. N. y Schultz, C. A. (2018). Youth-based citizen science monitoring: case studies from three National Forests. *Journal of Forestry*, 116(2), 109-116.
<https://doi.org/10.1093/jofore/fvx008>
- Rautio, P., Tammi, T., Aivelo, T., Hohti, R., Kervinen, A. y Saari, M. (2022). «For whom? By whom?»: critical perspectives of participation in ecological citizen science. *Cultural Studies of Science Education*, 17, 765-793.
<https://doi.org/10.1007/s11422-021-10099-9>
- Rodríguez Jiménez, I., Miranda Rodríguez, A. y Miranda Rodríguez, L. (2022). La relevancia de la educación ambiental en el nivel medio superior en México. *Humanidades, Tecnología y Ciencia, del Instituto Politécnico Nacional*, 27.
- Rosellón-Druker, J., Calixto-Pérez, E., Escobar-Briones, E., González-Cano, J., Masiá-Nebot, L., y Córdova-Tapia, F. (2022). A review of a decade of local projects, studies and initiatives of atypical influxes of pelagic Sargassum on Mexican Caribbean coasts. *Phycology*, 2, 254-279.
<https://doi.org/10.3390/phyco2030014>
- Robledo, D., Vázquez-Delfin, E., Freile-Peigrín, Y., Vázquez-Elizondo, E., Qui-Minet, Z. y Salazar-Garibay, A. (2021). Challenges and opportunities in relation to *Sargassum* events along the Caribbean Sea. *Frontier in Marine Science*, 8(699664), 1-13.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2021.699664>
- Ryder, J. (2001). Identifying science understanding for functional scientific literacy. *Studies in Science Education*, 36, 1-44.
<https://doi.org/10.1080/03057260108560166>
- Senabre Hidalgo, E., Perelló, J., Becker, F., Bonhoure, I., Legris, M. y Cigarini, A. (2021). Participation and Co-creation in Citizen Science. En K. Vohland et al., *The Science of Citizen Science*. Cham: Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4_11
- Stepenuck, K. E. y Green, L. T. (2015). Individual and community-level impacts of volunteer environmental monitoring: a synthesis of peer-reviewed literature. *Ecology and Society*, 20(3), 19.
<http://dx.doi.org/10.5751/ES-07329-200319>
- Theobald, E. J., Ettinger, A. K., Burgess, H. K., DeBey, L. B., Schmidt, N. R., Froehlich, H. E., Wagner, C., HilleRisLambers, J., Tewksbury, J., Harsch, M. A. y Parrish, J. K. (2015). Global change and local solutions: tapping the unrealized potential of citizen science for biodiversity research. *Biological Conservation*, 181, 236-244.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.10.021>
- Tolmie, A. K., Ghazali, Z. y Morris, S. (2016). Children's science learning: a core skills approach. *British Journal of Educational Psychology*, 86(3), 481-97.
<https://doi.org/10.1111/bjep.12119>
- Vázquez-Delfin, E., Freile-Peigrín, Y., Salazar-Garibay, A., Serviere-Zaragoza, E., Méndez-Rodríguez, L., Robledo, D. (2021). Species composition and chemical characterization of Sargassum influx at six different locations along the Mexican Caribbean coast. *Science of The Total Environment*, 795(148852), 0-11.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148852>

- Wardlaw, J., Benavides-Lahnstein, A., Robinson, L., Lorke, J., Pratt-Taweh, S., Ghadiri Khanaposhtani, M., Ballard, H. y Burton, V. (2022). Citizen science framing and delivery models: impacts on young people's environmental science learning. *Connected Science Learning*, 4(5). <https://www.nsta.org/connected-science-learning/connected-science-learning-september-october-2022/citizen-science>
- Wichmann, C., Fischer, D., Geiger, S. M., Honorato-Zimmer, D., Knickmeier, K., Kruse, K., Sundermann, A. y Thiel, M. (2020). Promoting pro-environmental behavior through citizen science? A case study with Chilean schoolchildren on marine plastic pollution. *Marine Policy*, 141, 105035. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105035>
- Yin, R. (2018). *Case study research and applications. Design and methods* (6.^a ed.). SAGE Publications.

«Not Everything is Sargassum»: Learning from a Marine-Coastal Citizen Science Project

Ana I. Benavides Lahnstein
Angela Marmont Centre for UK
Nature,
Natural History Museum,
Londres, Reino Unido

Arely A. Paredes Chi
CONAHCYT, Facultad de Ciencias,
UMDI Sisal,
Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Mérida, Universidad
Nacional Autónoma de México,
Yucatán, México

Ameyalli Ríos Vázquez
Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Mérida, Universidad
Nacional Autónoma de México,
Yucatán, México

María del Carmen Galindo-De
Santiago
Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Mérida.
Facultad de Ciencias, UMDI Sisal,
Universidad Nacional Autónoma de
México, Yucatán, México

Kaysara Khatun
Natural Resources Institute, Faculty
of Engineering & Science, University
of Greenwich. Londres, Reino Unido

Erika Vázquez Delfin
Escuela Nacional de Estudios Superiores,
Unidad Mérida, Universidad
Nacional Autónoma de México,
Yucatán, México
Centro de Investigación y de Estudios
Avanzados del Instituto Politécnico
Nacional (Cinvestav, Unidad
Mérida), Yucatán, México

Lucy Robinson
Angela Marmont Centre for UK
Nature,
Natural History Museum,
Londres, Reino Unido

Juliet Brodie
Science, Natural History Museum,
Londres, Reino Unido

Jessica Wardlaw
Angela Marmont Centre for UK
Nature, Natural History Museum,
Londres, Reino Unido

Since 2011, the abundant arrival of macroalgae, such as Sargassum, to the Yucatan Peninsula has caused severe damage to various ecosystems and the economic activities. To support future studies, biological-environmental monitoring of beach-stranded seaweed is needed. Learning opportunities to understand more about this phenomenon are also essential, especially for the youth living in the area and that face barriers to accessing quality scientific education. Shifting the existing negative views about beach-stranded seaweed and promoting a scientific understanding of the issue among locals could strengthen the actions taken towards ecological recovery and building socio-environmental resilience.

The Big Seaweed Search, Mexico: A Citizen Science Approach to Resolve Local Environmental and Societal Challenges in a Time of Global Climate Crisis addressed this issue from the perspective of citizen science (CC) and the socioeconomic and educational aspects. It featured the adaptation of *The Big Seaweed Search* (BSS) in Mexico, a UK-based marine-coastal CC programme operating since 2009. In CC, members of the public collaborate with professional scientists in a range of activities designed to support ambitious scientific studies.

During the three stages and ten months of fieldwork in Sisal, Yucatán, and in Puerto Morelos, Quintana Roo, *Ciencia en Acción: Ciudadanos Navegando en el Arribazón* (the adaptation of BSS in Mexico) went beyond particular scientific goals. This article features the science learning outcomes and attitude changes of 18 youth (aged 16-18) who participated in the first phase of the study. The youth is at the core of this educational investigation since this group is still under-researched in CC, especially in CC projects from the Global South.

Ciencia en Acción is a single case study that was implemented in two places and was guided by the following research questions: 1) What did the participants learn about seaweeds and its ecosystem services? 2) What did the participants learn regarding the scientific work they conducted? 3) What is the project's transformative potential for scientific and environmental literacy at the local community level? Pre and post-questionnaires and semi-structured interviews were employed to analyse the participants' learning outcomes.

The overall learning outcomes and attitude changes were promising. Initially, students showed limited knowledge about seaweeds. However, after the project, their responses to the post-questionnaire and the interviews showed that most of them acquired essential disciplinary knowledge related to seaweeds and the scientific focus of *Ciencia en Acción*. The positive interrelation and reciprocity between the disciplinary knowledge and

the scientific skills for fieldwork stood out among the findings. For example, the participants used knowledge about seaweed diversity and scientific skills for the monitoring work on the beach in unison, creating loops of learning to practice what to observe, how to notice the diversity of vegetal matter in the beach-stranded masses of seaweed and seagrass, and how to record their observations. Most participants also showed renewed and positive attitudes towards science and beach-stranded seaweed, including a renewed enthusiasm for science. They shifted their initially negative perspectives of beach-stranded seaweed. Some participants started using the identification guides and what they learned for other personal projects, and some said they talked to others in their community to promote more informed views of the phenomenon.

Focusing on sites and local problems relevant to participants drove interest and participation. The educational potential of this CC project was strengthened by the introductory workshop, a chance to socialise and collaborate with professional scientists, and the design of the identification and research guides. Overall, the results of this study suggest that marine and environmental CC projects can expand the range of opportunities for scientific and climate change education in the Yucatan Peninsula and serve as example for other future marine-coastal CC initiatives.



Creencias del profesorado en formación sobre los zahoríes y aplicación del modelo acuífero

Beliefs of Teachers in Training about Dowsers and Application of the Aquifer Model

Nahia Seijas

IES Zabalgana, Vitoria-Gasteiz (Álava), España.
nahiasseijas@gmail.com

Araitz Uskola

Didáctica de la Matemática y de las Ciencias experimentales y sociales, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Leioa (Bizkaia), España.
araitz.uskola@ehu.eus

RESUMEN • La enseñanza de las ciencias debe facilitar la diferenciación entre información científica y pseudocientífica. Este trabajo recoge los argumentos del profesorado en formación (PF) para dar o no credibilidad a la técnica zahorí (o radiestesia) como estrategia para encontrar agua subterránea. Los participantes previamente habían participado en una secuencia de modelización sobre el funcionamiento de un acuífero kárstico. Se analizaron respuestas escritas individualmente. La mitad del PF creyó en la técnica, pero pocos argumentos incluyeron justificaciones o refutaciones. Varios PF aplicaron el modelo acuífero al explicar el hallazgo de agua, pero recurrieron al electromagnetismo en su lugar para justificar su creencia. Se hallaron dificultades en el PF para argumentar y para transferir el conocimiento construido, fundamentalmente por no identificar de manera adecuada el modelo implicado en el contexto planteado, lo que contribuyó a su credulidad. Se discuten las implicaciones educativas.

PALABRAS CLAVE: Modelo; Pensamiento crítico; Profesorado; Pseudociencias.

ABSTRACT • Science teaching should make it easier to discriminate between scientific and pseudoscientific information. This work collects the arguments given by teachers in training (TT) to give credibility or not to the dowsing technique as a strategy to find groundwater. The participants had previously participated in a modeling sequence on the functioning of a karst aquifer. Individually written responses were analyzed. Half of the TT believed in the technique, but few arguments included justifications or refutations. Several TT applied the aquifer model when explaining the finding of water, but turned to electromagnetism instead of justifying their answer. Difficulties were found for TT to argue and to transfer the constructed knowledge, fundamentally due to not adequately identifying the model involved in the context, which contributed to its credulity. Educational implications are discussed.

KEYWORDS: Model; Critical thinking; Teachers; Pseudosciences.

Recepción: mayo 2023 • Aceptación: diciembre 2023 • Publicación: marzo 2024

INTRODUCCIÓN

La sociedad actual dispone de información accesible y abundante. Sin embargo, «los datos con base científica se encuentran en ocasiones entremezclados con bulos, hechos infundados y creencias pseudocientíficas» (Ministerio de Educación y Formación Profesional [MEFP], 2022, p. 41607). Varios estudios (por ejemplo, Afonso y Gilbert, 2010; Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología [FECYT], 2017; Preece y Baxter, 2000) han hallado que la población en general y los estudiantes de distintas etapas muestran creencias pseudocientíficas. Es necesario, pues, que la educación científica ayude a desarrollar capacidad y actitud crítica ante tales creencias, como se recoge en el currículo de enseñanzas mínimas para la Educación Secundaria en España (MEFP, 2022). No obstante, los estudios también han mostrado que el propio profesorado presenta el mismo tipo de creencias (Fuertes-Prieto et al., 2020; Yates y Chandler, 2000). Esto pone en evidencia la necesidad de desarrollar la competencia científica del profesorado en formación, esto es, que *aprenda ciencia*, que conozca las leyes, teorías y modelos científicos, y que *aprenda a hacer ciencia*, participando en las prácticas científicas de modelización, indagación y argumentación (Osborne, 2014). A pesar del acuerdo sobre esta necesidad de formación, en la literatura hay pocos estudios que aborden de qué manera ayuda la participación en tales procesos de enseñanza-aprendizaje a afrontar creencias pseudocientíficas. La mayor parte de los estudios sobre creencias pseudocientíficas de la literatura se basan en las respuestas dadas a cuestionarios (FECYT, 2017; Fuertes-Prieto et al., 2020; Preece y Baxter, 2000; Uskola, 2017; Yates y Chandler, 2000) o entrevistas (Afonso y Gilbert, 2010); pero estos no están situados en contextos de enseñanza-aprendizaje relacionados con el contenido científico implicado en la temática pseudocientífica.

MARCO TEÓRICO

Pseudociencias y falta de escepticismo

Uno de los retos actuales de la educación científica es el epistémico (Couso y Puig, 2021), ya que hacer frente a situaciones de crisis (ambiental, de salud...) como las que vivimos requiere saber discernir de manera informada y crítica la veracidad de las afirmaciones, distinguir entre lo que es ciencia y lo que no (Fuertes-Prieto et al., 2020). Aprenderlo es importante porque las pseudociencias gozan de un alto grado de aceptación (Cano-Orón, 2019; Cortiñas-Rovira et al., 2015), incluso entre el profesorado (Fuertes-Prieto et al., 2020; Yates y Chandler, 2000). En investigaciones con estudiantes de secundaria, Preece y Baxter (2000) constataron un bajo escepticismo en los 2.159 encuestados ante varias cuestiones pseudocientíficas. Más recientemente, Quevedo-Ortiz et al. (2019, p. 159) encontraron estudiantes «relativamente escépticos» en España.

En cuanto al profesorado en formación (PF), los estudios muestran resultados similares. Yates y Chandler (2000) realizaron una investigación con PF a los que presentaron ocho afirmaciones absolutamente inverosímiles. De los 232 PF, solo 4 rechazaron todas las afirmaciones. De media, los PF rechazaron 3,5 ideas. Un estudio realizado en España con PF de ciencias en Educación Secundaria corroboró también una alta aceptación de ideas pseudocientíficas (Solbes et al., 2018), entre las que destacaron las vinculadas a la salud (homeopatía, acupuntura e influencia de la luna), que fueron apoyadas por más de la mitad de los 131 encuestados. En otro estudio realizado con PF en España, Fuertes-Prieto et al. (2020) hallaron que su creencia en las pseudociencias era similar o incluso mayor que la de la población en general (FECYT, 2017) y que era independiente del interés mostrado en la ciencia y la tecnología.

Las pseudociencias se caracterizan por exponer hallazgos que no son reproducibles, mediados por fuerzas que no se pueden medir mediante métodos científicos convencionales (Beyerstein, 1995) y que

se describen con un lenguaje poco claro (Afonso y Gilbert, 2010). Dan imagen de científicidad (Lack y Rousseau, 2016) haciendo uso de fórmulas y gráficos y mediante testimonios de personas. No atienden a las pruebas en contra (Afonso y Gilbert, 2010) y se basan en una sola teoría que no se evalúa. Además, juegan con la emoción y reconfortan a las personas cuando la ciencia no ofrece soluciones inmediatas (Fuertes-Prieto et al., 2020).

Como Yates y Chandler (2000) mencionan, las pseudociencias rechazan el análisis crítico y propugnan que todas las opiniones son igualmente válidas, al mismo tiempo que transmiten la idea de controversia científica donde no la hay (Lack y Rousseau, 2016). Esta imagen de debate abierto y equidistante ha cobrado fuerza con la presencia de las pseudociencias en los medios (Cortiñas-Rovira et al., 2015).

La radiestesia

Una pseudociencia poco estudiada desde el ámbito de la didáctica de las ciencias es la radiestesia, que usa instrumentos como palos, varillas o péndulos para localizar agua subterránea (Deming, 2002). Las personas que la utilizan se denominan zahoríes. Se trata de una práctica muy antigua y extendida por todo el mundo, que también se usaba para buscar minerales (Costall et al., 2019; Deming, 2002). Sus defensores la explican con base en variaciones magnéticas, la percepción extrasensorial y otros fenómenos paranormales (Costall et al., 2019), y utilizan estudios de caso exitosos como prueba de que funciona (Deming, 2002).

Los zahoríes se apoyan en la falsa idea de que el agua del subsuelo fluye a través de venas de aguas subterráneas estrechas o «ríos subterráneos» (Deming, 2002), que coincide con la idea errónea de muchas personas (Dickerson y Dawkins, 2004; González-García y Fernández-Ferrer, 2012; Pan y Liu, 2018; Sadler et al., 2016; Unterbruner et al., 2016). En realidad, la mayor parte del agua subterránea fluye a través de la porosidad de las rocas, lo que hace que no sea tan difícil encontrar agua en determinados lugares. Así, el paisaje puede ofrecer pistas sobre la localización del agua subterránea: el nivel freático está más cerca de la superficie en los valles, y las plantas pueden indicar la cercanía del nivel freático (Deming, 2002).

Varios estudios sobre la radiestesia (por ejemplo, Foulkes, 1971) comprobaron que los resultados de los zahoríes no son mejores que el propio azar, por lo que se considera una pseudociencia (Afonso y Gilbert, 2010; Deming, 2002; Foulkes, 1971). Sin embargo, no fue considerada como tal por los participantes del estudio de Afonso y Gilbert (2010), que entrevistaron a 45 estudiantes universitarios portugueses de grados científicos y no científicos. Cerca de la mitad consideraron la radiestesia como una técnica fiable, con independencia del grado. Quevedo-Ortiz et al. (2019) hallaron que, de entre todas las pseudociencias sobre las que preguntaron a estudiantes de secundaria, la radiestesia fue la única en la que la mayoría de los alumnos mostraron credulidad.

Pseudociencias y educación científica

Desarrollar la competencia científica es prioritario para hacer frente a las creencias pseudocientíficas. Para ello, es necesario que las personas tengan un conocimiento científico básico sobre el fenómeno científico y que desarrollen la habilidad de cuestionar afirmaciones y evaluarlas sobre la base de pruebas, es decir, el pensamiento crítico. Aunque las investigaciones sobre el uso del conocimiento científico en los asuntos públicos demuestran que existen otros factores (Feinstein, 2011), Feinstein et al. (2013) reflexionaron sobre cómo contribuir a este respecto desde la enseñanza de las ciencias y señalaron que una de las prácticas científicas más útiles para trabajar en clase de ciencias es la de evaluar afirmaciones basadas en la información disponible (práctica de argumentación).

Sin embargo, el conocimiento científico y la capacidad de evaluar afirmaciones sobre la base de pruebas, de argumentar, no son independientes. Así, por ejemplo, Ben-Zvi-Assaraf y Orion (2005) hallaron que el conocimiento de las personas acerca de las aguas subterráneas condicionaba su capacidad de ser conscientes y evaluar el impacto de la actividad humana en estas. De hecho, resulta necesario un conocimiento conceptual mínimo para poder elaborar argumentos. Sadler y Donnelly (2006) y Sadler y Fowler (2006) proponen un modelo de umbral según el cual existen, por lo menos, dos umbrales de nivel de conocimiento conceptual, de tal manera que la calidad argumentativa mejora al traspasar el umbral, pero un aumento de conocimiento entre dos umbrales no llevaría aparejada mejora alguna. Baytelman et al. (2020) hallaron que el profesorado en formación inicial con mayor conocimiento previo formulaba más argumentos y de mejor calidad.

El profesorado tiene una gran influencia en la transmisión de ideas pseudocientíficas. Tales ideas no están en el currículo oficial; pero pueden aparecer en el *currículo oculto*, que consiste en las herramientas, los valores, las actitudes y las normas que se adquieren en el aula, y no son mencionadas en el currículo oficial o son contradictorias con este (Hansson, 2018; Fuertes-Prieto et al., 2020). Varios estudios constatan que las creencias en las pseudociencias están presentes entre el profesorado (Fuertes-Prieto et al., 2020; Preece y Baxter, 2000; Solbes et al., 2018; Yates y Chandler, 2000). Por ello, es fundamental que los docentes en formación desarrollen tanto pensamiento crítico como conocimiento científico, que puedan facilitar el rechazo a las creencias pseudocientíficas y evitar que las transmitan.

Competencia científica de argumentación y pensamiento crítico

El papel de la evaluación de la información basada en pruebas es fundamental en la toma de decisiones (Feinstein et al., 2013). En el caso de una situación en la que pueda estar involucrada información pseudocientífica, la capacidad de evaluar información a partir de pruebas, es decir, argumentar, será lo que permita discernir si se trata de información científica o pseudocientífica (Bell y Lederman, 2003). Evaluar afirmaciones implica utilizar datos y convertirlos en pruebas (Duschl, 2008), además de formular las justificaciones –ciertamente, una operación de mayor complejidad (Jiménez-Aleixandre, 2010)– que explican la relación entre las pruebas y las conclusiones (Toulmin, 1958) y explicaciones (Duschl, 2008), así como, en los argumentos más completos, formular refutaciones (Erduran et al., 2004; Toulmin, 1958). Argumentar, evaluar la credibilidad de la información y diferenciar las opiniones fundamentadas de las que no lo están son habilidades estrechamente relacionadas con el pensamiento crítico (Ennis, 1996; Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012).

Conocimiento científico: el modelo acuífero

La modelización es una práctica científica (Osborne, 2014) basada en la construcción, el uso, la evaluación y la revisión de modelos científicos (Schwarz et al., 2009), definidos como representaciones simplificadas de fenómenos naturales, creadas para explicar y predecir estos fenómenos (Gilbert et al., 2000). En la didáctica de la geología se ha propuesto el modelo de cambio geológico (Bach y Márquez, 2017), que contempla el sistema Tierra compuesto por cuatro subsistemas (atmósfera, biosfera, geosfera e hidrosfera) interdependientes y en constante cambio.

La propuesta de Bach y Márquez (2017) refleja la representación de sistemas de acuerdo con el marco CMP (*components-mechanisms-phenomena* o componentes-mecanismos-fenómenos) de Hmelo-Silver et al. (2017), aplicado también al sistema del cuerpo humano (Snapir et al., 2017). Consiste en identificar los componentes del sistema (componentes, C) y las interacciones que se dan entre estos mediante procesos o mecanismos (mecanismos, M) en los que interviene una fuente de energía, y que dan lugar al fenómeno en conjunto (fenómeno, P). Sobre esta base se definió el modelo acuífero de este trabajo (Seijas y Uskola, 2022).

Un acuífero se puede definir como un cuerpo rocoso que contiene agua (porque es poroso) y que además permite que esta circule a través de ella (porque los poros están conectados y, por tanto, es permeable) (Sánchez, 2022). En los acuíferos kársticos, el agua se encuentra en la porosidad secundaria de la roca, esto es, en la porosidad formada tras la formación de la roca, por procesos de fractura y disolución (Sánchez, 2022).

Las dimensiones CMP del modelo acuífero se definieron de la siguiente manera (Seijas y Uskola, 2022): los componentes (C) del modelo se refieren a las partes de los subsistemas que forman el acuífero (estratos calizos, arcillas y yesos, sus características, etc.); los mecanismos (M) constituyen los procesos e interacciones que se dan entre los componentes, por ejemplo, la precipitación, la evaporación, la transpiración, la infiltración, la recarga y descarga del acuífero y la dirección de los flujos de agua (Strahler y Strahler, 2005); el fenómeno (P) resultante consiste en la formación del acuífero y el río, y los cambios del nivel del agua en ambos, así como los que ocurren en la química del agua. Una representación del modelo se muestra en la figura 1.

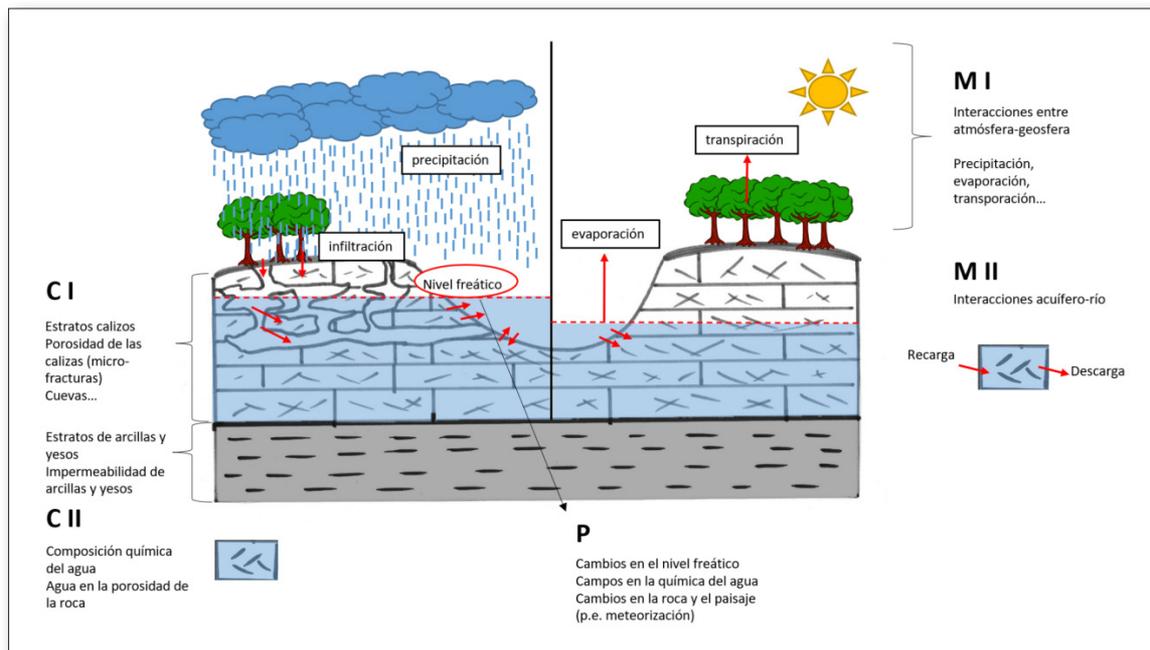


Fig. 1. Representación de las dimensiones del modelo acuífero. Fuente: elaboración propia.

Los estudios que han analizado las ideas del alumnado sobre el ciclo del agua coinciden en que este no representa el agua subterránea. Así, Ben-zvi-Assaraf y Orion (2005) analizaron los dibujos elaborados por 177 estudiantes de educación secundaria y hallaron que el 70 % no identificó el agua subterránea como parte del ciclo del agua. Resultados similares obtuvieron Fernández-Ferrer y González-García en varios estudios. Así, al preguntar sobre el origen del agua del río cuando no llueve durante meses a 506 estudiantes universitarios, solo el 61,6 % consideró el agua subterránea importante (Fernández-Ferrer y González-García, 2010), siendo los estudiantes de Magisterio los que menor importancia le dieron: 50,3 %. Así mismo, el 69,1 % de los 107 dibujos de estudiantes del grado de Educación Primaria no representó agua subterránea (González-García y Fernández-Ferrer, 2012). Los estudios de Forbes et al. (2015) y Pan y Liu (2018) también han resaltado que los estudiantes atienden más a los componentes hidrológicos y atmosféricos del ciclo del agua que a elementos de la geosfera.

Entre los estudiantes que sí identifican agua en el subsuelo, la mayoría indica que el agua fluye por cuevas o por «ríos y lagos subterráneos» (Dickerson y Dawkins, 2004; González-García y Fernández-Ferrer, 2012; Pan y Liu, 2018; Sadler et al., 2016; Unterbruner et al., 2016), lo que coincide con la idea transmitida por los zahoríes. Esta está directamente relacionada con la concepción de «roca sólida» del alumnado (Arthurs y Elwonger, 2018), que impide comprender que estas puedan tener poros y que, por tanto, puedan contener agua en su interior (Arthurs y Elwonger, 2018; Unterbruner et al., 2016). Otro error recurrente es considerar el agua subterránea como aislada y no conectada con las aguas superficiales (Ben-zvi-Assaraf y Orion, 2005; Pan y Liu, 2018; Pozo-Muñoz et al., 2021). Como indican Sadler et al. (2016), los estudiantes pueden aceptar que el agua se almacene en el subsuelo, pero tienen ideas erróneas sobre los procesos y las estructuras implicados.

OBJETIVOS

Este trabajo pretende analizar cómo aborda el PF un contexto pseudocientífico (la radiestesia) relacionado con el contenido científico desarrollado en una secuencia de modelización (modelo acuífero). Esto es, se pretende estudiar de qué manera construir un modelo científico facilita el escepticismo frente a creencias pseudocientíficas en las que el modelo esté implicado. Concretamente, el PF de este estudio había construido el modelo acuífero mediante una secuencia de actividades que incluía tanto trabajo de campo como la realización de dibujos y maquetas. Al final, se les presentó el contexto de aplicación, objeto de este estudio, la radiestesia. En este trabajo se abordan las siguientes preguntas de investigación:

- PI1. ¿Cuáles son las creencias del PF acerca de la técnica de los zahoríes para hallar agua subterránea tras modelizar el funcionamiento de los acuíferos? ¿Cómo justifica el PF estas creencias?
- PI2. ¿De qué manera aplica el PF el modelo acuífero para explicar el descubrimiento de agua por el zahorí?
- PI3. ¿Cómo se relacionan la manera en que el PF explica el descubrimiento de agua por zahoríes y el escepticismo y pensamiento crítico mostrados?

METODOLOGÍA

Participantes y contexto

Los participantes fueron un grupo de 39 PF de 4.º curso del grado de Educación Primaria (17 mujeres, 22 hombres) del periodo 2019/20, en el que la segunda autora era la profesora. Participaron en una secuencia de actividades en la que construyeron en grupo (8 grupos denominados A-H) maquetas tridimensionales iniciales sobre la formación de un río cercano (que formaba parte de un valle kárstico), observaron formaciones kársticas (surgencia, sumidero, dolinas y lapiaz) y una cascada seca en una salida de campo al valle, llevaron a cabo experimentos de porosidad y permeabilidad, revisaron sus maquetas y con ellas explicaron cómo se forman el acuífero y el río estudiados (Seijas y Uskola, 2022). Posteriormente respondieron a dos preguntas sobre la formación de un río y sus variaciones de nivel, que permitieron evaluar el nivel de conocimiento acerca del funcionamiento del acuífero examinando sus dibujos y respuestas escritas. Se halló que buena parte del PF había construido un modelo cercano al completo (Seijas y Uskola, 2022). De entre las cuatro dimensiones del modelo analizadas (CI, CII, MII y P en figura 1), 29 PF (conjunto A) habían demostrado un nivel alto en el conocimiento implicado con la técnica zahorí porque habían alcanzado los niveles más altos en alguna de las dimensiones que están directamente relacionadas con la explicación de por qué el zahorí halla agua: la relacionada

con situar el agua subterránea en la porosidad secundaria de la roca (CII) y la vinculada con explicar la formación del acuífero y el río y las variaciones de nivel freático (P). 10 PF (conjunto B) no habían alcanzado niveles altos de conocimiento.

Para finalizar, con el objetivo de aplicar lo aprendido en un contexto de la vida real, en este caso relacionado con las pseudociencias, se visionaron dos vídeos en los que aparecían zahoríes en programas de televisión. En principio, la transferencia que debían realizar los participantes se puede considerar cercana según todas las dimensiones (dominio del conocimiento, modalidad y contextos físico, temporal, social y funcional) (Barnett y Ceci, 2002), y requiere seguir un «camino bajo» (Salomon y Perkins, 1989), más directo, ya que no implica una atenta abstracción de la idea que se va a transferir (camino alto), sino la transmisión de la idea de que el acuífero constituye un extenso cuerpo de roca lleno de agua.

En el primer vídeo¹, un hombre lleva en las manos dos varillas de cobre rectas hacia adelante mientras camina. De pronto, estas se cruzan, según él, por el magnetismo del agua del subsuelo, por «venas de agua». Al caminar un metro, las varillas se descruzan, lo que permite visualizar, aparentemente, el tamaño de la «vena». La periodista lo intenta, pero no pasa nada y el zahorí dice que ella no transmite bien la energía. Pone monedas de un euro bajo cada uno de sus pies. Al llegar a diez las varillas se separan, lo que indica una profundidad de 30 metros. En el segundo vídeo², una mujer utiliza un alambre en forma de triángulo y pisa con fuerza en un caserío donde la contrataron. Afirma que la fichó una empresa y que encuentra agua en muchos sitios.

Después de ver los vídeos, el PF respondió por escrito individualmente a las siguientes cuestiones: «Q1: ¿Te parece una técnica fiable? Explica»; «Q2: ¿Cómo justificas que en la mayoría de los casos se encuentre agua al hacer un agujero donde indican los zahoríes?».

Instrumentos y procedimientos de análisis

Este estudio se enmarca en la investigación cualitativa. Se trata de un estudio de caso (Sabariego et al., 2009) en el que se emplea un análisis interpretativo (Erickson, 1989) de las producciones escritas de los participantes. Los análisis fueron realizados por dos investigadoras de forma independiente y discutidos hasta llegar a un consenso.

Para abordar la PI1, se analizaron el escepticismo y pensamiento crítico del PF, teniendo en cuenta sus posicionamientos respecto a la técnica zahorí y los argumentos esgrimidos en su defensa (Feinstein et al., 2017; Lack y Rousseau, 2016; Preece y Baxter, 2000; Yates y Chandler, 2000). Se analizó la calidad de los argumentos sobre la base de la alusión a pruebas, justificaciones y refutaciones (tabla 1). Se definió un nivel 3 para los argumentos que contenían tanto pruebas como justificaciones o refutaciones (Erduran et al., 2004). En el nivel 2 se situaron los argumentos que solo hicieron referencia a un aspecto (usualmente datos) o que apelaban a la necesidad de elementos propios de un argumento (datos, justificaciones o conocimiento básico). En este nivel se diferenciaron los datos constituidos por testimonios (2a) y los cercanos a las pruebas científicas (2b, por ejemplo, que el éxito al encontrar agua dependa de la persona contradice las leyes científicas). En el nivel 1 se situaron los argumentos con justificaciones erróneas y en el nivel 0, el PF que no justificó su opinión.

1. <https://www.youtube.com/watch?v=k4IDiCRjI4M>

2. http://www.ikasbil.eus/web/ikasbil/dokutekako-fitxa?p_p_id=56_INSTANCE_fLB1&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&groupId=10138&articleId=27068

Tabla 1.
Niveles de categorización de las argumentaciones

<i>Nivel</i>	<i>Elementos incluidos</i>
3	Pruebas y justificaciones o refutaciones
2b	Datos o justificaciones o refutaciones
2a	Datos (testimonios) o justificaciones o refutaciones
1	Justificaciones con errores conceptuales
0	No hay

Para estudiar la relación de estos aspectos con el conocimiento mostrado por el PF sobre el modelo acuífero al finalizar las actividades, se analizaron las diferencias entre los dos conjuntos de PF (A y B).

Para responder a PI2, se analizaron las explicaciones dadas por el PF al fenómeno, esto es: por qué los zahoríes encuentran agua. Se estudió a qué modelo científico se referían y de qué manera aplicar el modelo acuífero. Se establecieron tres niveles. El nivel 0 corresponde a las respuestas en las que no se aplica el modelo acuífero, el 1 a las respuestas en las que se aplica de forma parcial y el 2 a las que lo aplican de una forma adecuada. La tabla 2 muestra los niveles y ejemplos de respuestas.

Tabla 2.
Niveles de aplicación del modelo acuífero

<i>Nivel de aplicación del modelo acuífero</i>	<i>Descripción</i>	<i>Ejemplo</i>
2	Se aplica de forma completa	Gonzalo: Las capas subterráneas están formadas por rocas permeables. Por ello el agua pasará. Haciendo un pozo, encontraremos agua la mayoría de las veces.
1	Se aplica parcialmente	Hugo: Si es cerca de ríos o montañas, la mayoría de las veces se encontrará agua subterránea.
0	No se aplica	Edu: Está demostrado que hay magnetismo bajo la tierra. Por ello, puede pasar que haya agua y movimiento de metales.

Para abordar la PI3, se analizaron las relaciones entre los resultados de las preguntas PI1 y PI2.

Los nombres de los participantes fueron sustituidos por pseudónimos que empiezan por la letra del grupo. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de Investigación con Seres Humanos de la Universidad del País Vasco UPV/EHU CEISH-UPV/EHU (M10_2019_146).

RESULTADOS

Creencias y justificación acerca de la técnica zahorí (PI1)

Escepticismo y pensamiento crítico

La técnica zahorí fue considerada fiable por 14 PF, mientras que 21 indicaron que no y 3 no se posicionaron. La tabla 3 muestra los niveles en los que se situaron los argumentos dados por el PF.

Tabla 3.
Frecuencia de argumentos en cada nivel

<i>Nivel</i>	<i>SÍ (N = 14)</i>	<i>NO (N = 21)</i>
3		3
2b		16
2a	10	
1	2	
0	2	2

En primer lugar, 4 PF no elaboraron un argumento, solo dieron su opinión. Dos PF justificaron su postura aludiendo a errores conceptuales, como Borja.

Borja (nivel 1): Sí, de hecho según se mueve el hombre, se le mueven los péndulos que lleva en las manos porque tienen fuerza magnética y en cambio cuando la chica los coge no se mueven, porque como dice el hombre la chica no tiene energía y la energía está relacionada con la fuerza magnética.

En segundo lugar, 10 PF aludieron a datos para defender que la técnica sí es fiable, aunque la mayoría (8 PF) tan solo hizo referencia al hecho de que los zahoríes logran encontrar agua. Algunos como Gabriel y Harkaitz aludieron a lo visto en el vídeo:

Gabriel (nivel 2a): Sí, se ha visto en el vídeo que funciona.

Harkaitz (nivel 2a): Sí, como se nos ha demostrado, el agua produce una corriente magnética y los que saben utilizar la técnica zahorí tienen la habilidad de detectar esa corriente.

A pesar de que Harkaitz incurrió en un error conceptual, se consideró que su justificación se basa en la expresión «como se nos ha demostrado», es decir, al hecho de verlo en el vídeo.

En el nivel 2b se encontraron PF que, por ejemplo, apelaron al hecho de que la técnica funciona según la persona (11 PF), como se ve en el ejemplo de Diana, que además aludió a la falta de conocimiento de base científica, como también hizo Facu:

Diana (nivel 2b): No, porque las vibraciones no tienen justificación y como solo lo puede hacer el zahorí se vuelve una técnica manipulada.

Facu (nivel 2b): No me parece fiable. No conozco los procesos físicos y químicos que pueden estar detrás de este fenómeno.

En el nivel 3 se situaron argumentos como el de Begoña, cuyos elementos (Toulmin, 1958) se muestran en la tabla 4.

Tabla 4.
Elementos del argumento de Begoña

	<i>Elemento del argumento</i>
Begoña: A mí esta técnica no me parece muy fiable.	Conclusión
No comprendo cómo influye la fuerza magnética.	Justificación
Por otra parte, si la fuerza magnética influyera no comprendo por qué a unas personas se les separan las varillas y a otras no.	Refuta la justificación contraria con un dato

Tal como se observa, Begoña apela a la falta de conocimiento de base científica («no comprendo cómo influye la fuerza magnética») y a un dato («a unas personas se les mueven las varillas y a otras no») para refutar la explicación («si la fuerza magnética influyera») que utiliza el zahorí para justificar que sí que es una técnica fiable.

Referencia a modelos científicos

Entre los modelos científicos a los que hizo referencia el PF, 12 futuros docentes utilizaron términos propios del electromagnetismo (disciplina a la que hizo referencia el zahorí en el vídeo) a la hora de justificar su creencia (6 PF) o no (6 PF) en la técnica. Los que lo hicieron para justificar su concepción, introdujeron ideas erróneas como que el movimiento del agua produce un campo magnético, que los electrones sueltos de las varillas de cobre atraen a las moléculas de agua, o que el agua interacciona con el metal al ser conductora. Por otro lado, los que lo hicieron para justificar su no creencia aludieron al desconocimiento. Solo una participante, Ane, que no se posicionó respecto a la fiabilidad, hizo referencia al modelo acuífero señalando indicadores de agua:

Ane: Depende (...). La persona que lleve la herramienta tiene que tener mucha experiencia en la observación del entorno, ya que en este también hay «indicadores» de agua.

Relación con el nivel de conocimiento sobre el modelo acuífero

De los 29 PF que habían alcanzado los niveles más altos en alguna de las dimensiones del modelo acuífero (conjunto A), 13 no encontraron la técnica fiable y 13 sí. De los 10 que no alcanzaron los niveles más altos (conjunto B), 8 se mostraron escépticos y uno crédulo.

La figura 2 muestra el nivel de los argumentos esgrimidos por ambos conjuntos de PF.

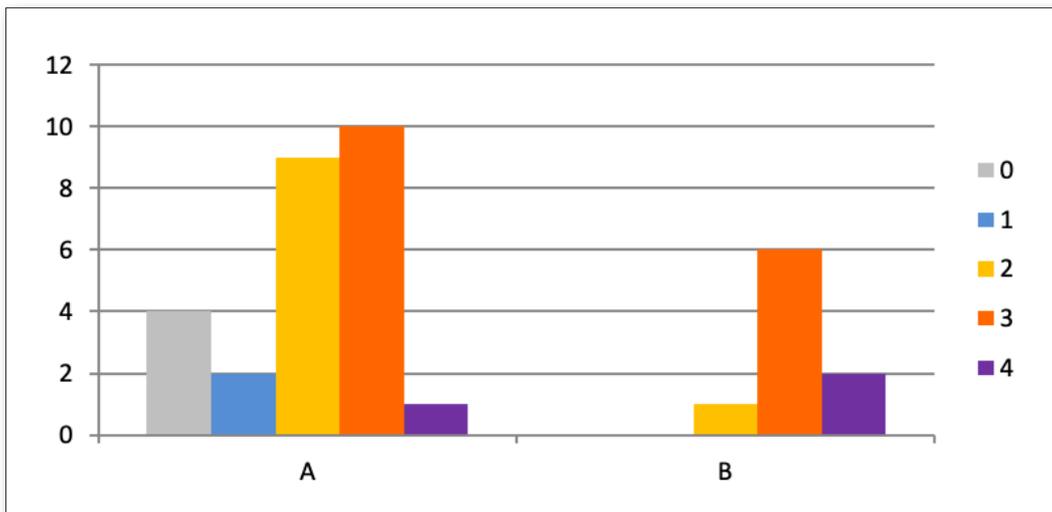


Fig. 2. Nivel de los argumentos del PF en los conjuntos A y B.

Explicación del fenómeno implicado en la técnica zahorí: por qué encuentran agua (PI2)*Referencia a modelos científicos*

A la hora de explicar el hallazgo de agua, 30 PF se refirieron a algún modelo científico al explicar el fenómeno y 9 no dieron ninguna explicación. 16 PF se refirieron al electromagnetismo y 16 al modelo acuífero cuando trataron de dar sentido el fenómeno observado (niveles 1 y 2 en la tabla 5). Dos PF aludieron a ambos:

Tabla 5.
Frecuencia de PF en cada nivel de aplicación del modelo acuífero para explicar el fenómeno

<i>Nivel de aplicación del modelo acuífero</i>	<i>Frecuencia de PF</i>
2	10
1	6
0	23

En la tabla 5 se observa que, de los 16 PF que aludieron al modelo acuífero, 6 lo hicieron de manera incompleta, refiriéndose, por ejemplo, a indicadores externos de la presencia del acuífero (como en el ejemplo de Ane mostrado en el apartado 4.1.2.). Otros 10 hicieron referencia a conceptos del modelo acuífero trabajado en la secuencia, como el concepto de nivel freático y la extensión y posición de los acuíferos. Diana y Fidel son dos ejemplos:

Diana (nivel 2): Porque al llegar al nivel freático suele haber agua en cualquier punto de la superficie de la tierra.

Fidel (nivel 2): Tiene relación con los materiales de los que estén formadas las capas de la montaña. Como hemos visto, la caliza guarda el agua como una esponja y la va soltando poco a poco (al río). Se va acumulando encima de otra capa, por ejemplo, de arcilla. Entonces, encuentran agua porque la caliza tiene agua y la arcilla no deja que pase esa agua.

Relación con el nivel de conocimiento sobre el modelo acuífero

La tabla 6 muestra el nivel de aplicación del modelo acuífero de los dos conjuntos (A y B) a la hora de explicar el fenómeno.

Tabla 6.
Frecuencia con la que el PF recurre en cada nivel de aplicación al modelo acuífero para explicar el fenómeno en los conjuntos A y B

<i>Nivel de aplicación del modelo acuífero</i>	<i>Conjunto A</i>	<i>Conjunto B</i>
2	8 (28 %)	2 (20 %)
1	5 (17 %)	1 (10 %)
0	16 (55 %)	7 (70 %)

La figura 3 muestra los resultados obtenidos por cada estudiante, tanto en las preguntas de tipo conceptual, en las que se midió el nivel alcanzado del modelo acuífero (analizadas en Seijas y Uskola,

2022), como en las de aplicación del modelo acuífero en el contexto pseudocientífico, foco del presente trabajo.

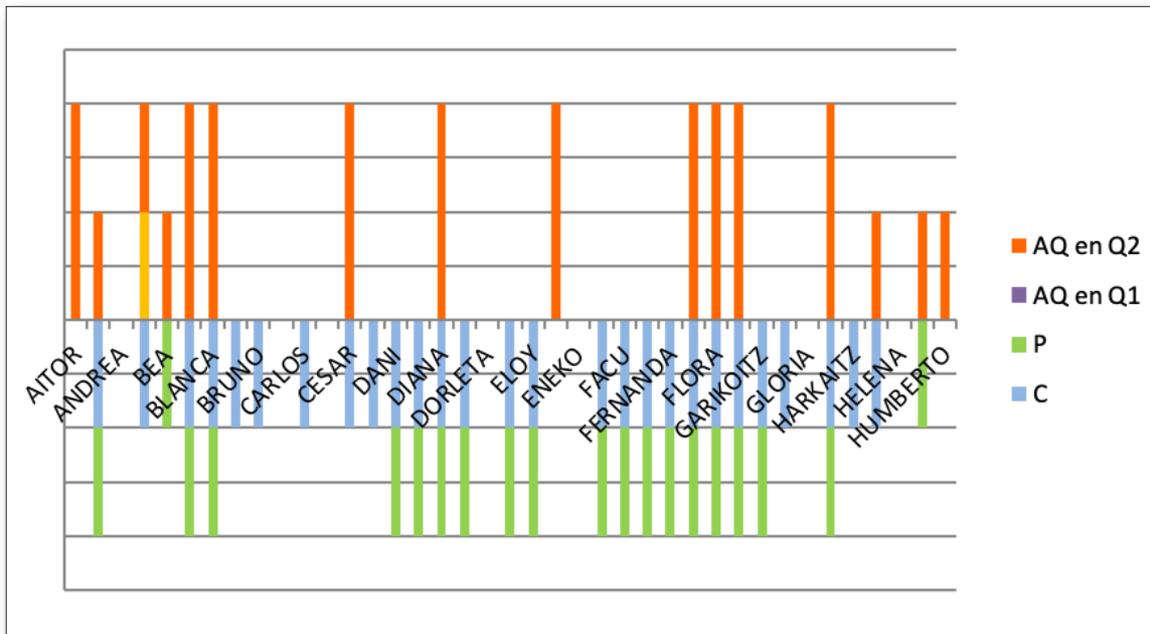


Fig. 3. Situación de cada participante respecto al modelo acuífero a lo largo de las actividades. C: señala al participante que, al finalizar las actividades, alcanzó los niveles más altos en la dimensión Componentes II del modelo; P: señala al participante que, al finalizar las actividades, alcanzó los niveles más altos en la dimensión Fenómeno del modelo; AQ en Q1: nivel de aplicación del modelo acuífero en la justificación de la creencia en la técnica zahorí; AQ en Q2: nivel de aplicación del modelo acuífero al explicar por qué se encuentra agua.

Como se ve en la figura 3, 7 participantes no llegaron a los niveles altos del modelo en las actividades finales y tampoco lo aplicaron en el contexto de la técnica zahorí. De los 29 que habían llegado a los niveles más altos en al menos una dimensión del modelo, 16 PF no lo aplicaron en el contexto pseudocientífico y 13 sí. Por último, tres PF sí se sirvieron del modelo acuífero a la hora de explicar por qué el zahorí encuentra agua a pesar de no haber demostrado unos niveles altos del modelo en las actividades finales de la secuencia.

Relación entre la explicación del fenómeno y la creencia pseudocientífica (PI3)

La figura 4 muestra la frecuencia con la que el PF mostró creer y no creer en la técnica zahorí en cada nivel de aplicación del modelo acuífero en el momento de explicar el fenómeno del zahorí encontrando agua (Q2).

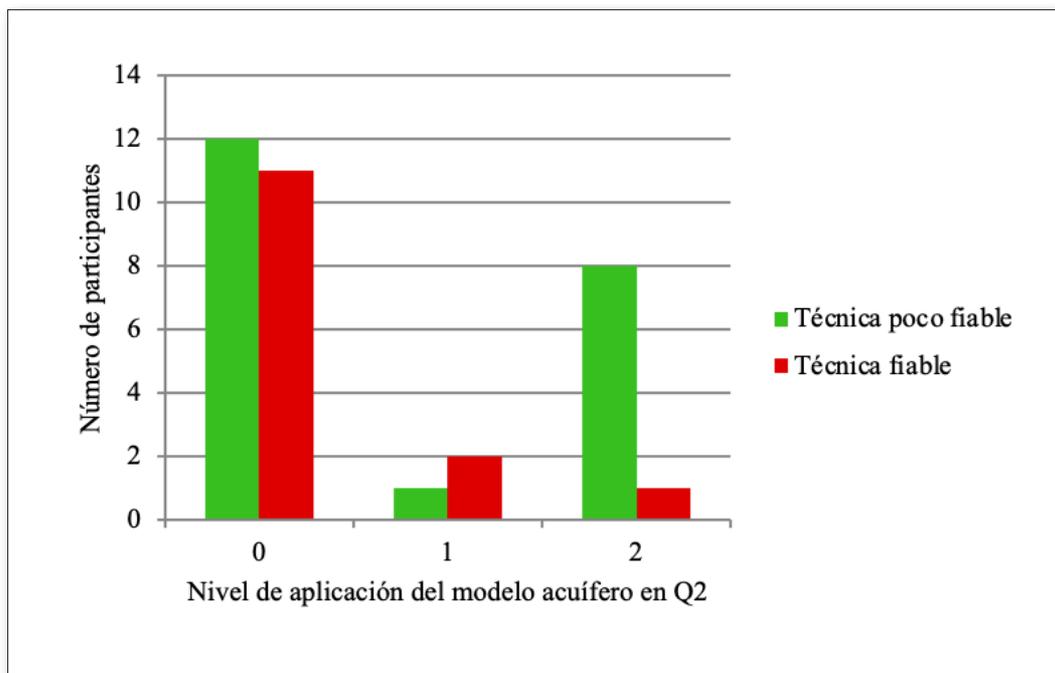


Fig. 4. Distribución de los participantes en función del nivel de aplicación del modelo acuífero a la hora de explicar el fenómeno (Q2) y el escepticismo mostrado hacia la técnica del zahorí (Q1).

En la figura 4 se ve que de los 23 PF que no aplicaron el modelo acuífero para explicar el fenómeno, 12 se mostraron escépticos respecto a la fiabilidad de la técnica, mientras que de los 10 PF que aplicaron de forma completa, fueron 8 los escépticos.

DISCUSIÓN

En lo relativo al nivel de escepticismo mostrado, la proporción de participantes que mostró creer en la técnica (36 %) es similar a la hallada en el estudio de Afonso y Gilbert (2010), en el que, de los 45 estudiantes universitarios de grados científicos y no científicos, el 50 % aseguró no creer en la técnica y el 40 % sí. Los resultados dan cuenta de un mayor escepticismo respecto a la técnica zahorí que los obtenidos por Quevedo-Ortiz et al. (2019) con estudiantes de secundaria. Sin embargo, el nivel de escepticismo es menor al deseable en el futuro profesorado, por lo que este estudio aporta más datos que señalan la necesidad de desarrollar programas formativos que incidan en el escepticismo de docentes en formación.

En cuanto a la capacidad de argumentar sus posicionamientos, tanto los escépticos como los crédulos respecto a la técnica apoyaron sus argumentos fundamentalmente en datos. Sin embargo, mientras que los crédulos aludieron en mayor medida a testimonios o a la tradición, los escépticos se refirieron a datos que, explícitamente en unos pocos casos e implícitamente en otros, podían relacionarse con una base científica, es decir, datos que pueden convertirse en pruebas (Duschl, 2008; Jiménez-Aleixandre, 2010). Los argumentos de los escépticos fueron, así, de mayor nivel, especialmente en el caso de los participantes que explícitamente usaron los datos para refutar (Erduran et al., 2004) las explicaciones dadas por el zahorí. Es de señalar que algunos de los crédulos confundieron los distintos elementos del argumento (Toulmin, 1958). Así, por ejemplo, en la afirmación «como se nos ha demostrado, el agua produce una corriente magnética», Harkaitz confundió el dato (lo oído y visto en el vídeo) con

la conclusión, la hipotética explicación del fenómeno. Algo similar se observa en el ejemplo de Borja mostrado en el subapartado «Escepticismo y pensamiento crítico», que vio en el hecho de que a la periodista no se le movieran los palos y al zahorí sí la prueba de que el funcionamiento de la técnica depende de la energía de la persona. Esta confusión entre datos o resultados y conclusión coincide con una dificultad habitual de los estudiantes (Zohar, 1998), que el PF tendrá que abordar en su futuro profesional. Por eso, es importante que tomen conciencia de sus propias dificultades y las superen.

Cuando se contrastaron los resultados obtenidos en las actividades finales de la secuencia de modelización con los obtenidos en el contexto pseudocientífico, no se halló relación entre haber alcanzado niveles altos del modelo acuífero y el escepticismo mostrado. Tampoco entre la calidad de los argumentos expuestos y el posicionamiento (creencia o no en la técnica). En relación con la teoría de Sadler y Fowler (2006) sobre el umbral de conocimiento para argumentar, estos resultados indicarían que en este caso el umbral no se situó entre los niveles bajos y altos del modelo acuífero alcanzados. Es un resultado consistente con que prácticamente nadie aludió al modelo acuífero a la hora de justificar su creencia. Los pocos casos de aplicación del modelo acuífero contrastan con el mayor número de casos en los que se refirieron al electromagnetismo. El zahorí se había referido en el vídeo a términos de electromagnetismo, y los resultados muestran que los participantes dieron por hecho que el fenómeno, el hallazgo de agua, tenía relación con dicha disciplina sin plantearse la implicación de otros modelos, como el acuífero.

Los resultados de la PI2 muestran que los participantes aludieron a modelos científicos en mayor medida al tratar de explicar el fenómeno que al justificar su creencia en la técnica. La mitad de los que elaboraron una explicación basada en conceptos científicos aplicaron el modelo acuífero trabajado (la otra mitad utilizó el electromagnetismo).

Respecto a la relación de los niveles de modelo acuífero alcanzados y la aplicación del modelo acuífero al explicar el fenómeno, se dieron situaciones diversas. Los 7 PF que no presentaron un nivel alto del modelo y tampoco lo identificaron en el contexto no demostraron haber construido conocimiento. Los 3 PF que demostraron tener conocimiento del modelo acuífero en el contexto pseudocientífico y no en las actividades finales representan casos menos habituales, en los que el contexto de aplicación les facilitó probar el conocimiento que habían construido, pero no demostrado. El conjunto de 13 PF que logró un nivel alto en la construcción del modelo y fue capaz de aplicarlo en la nueva situación representa un conjunto de participantes que transfirió la idea construida (Barnett y Ceci, 2002; Salomon y Perkins, 1989). Más numeroso es el conjunto de 16 PF que demostró conocimiento del modelo acuífero pero que no lo aplicó en el contexto pseudocientífico, y que representa a participantes con dificultades para transferir y aplicar lo aprendido, lo que es frecuente y muchas veces desconcertante (Barnett y Ceci, 2002; Salomon y Perkins, 1989). Pese a ser habitual, resulta llamativo que, tras haber dedicado varias sesiones de trabajo a la construcción del modelo acuífero, los participantes no relacionaran el contexto con este modelo y que se fijaran en el modelo al que había recurrido el zahorí en su explicación, siendo este un modelo que no se había mencionado y sobre el que mostraron grandes dificultades.

Aunque en principio la transferencia a realizar en este trabajo podría considerarse cercana (Barnett y Ceci, 2002), los resultados revelan que para los participantes no fue así y, tal vez, refutar la concepción errónea de que «el agua se encuentra en venas estrechas» requiera una mayor abstracción de la idea que se va a transferir (el funcionamiento de los acuíferos). Como se ha mencionado, esta concepción errónea es una idea alternativa habitual sobre las aguas subterráneas (Dickerson y Dawkins, 2004; González-García y Fernández-Ferrer, 2012; Pan y Liu, 2018; Sadler et al., 2016; Unterbruner et al., 2016) de la que se aprovechan los zahoríes (Deming, 2002). Más aún, el PF había presentado esta idea al inicio de la secuencia de actividades, pero no al final (Seijas y Uskola, 2022), y, aun así, nadie la refutó. Los estudios sobre transferencia han hallado que esta mejora está presente cuando a los estudiantes

se les indica que tienen que aplicar un conocimiento dado o se les da una pista que ayude a identificar el elemento a transferir (Barnett y Ceci, 2002; Salomon y Perkins, 1989). En este caso, el zahorí recurrió al electromagnetismo, por lo que esto pudo tener el efecto contrario. En lugar de haber tenido una pista sobre qué idea tenían que transferir, se tuvieron que enfrentar a una «antipista».

Los resultados de la PI3 reflejan que el PF que fue capaz de aplicar el modelo acuífero para explicar el fenómeno fue más escéptico respecto a la técnica. De hecho, los resultados indican que de los factores que podrían influir en el escepticismo del PF, la identificación y aplicación del modelo acuífero en el fenómeno influyó más que el nivel de conocimiento que habían mostrado. A pesar de que la muestra es pequeña y los resultados no permiten realizar generalizaciones, esto conduce a una idea con implicaciones educativas para evaluar el escepticismo y el pensamiento crítico: la importancia de identificar correctamente el modelo a aplicar, de realizar un paso previo a la explicación o a la consideración y justificación de las creencias. Los resultados de este estudio no permiten poder afirmarlo de forma concluyente; pero sí formular la hipótesis –que comprobar en futuras investigaciones– de que, dado que buena parte del PF tenía el conocimiento necesario para poder explicar el fenómeno (Seijas y Uskola, 2022), si lo hubiera relacionado con el modelo acuífero desde el inicio, podría haberse mostrado más escéptico respecto a la técnica y haber utilizado el modelo en su justificación. Dados los resultados, se puede pensar que, si las preguntas se hubieran planteado en el orden inverso, los resultados podrían haber sido mejores.

CONCLUSIÓN E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

La principal conclusión de este estudio es que el hecho de construir conocimiento acerca de un modelo científico no garantiza que se aplique en un contexto pseudocientífico relacionado, ni tampoco que las creencias acerca de este muestren el escepticismo deseado. Ejemplo de ello son la credibilidad que dio el PF a la técnica y las justificaciones no comprobadas a pesar de haber demostrado conocer el funcionamiento de los acuíferos (Seijas y Uskola, 2022). El estudio presenta las limitaciones propias de un estudio de caso, con una muestra limitada, y las propias de la metodología interpretativa utilizada en el análisis de los datos. De todas formas, los resultados hacen ver las dificultades para elaborar buenos argumentos y que una de las claves que condiciona las creencias y argumentos parece ser la correcta identificación del modelo científico implicado en el fenómeno dentro del contexto pseudocientífico.

Ello lleva a corroborar la necesidad señalada en otros estudios de ayudar al profesorado a desarrollar la capacidad de argumentar y el pensamiento crítico (Zemba-Saul, 2009), de desarrollar su capacidad de diferenciar los datos de las conclusiones y las teorías (Zohar, 1998). Para lograrlo deberían plantearse actividades en las que se tenga que desarrollar dicha capacidad (Jiménez-Aleixandre, 2010); por ejemplo, utilizando distintas estrategias de andamiaje (Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2018; van de Pol et al., 2010), como dar instrucciones específicas (Simon et al., 2006) o proporcionar pistas a modo de iniciadores de frase y conectores gramaticales (Domènech, 2022).

El uso de pistas, justamente, ha demostrado facilitar la transferencia de las ideas (Barnett y Ceci, 2002; Salomon y Perkins, 1989), sobre todo cuando estas facilitan la identificación de la idea que transferir. Por ello, el uso de estas estrategias de andamiaje (Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2018; van de Pol et al., 2010) facilitaría la correcta identificación del modelo en los diversos contextos. Sin embargo, queda por investigar de qué manera el uso de andamios facilita el abordaje de los contextos pseudocientíficos y cómo proceder a su retirada, de tal manera que en algún momento los participantes se enfrenten a contextos y argumentos pseudocientíficos, como lo harán en su vida cotidiana, cargados de «antipistas» y, aun así, puedan identificar el modelo científico que se debe aplicar, transferir lo aprendido al contexto y tomar con ello una postura escéptica que puedan justificar.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó dentro del grupo de investigación KOMATZI (GIU21/031), financiado por la UPV/EHU y del proyecto PID2022-137010OB-I00, subvencionado por MCIN /AEI /10.13039/501100011033 / FEDER, UE.

REFERENCIAS

- Afonso, A. S. y Gilbert, J. K. (2010). Pseudo-science: A meaningful context for assessing nature of science. *International Journal of Science Education*, 32(3), 329-348.
<https://doi.org/10.1080/09500690903055758>
- Arthurs, L. A. y Elwonger, J. M. (2018). Mental models of groundwater residence: A deeper understanding of students' preconceptions as a resource for teaching and learning about groundwater and aquifers. *Journal of Astronomy & Earth Sciences Education*, 5(1), 53-66.
<https://doi.org/10.19030/jaese.v5i1.10192>
- Bach, J. y Márquez, C. (2017). El estudio de los fenómenos geológicos desde una perspectiva sistémica. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 25(3), 302-309.
- Barnett, S. M. y Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn?: A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin*, 128(4), 612-637.
<https://doi.org/10.1037/10033-2909.128.4.612>
- Baytelman, A., Iordanou, K. y Constantinou C. P. (2020). Epistemic beliefs and prior knowledge as predictors of the construction of different types of arguments on socioscientific issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 57, 1199-1227.
<https://doi.org/10.1002/tea.21627>
- Bell, R. L. y Lederman, N. G. (2003). Understandings of the nature of science and decision making on science and technology based issues. *Science Education*, 87(3), 352-377.
<https://doi.org/10.1002/sce.10063>
- Ben-Zvi Assaraf, O. y Orion, N. (2005). A study of junior high students' perceptions of the water cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 366-373.
<https://doi.org/10.5408/1089-9995-53.4.366>
- Beyerstein, B. L. (1995). *Distinguishing science from pseudoscience*. The Centre for Curriculum and Professional Development.
- Cano-Orón, L. (2019). A twitter campaign against pseudoscience: The sceptical discourse on complementary therapies in Spain. *Public Understanding of Science*, 28(6), 679-695.
<https://doi.org/10.1177/0963662519853228>
- Cortijas-Rovira, S., Alonso-Marcos, F., Pont-Sorribes, C. y Escribà-Sales, E. (2015). Science journalists' perceptions and attitudes to pseudoscience in Spain. *Public Understanding of Science*, 24(4), 450-465.
<https://doi.org/10.1177/0963662514558991>
- Costall, A., Teo, B. y Pethick, A. (2019). Can you use a coconut to find groundwater? *ASEG Extended Abstracts*, 1, 1-3.
<https://doi.org/10.1080/22020586.2019.12073220>
- Couso, D. y Puig, B. (2021). Educación científica en tiempos de pandemia. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 104, 49-56.

- Crujeiras Pérez, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2018). Influencia de distintas estrategias de andamiaje para promover la participación del alumnado de secundaria en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(2), 23-42.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2241>
- Deming, D. (2002). Water witching and dowsing. *Ground Water*, 40(4), 450-452.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2002.tb02525.x>
- Dickerson, D. L. y Dawkins, K. (2004). Eighth grade students' understandings of groundwater. *Journal of Geoscience Education*, 52(2), 178-181.
<https://doi.org/10.5408/1089-9995-52.2.178>
- Domènech, J. (2022). *Mueve la lengua, que el cerebro te seguirá*. Graó.
- Duschl, R. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268-291.
<https://doi.org/10.3102/0091732x07309371>
- Ennis, R. H. (1996). *Critical thinking*. Prentice Hall.
- 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.
<https://doi.org/10.1002/sce.20012>
- Erickson, F. (1989). Qualitative methods in research on teaching. En M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (pp. 119-161). Macmillan.
- Feinstein, N. (2011). Salvaging science literacy. *Science Education*, 95, 168-185.
<https://doi.org/10.1002/sce.20414>
- Feinstein, N. W., Allen, S. y Jenkins, E. (2013). Outside the pipeline: Reimagining science education for nonscientists. *Science*, 340(6130), 314-317.
<https://doi.org/10.1126/science.1230855>
- Fernández-Ferrer, G. y González-García, F. (2010). El problema de la descarga del agua subterránea al medio superficial: estudio de esquemas de conocimiento en universitarios. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 24, 153-169.
- Forbes, C. T., Zangori, L. y Schwarz, C. V. (2015). Empirical validation of integrated learning performances for hydrologic phenomena: 3rd-grade students' model-driven explanation-construction. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(7), 895-921.
<https://doi.org/10.1002/tea.21226>
- Foulkes, R. A. (1971). Dowsing experiments. *Nature*, 229, 163-168. <https://doi.org/10.1038/229163a0>
- Fuertes-Prieto, M. A., Andrés-Sánchez, S., Corrochano-Fernández, D., Urones-Jambrina, C., Delgado-Martín, M. L., Herrero-Teijón, P. y Ruiz, C. (2020). Pre-service teachers' false beliefs in superstitions and pseudosciences in relation to science and technology. *Science & Education*, 29, 1235-1254.
<https://doi.org/10.1007/s11191-020-00140-8>
- Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. (2017). *Percepción social de la ciencia y la tecnología 2016*. Editorial MIC.
- 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* (pp. 3-17). Kluwer Academic Publisher.
https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_1
- González-García, F. y Fernández-Ferrer, G. (2012). Potencialidades y limitaciones de las analogías elaboradas por estudiantes de magisterio para representar las aguas subterráneas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20(3), 229-238.

- Hansson, L. (2018). Science education, indoctrination, and the hidden curriculum. En M. Matthews (Ed.), *History, Philosophy and Science Teaching. Science: Philosophy, History and Education* (pp. 283-306). Springer.
- Hmelo-Silver, C. E., Jordan, R., Eberbach, C. y Sinha, S. (2017). Systems learning with a conceptual representation: A quasi-experimental study. *Instructional Science*, *45*, 53-72.
<https://doi.org/10.1007/s11251-016-9392-y>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Graó.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Puig, B. (2012). Argumentation, evidence evaluation and critical thinking. En B. J. Frasser, K. G. Tobin y C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook for Science Education* (pp. 1001-1016). Springer.
- Lack, C. W. y Rousseau, J. (2016). *Critical thinking, science, and pseudoscience*. Springer.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2022). Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria. *BOE*, *52*, 41571-41789.
- 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>
- Pan, Y.-T. y Liu, S.-C. (2018). Students' understanding of a groundwater system and attitudes towards groundwater use and conservation. *International Journal of Science Education*, *40*(5), 564-578.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1435922>
- Pozo-Muñoz, M. P., Velasco-Martínez, L. C., Martín-Gámez, C. y Tójar-Hurtado, J. C. (2021). ¿Qué sabe el alumnado sobre las problemáticas socio-ambientales del agua y su gestión sostenible? Investigación mixta en Educación Primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *18*(3), 3501.
http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3501
- Preece, P. F. W. y Baxter, J. H. (2000). Scepticism and gullibility: the superstitious and pseudoscientific beliefs of secondary school students. *International Journal of Science Education*, *22*(11), 1147-1156.
<https://doi.org/10.1080/09500690050166724>
- Quevedo-Ortiz, G., González-García, F. y Fernández-Ferrer, G. (2019). Un estudio sobre pensamiento pseudocientífico en estudiantes de educación secundaria. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, *37*, 147-164.
- Sabariego, M., Massot, I. y Dorio, I. (2009). Características generales de la metodología cualitativa. En R. Bisquerr. (Ed.), *Metodología de la investigación educativa* (pp. 275-292). La muralla.
- Sadler, T. D. y Donnelly, L. A. (2006). Socioscientific argumentation: The effects of content knowledge and morality. *International Journal of Science Education*, *28*(12), 1463-1488.
<https://doi.org/10.1080/09500690600708717>
- Sadler T. D. y Fowler S. R. (2006). A threshold model of content knowledge transfer for socioscientific argumentation. *Science Education*, *9*, 986-1004.
<https://doi.org/10.1002/sce.20165>
- Sadler, T. D., Nguyen, H. y Lankford, D. (2016). Water systems understandings: A framework for designing instruction and considering what learners know about water. *WIREs Water*, *5*(1), e1178.
<https://doi.org/10.1002/wat2.1178>
- Salomon, G. y Perkins, D. N. (1989). Rocky roads to transfer: rethinking mechanism of a neglected phenomenon. *Educational Psychologist*, *24*(2), 113-142.
https://doi.org/10.1207/s15326985ep2402_1
- Sánchez, F. J. (2022). *Hidrología Superficial y Subterránea* (2.ª ed.). Kindle Direct Publishing.

- 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>
- Seijas, N. y Uskola, A. (2022). Revision and manipulation of physical models as tools for developing the aquifer model by Preservice Elementary Teachers. *International Journal of Science Education*, 44(11), 1715-1737.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2095453>
- Simon, S., Erduran, S. y Osborne, J. (2006). Learning to teach argumentation: Research and development in the science classroom. *International Journal of Science Education*, 28(2), 235-260.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690500336957>
- Snafir, Z., Eberbach, C., Ben-Zvi-Assaraf, O., Hmelo-Silver, C. y Tripto, J. (2017). Characterising the development of the understanding of human body systems in high-school biology students – a longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 39(15), 2092-2127.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1364445>
- Strahler, A. N. y Strahler, A. H. (2005). *Geografía Física* (3.ª ed.). Ediciones Omega.
- Solbes, J., Palomar, R. y Domínguez M. C. (2018). ¿En qué grado afectan las pseudociencias al profesorado? Una mirada al pensamiento de los docentes de ciencias en formación. *Mètode Science Studies Journal*, 29, 28-35.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge University Press.
- Unterbruner, U., Hilberg, S. y Schiffel, I. (2016). Understanding groundwater-students' pre-conceptions and conceptual change by means of a theory-guided multimedia learning program. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(6), 2251-2266.
<https://doi.org/10.5194/hess-20-2251-2016>
- Uskola, A. (2017). Escepticismo del profesorado de Primaria en formación hacia las pseudociencias: Influencia de las concepciones erróneas en el caso de la homeopatía. *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado*, 21, 391-408.
- Van de Pol, J., Volman, M. y Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in teacher student interaction: A decade of research. *Educational Psychology Review*, 22(3), 271-296.
<https://doi.org/10.1007/s10648-010-9127-6>
- Yates, G. C. R. y Chandler, M. (2000). Where have all the skeptics gone?: Patterns of New Age beliefs and anti-scientific attitudes in preservice primary teachers. *Research in Science Education*, 30(4), 377-387.
<https://doi.org/10.1007/bf02461557>
- Zemal-Saul, C. (2009). Learning to teach elementary school science as argument. *Science Education*, 93, 687-719.
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.20325>
- Zohar, A. (1998). Result or conclusion? Students' differentiation between experimental results and conclusions. *Journal of Biological Education*, 32, 53-59.
<https://doi.org/10.1080/00219266.1998.9655594>

Beliefs of Teachers in Training about Dowsers and Application of the Aquifer Model

Nahia Seijas

IES Zabalzana, Vitoria-Gasteiz (Álava), España.

nahiasseijas@gmail.com

Araitz Uskola

Didáctica de la Matemática y de las Ciencias experimentales y sociales, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Leioa (Bizkaia), España.

araitz.uskola@ehu.eus

Many pseudosciences, including the dowsing technique for finding underground water, enjoy a high degree of acceptance among citizens and even among teachers in training. Science teaching should make it easier to discriminate between scientific and pseudoscientific information, therefore the development of scientific knowledge and critical thinking should be addressed in the classroom. This work has the following objectives: to analyze what the beliefs of trainee teachers are about the dowsing technique and how they justify them; to examine how trainee teachers apply scientific knowledge (the aquifer model) to explain the finding of water by the dowser; to study how the way in which trainee teachers explain the discovery of water by dowsers and the skepticism and critical thinking shown are related. The 39 participants (students from the Primary Education degree) had previously participated in a modeling sequence on the functioning of a karst aquifer, during which they had done field work in a karst environment, had represented their mental models in physical models and had reviewed and manipulated them to understand the functioning of the aquifer and to make predictions. At the end of these activities, they watched two videos in which dowsers appeared. Trainee teachers were asked about the credibility they gave to the technique and tried to explain the fact that water is found when digging where the dowsers indicate. In the individually written responses, skepticism and critical thinking were analyzed, considering their positions with regards to the dowsing technique and the arguments put forward in its defense, based on the allusion to evidence, justifications, and refutations. In addition, the scientific knowledge referred to in the explanations given was studied, especially the references to the aquifer model which had been previously constructed.

Half of the trainee teachers showed belief in the dowser's technique, but few arguments included justifications or refutations. Both the skeptics and the gullible regarding the technique based their arguments primarily on data. However, while the credulous referred more to testimonies or tradition, the skeptics used data that, explicitly in a few cases and implicitly in others, could be related to a scientific basis, that is, data that can become evidence. The skeptics' arguments were thus of a higher level, especially in the case of participants who explicitly used the data to refute the explanations given by the dowser. Participants referred to scientific models more when trying to explain the phenomenon than when justifying their belief in the technique. Half of those who developed an explanation based upon scientific concepts applied the aquifer model (the other half used electromagnetism). Regarding the relationship between the aquifer model levels reached at the end of the modeling sequence and the application of the aquifer model when explaining the phenomenon, various situations occurred. On the one hand, it was difficult for the participants to relate the pseudoscientific context to the aquifer model previously worked on, so trainee teachers focused on the electromagnetism that the dowser had used in his explanation, this being a model that had not been mentioned and about which they showed great difficulties. On the other hand, it was also found that the trainee teachers who were able to apply the aquifer model to the phenomenon were more skeptical about the technique. In fact, the results indicate that among the factors that could influence skepticism, the identification and application of the aquifer model to the phenomenon had more influence than the level of knowledge they had shown. The implications of using clues and confronting «anti-clues» for the transfer of knowledge and the taking of skeptical stances that can be justified are discussed.



Génesis y evolución de la matemática moderna en Colombia: una visión general (siglo xx)

Genesis and Evolution of Modern Mathematics in Colombia: an Overview (20th Century)

Alfonso Segundo Gómez Mulett

Programa de Matemáticas. Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia
agomezml@unicartagena.edu.co

RESUMEN • Este trabajo tiene como objetivo presentar maneras y momentos de la inserción de la matemática moderna en Colombia y su evolución a lo largo del siglo xx, dentro del llamado movimiento de la matemática moderna, en los diferentes niveles educativos, considerando antecedentes en el orden mundial y las circunstancias que a escala local llevaron a la inclusión de esta temática en el currículo de matemática. La exposición de los hechos sigue un orden cronológico, implementado a través de una investigación bibliográfica y documental relacionada con otros trabajos sobre el tema y la legislación educativa pertinente. El análisis de contenido realizado sobre los hallazgos determinó que la enseñanza de la matemática moderna se volvió compleja en Colombia porque no existieron condiciones en su favor en el momento en el que se introdujo.

PALABRAS CLAVE: Historia; Currículo; Reformas; Matemática moderna; Niveles educativos.

ABSTRACT • This paper aims to present ways and moments of the insertion of modern mathematics in Colombia and its evolution throughout the 20th century, within the so-called Modern Mathematics Movement, in the different educational levels and considering antecedents in the world order as well as the circumstances that led to the inclusion of this approach to mathematics in the local curriculum. The exposition of the facts follows a chronological order, implemented through a bibliographic and documentary investigation related to other works on the subject and the pertinent educational legislation. The content analysis carried out on the research findings determined that the teaching of modern mathematics became problematic in Colombia because there were no favorable conditions at the time of its insertion.

KEYWORDS: History; Curriculum; Reforms; Modern Mathematics; Educational Levels.

Recepción: noviembre 2022 • Aceptación: noviembre 2023 • Publicación: marzo 2024

Gómez Mulett, A. S. (2024). Génesis y evolución de la matemática moderna en Colombia: una visión general (siglo xx). *Enseñanza de las Ciencias*, 42(1), 145-159.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5845>

INTRODUCCIÓN

Este trabajo es la extensión de una ponencia sobre la matemática moderna (en adelante, MM) en el bachillerato colombiano y otros escritos relacionados con el tema, que aspira a complementar la historia sobre su discurrir y enseñanza en los diferentes niveles educativos. Bajo estas consideraciones, la investigación tiene por objetivo analizar cómo fue la introducción de la MM en cada uno de los niveles educativos y cuál fue su evolución a través de las reformas curriculares que implementaron el movimiento de la matemática moderna (MMM) —originado en países de Europa y América— basándose en documentos oficiales, textos de estudio y voces de otros investigadores sobre el tema.

Sobre esta cuestión existe una literatura amplia enfocada a mirar cómo fue el desarrollo de este movimiento (Artigue y Gispert, 2007), su relación con encuentros sobre la enseñanza de la matemática (Ruiz, 2007), posturas críticas desde lo pedagógico (Kline, 1992) e investigaciones sobre sus efectos en el currículo de matemáticas (Moon, 1986), entre otros, sin contar trabajos sobre su introducción e implementación en el ámbito iberoamericano.

Para Hayek (1979), entre los iniciadores de la MM puede mencionarse a Galois, quien acuñó la palabra *grupo* en su trabajo sobre la solubilidad por radicales de la ecuación polinómica; Cauchy, que estudia la teoría de permutaciones como sistema conjugado de sustituciones; Lobatchevski, precursor de las geometrías no euclidianas; Cantor, autor de la teoría de conjuntos; Hilbert, constructor de una teoría axiomática para la geometría; y el grupo Bourbaki, exponente de las estructuras matemáticas, cuyo propósito fue presentar la matemática en una obra a semejanza de los *Elementos* de Euclides (Ferro, 2012).

Históricamente, se entiende por MM los desarrollos desde mediados del siglo XIX hasta mediados del siglo XX, caracterizados por la búsqueda de la fundamentación. Para los formalistas, la MM comienza con la axiomatización (Ledesma, 2008); mientras que Kilpatrick (2012) etiqueta con el nombre de movimiento de la matemática moderna aquellas reformas internacionales dadas sobre la enseñanza de la matemática entre 1950 y 1970. En el ámbito colombiano, considerando su didáctica, se entiende por MM aquella cuya enseñanza de contenidos se organiza en torno a la noción de estructura (González, 2008), introduciendo, además, nociones de lógica y teoría de conjuntos, en concordancia con las reformas internacionales señaladas más adelante en este trabajo, derivadas del MMM y la teoría del desarrollo cognitivo de Piaget.

METODOLOGÍA

En la presentación de hechos y hallazgos se optó por utilizar el análisis documental con el fin de rescatar documentos originales del pasado relacionados con el tema, estableciendo los siguientes pasos: planteamiento de la investigación; recolección de los documentos; depuración de la muestra y clasificación de acuerdo con la información presentada, como normativas, históricos y voces de otros autores; análisis de los documentos; integración de la información; exposición de resultados; y exhibición de conclusiones e inferencias (Picado y Rico, 2011). El análisis de contenido, orientado al estudio objetivo de las ideas, los mensajes y las propuestas de los documentos recolectados para formular inferencias a partir de ciertos datos e informaciones, permitió examinar y elegir documentos precisos para la temática. La exposición se lleva a cabo siguiendo un orden cronológico, para mostrar la evolución de la MM y el progreso del MMM, situándose primero en lo global de manera muy somera para luego enmarcar la información y presentar, finalmente, la inserción en Colombia según los diferentes niveles educativos.

El desarrollo de la temática va de lo general a lo local, del nivel educativo más alto —el universitario— y continuando con el nivel intermedio o secundario hasta llegar al nivel más bajo o nivel primario, siendo fiel al avance histórico del problema. La interpretación de los resultados implicó tener en

cuenta aspectos políticos, curriculares y legislativos, los cuales, al ser integrados, permitieron obtener conclusiones bajo contextos objetivos, relacionando tendencias del MMM. De este modo, se evitó sesgar afirmaciones finales.

MATEMÁTICA MODERNA EN EL MUNDO

En América Latina los comienzos de la MM se sitúan en Argentina, con la presencia de Julio Rey Pastor, profesor de matemáticas en la Universidad de Buenos Aires en 1917, año en el que publica su obra *Elementos de análisis algebraico*, donde hace una exposición de los sistemas numéricos insistiendo en el principio de permanencia de las leyes formales de la aritmética (Español et al., 2012). No obstante, el ingeniero cubano Pablo Miquel Merino había publicado *Elementos de Álgebra Superior* en 1914, texto utilizado para la enseñanza de la matemática en la Universidad de La Habana, donde se hace una aproximación al estudio de las funciones reales desde el conjunto de números *reales*, apareciendo aquí esta última palabra, muy rara entonces en los libros para la enseñanza de la matemática, además de la expresión *conjunto de números conmensurables* (Miquel y Merino, 1914); preparando así el camino para la introducción de nuevos conceptos en la matemática.

Después de la Segunda Guerra Mundial, los años sesenta y setenta constituyeron una época de cambios en la legislación escolar del mundo; para América, y en particular para Colombia, fueron tres las causas a las que se atribuyen estos cambios. En primer lugar, en 1950 se crea la Commission Internationale pour l'Etude et l'Amelioration de l'Enseignement des Mathématiques (CIEAEM) en Francia; más tarde, en 1957, después de los adelantos en la carrera espacial por parte de la antigua Unión Soviética, en los Estados Unidos de América se replanteó la enseñanza de la matemática para elevar el nivel científico y tecnológico, para lo que se creó en 1958 el School Mathematics Study Group, sociedad que debía hacer las reformas pertinentes en el currículo de matemática para los niveles de enseñanza primaria y secundaria.

En segundo lugar, en 1958 se creó el Centre Belge de Pédagogie de la Mathématique en Bruselas con el propósito de implementar una reforma para la enseñanza de la matemática, que renovara el contenido y cambiase el método de enseñanza error-acierto por un método interactivo, así como diseñando un currículo que abarcara las edades entre seis y dieciocho años, los niveles de primaria y los de secundaria. La reforma se basó en cuatro pilares: los conceptos fundamentales de la matemática forman parte del conocimiento común; que se emplearan situaciones pedagógicas para que el estudiante pasase gradualmente del conocimiento común al conocimiento matemático; la utilización de estrategias pedagógicas no verbales –como las representaciones gráficas, los colores convencionales, los diagramas y otros–; y el empleo de la pedagogía de la afectividad con la creación de cuentos que lograsen la interacción dinámica en el aula (Sierra, 2008).

La influencia del Centre Belge de Pédagogie de la Mathématique se propagó rápidamente en el llamado mundo occidental, y una prueba de ello fue la convocatoria del Coloquio de Royaumont de 1959, considerado en este trabajo como la tercera causa de los cambios curriculares que se produjeron en la matemática. El coloquio fue auspiciado por la Organisation Européenne de Coopération Economique (OECE), donde asistieron varios integrantes de la CIEAEM; allí se hizo una fuerte crítica a la geometría euclidiana por parte del grupo Bourbaki, liderado por Dieudonné, y se propuso la primera gran reforma curricular en la enseñanza de la matemática según un modelo estructuralista (Serrano, 1993). El coloquio dividió los trabajos presentados en tres secciones: nuevas concepciones en el campo de la matemática; nuevas concepciones sobre enseñanza de la matemática; y posibles problemas en la ejecución de la reforma (Sierra, 2009). Más tarde, en 1961, la OECE publicó el texto *Un programme moderne de mathématiques par l'enseignement secondaire*, siguiendo las instrucciones de Royaumont (Mattedi, 2008).

En tercer lugar, cabe destacar la realización en Bogotá de la primera Conferencia Interamericana de Educación Matemática (CIAEM) en 1961, con la financiación de la National Science Foundation de los Estados Unidos de América, como una réplica en América del Coloquio de Royauumont. Precisamente, ambos encuentros estuvieron bajo la dirección de Marshall Stone, quien en ese momento era también presidente de la International Commission on Mathematical Instruction (ICMI); además, la sigla identificadora de la conferencia es parecida a la CIEAEM y ambas reformas se plantearon primero para la enseñanza secundaria y luego, para la primaria.

La CIAEM propuso modernizar la enseñanza de la matemática con base en los conceptos de conjunto y estructura, así como cambiar el método de enseñanza de la geometría en el nivel medio; sin embargo, la propuesta no fue acogida en su totalidad ni por todos los participantes de América Latina, debido a las deficiencias conceptuales presentes en un gran número de docentes. La segunda CIAEM se llevó a cabo en Lima en 1966, donde se trató la problemática del paso del bachillerato a la universidad y la formación de profesores para implementar la reforma propuesta en la primera conferencia.

Las conferencias obedecieron aparentemente en parte al interés de la comunidad europea occidental y de los Estados Unidos por modernizar la enseñanza de la matemática en América Latina, pero debe tenerse en cuenta que a partir de los años sesenta ocurrió un movimiento de reformas paralelas en la enseñanza de la matemática (Vanpaemel y De Bock, 2019), no todas provenientes de los ministerios de Educación, sino de organizaciones de tipo económico que, al conocer el estado de desactualización en el que se encontraba la enseñanza, ven una amenaza para el desarrollo tecnológico e industrial, por lo que deciden intervenir en el sistema educativo para así satisfacer las demandas del capital. Esto último se afianzó tras el programa Alianza para el Progreso (APP), auspiciado en el gobierno de John F. Kennedy y refrendado por todos los países integrantes de la Organización de Estados Americanos (u OEA) excepto Cuba durante la reunión de Punta del Este (Uruguay) en agosto de 1961. Colombia se consolidó como el principal aliado de los Estados Unidos, secundando los planes de la APP en el gobierno presidido por Alberto Lleras Camargo (*El Tiempo*, 1999).

La APP propuso a los países de América Latina que emprendieran reformas en todos los niveles educativos, encaminadas al logro de un verdadero desarrollo social y económico, tal como se expuso en el documento *Resolución A1*, con el título de *Plan decenal de educación para la APP*. En el numeral 2 inciso *f* de esa misma resolución plantea el «Fomento de la enseñanza de las ciencias y de la investigación científica y tecnológica, e intensificación de la preparación y el perfeccionamiento de científicos y profesores de ciencia» (OEA, 1961, p. 56).

Siguiendo las instrucciones señaladas por la APP, a partir de 1963 Brasil comienza la formación de profesores para el nivel primario con los contenidos de la MM, creándose cursos de capacitación en varios estados (Medina, 2008); posteriormente, en 1966 se da inicio a la reforma del currículo de matemáticas, debido también a la presión ejercida por la Sociedad Matemática Francesa y la Asociación de Profesores de Enseñanza Pública, quienes criticaban el estado de la investigación y su enseñanza, sin emplear ningún argumento pedagógico (Rodrigues, 2007).

Algo similar a lo ocurrido en Brasil sucedió en el contexto iberoamericano: en Venezuela, la reforma de 1961 para el ciclo básico de educación secundaria incluye oficialmente la matemática moderna, por lo que se ofrecen cursos para preparar a los profesores en la enseñanza de la MM entre los años 1963 y 1967, con el apoyo de los Institutos Pedagógicos de Caracas y Barquisimeto y el financiamiento de la Fundación Shell de un curso sobre nuevas tendencias en la enseñanza de la física y la matemática. Mientras se dan las condiciones necesarias para la implantación de la reforma, el proceso se extiende hasta 1973, cuando entran en vigor los programas de matemática para el ciclo diversificado (Mosquera, 2010).

En Portugal, la introducción de la MM se consolidó a finales de los setenta del siglo pasado (Matos, 2010), después de la cooperación del Gobierno sueco en 1976 bajo el Proyecto de Avaliação do Ensino

Secundario Unificado, donde se estableció una mejora en el currículo educativo de la matemática en los dos primeros ciclos unificados por el proyecto.

En España la introducción de la MM en la enseñanza no universitaria estuvo influenciada por la relación con la CIEAEM que mantuvo el matemático español Puig Adam, personaje que intervino en las reformas educativas del currículo de matemáticas en los años cincuenta y sesenta. Esta introducción ocurre en dos momentos, aunque se anticipa con las propuestas consignadas en la revista *Vida Escolar*, en los números 118 y 119 de abril y mayo de 1970, donde destaca la noción de estructura como concepto de unidad para la matemática (González, 2008). El primer momento comienza en 1961 con la edición del texto *Matemática Moderna*, de Juan Casulleras y Marcos de Lanuza, que motivó en 1962 la creación de la *Comisión para el Ensayo Didáctico sobre la Matemática Moderna en los Institutos Nacionales de Enseñanza Media* (González, 2006). El proceso abarca el lapso 1967-1975, cuando se publicaron nuevos textos como consecuencia del intenso criticismo de profesores y padres que no estaban de acuerdo con la MM. Con todo, en la enseñanza primaria los textos se mantienen hasta principios de los ochenta (Ausejo, 2013). El segundo momento se generó con la entrada en vigor de la Ley General de Educación de 1970.

MATEMÁTICA MODERNA EN LA UNIVERSIDAD

Los orígenes de la MM en Colombia se remontan al año 1942, cuando el matemático español Francisco Vera llega a Barranquilla y da una conferencia ilustrativa sobre el panorama de la matemática en el siglo xx. Más tarde se dirige a Bogotá y dicta el primer curso de teoría de conjuntos en la Sociedad Colombiana de Ingenieros (Sánchez, 2001), y en 1943 imparte en la Universidad Nacional un curso de iniciación a la matemática moderna, que incluyó en su parte final algunas nociones de topología.

A raíz de los cursos impartidos, Vera publicó en 1942 las dos primeras lecciones en el volumen 18 de la *Revista Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* (Vera, 1948); posteriormente, presentó en 1948 el material del curso en su libro *Introducción a la teoría de conjuntos*, cuyo contenido, ampliado, se divide en seis capítulos: nociones fundamentales, el continuo, continuos de varias dimensiones, conjuntos ordenados y bien ordenados, aritmética transfinita y paradojas del transfinito.

La obra de Vera puede considerarse el primer libro introductorio sobre teoría de conjuntos conocido en Colombia, y, aunque falto de rigor, su intención fue ilustrar otros temas novedosos para la época sobre análisis matemático, teoría de la medida, cardinalidad y fundamentos de la matemática; así lo deja expreso en la advertencia al lector afirmando:

Al releer ahora las notas tomadas hace más de un lustro, no he querido elevar el tono menor con que las desarrollé en aquella oportunidad, a fin de que solo sigan teniendo el valor de guía temática para su estudio más profundo de la creación de Cantor. (Vera, 1948, p. 7)

En 1948 llegó a Colombia el profesor Carlo Federici, el primero en instaurar un curso de lógica matemática en la Universidad Nacional de Bogotá. Poco después, en 1951, llegó a la capital colombiana –inicialmente a la Universidad de los Andes– el profesor húngaro Juan Horváth, quien impartió los cursos sobre las series de Fourier, la integral de Lebesgue y la teoría de la medida en la Universidad Nacional, ya que en la Universidad de los Andes no había un auditorio para ello. Federici y Horváth formaron, a partir de 1951, a los primeros licenciados en Matemáticas, los cuales se ocuparían de impartir clases de esta materia en universidades y colegios del país. Estos profesores habían sido preparados en temas de la MM: lógica, conjuntos, álgebra abstracta, análisis y topología.

Atendiendo una convocatoria de la Universidad Nacional en 1959, llegó el profesor Yu Takeuchi, procedente de Japón. Este inicia en la Universidad Nacional la ardua tarea de formar a matemáticos, difundir la matemática y elaborar textos adecuados para impartir los cursos de los futuros expertos.

Con Takeuchy, la matemática en Colombia toma un fuerte impulso y se convierte en una disciplina fuerte y renovada, que en los años sesenta se extiende a otras universidades, por medio de los programas de matemáticas puras y las licenciaturas en educación con *maior* en matemáticas; es en estos programas donde aparece la enseñanza de la lógica, la teoría de conjuntos, el álgebra abstracta, el análisis moderno y la topología.

Si bien Vera y Federici fueron pioneros de la enseñanza de los conjuntos y la lógica matemática, es importante señalar la presencia del matemático alemán Waldemar Bellon, que llegó a Colombia en 1938. De acuerdo con Albis y Sánchez (2009), Bellon divulgó la teoría de conjuntos en dos artículos publicados en la *Revista de la Universidad Nacional*, en los números 3 de 1945 y 5 de 1946, en el *Cantor el conquistador el infinito* y en *Nuevas perspectivas en la matemática moderna*; más adelante, los autores mencionados señalan que la exposición de estos trabajos contribuyó al estudio de la MM en el nivel universitario.

Las ocurrencias anotadas señalan el inicio de la enseñanza de la matemática moderna en el nivel universitario, un privilegio exclusivo de aquellos que se dedican al estudio de la matemática como profesión. Sin embargo, en las demás carreras donde la matemática es una herramienta conceptual, se seguía enseñando matemática clásica y se presentaban algunas nociones elementales sobre conjuntos. Con la introducción de textos importados en la década de los sesenta y comienzo de los setenta, utilizados para enseñar un primer curso universitario de matemáticas –y la mayoría procedentes de los Estados Unidos–, comienzan a enseñarse algunos rudimentos de lógica y teoría de conjuntos, aunque en verdad no se consideran un requisito teórico de la temática, pues no están integrados en ella.

Algunos de los textos utilizados para introducir la MM en el primer curso universitario de matemáticas en Colombia en los años sesenta y setenta fueron: *Matemáticas básicas con vectores y matrices*, de Howard Taylor y Thomas Wade, publicado en español en 1966, y cuyo título original en inglés es *University Frehman Mathematics with algebra and trigonometry*, editado en 1963. Otros textos fundamentales en este sentido son *Álgebra y trigonometría modernas*, de Elbridge Vance, con edición bilingüe español-inglés de 1970; *Fundamentos de Matemáticas Universitarias*, de Carl Allendoerfer y Cletus Oakley –editado por segunda vez en español en 1968 y originalmente en inglés con el título de *Principles of Mathematics*–; y *Matemáticas Universitarias* de Britton, Kreigh y Rutland, con edición en español de 1969. Posteriormente se utilizaron textos elaborados en Colombia que se inspiraron parcialmente en estos trabajos importados.

Los provenientes de los Estados Unidos fueron consecuencia de la corriente educativa conocida como pensamiento crítico. Esta corriente hace énfasis en el pensamiento reflexivo de tipo argumentativo, utiliza el análisis y la evaluación como elementos necesarios para hacer inferencias o explicar el porqué de las cosas (Lai, 2011); de ahí que la preocupación principal en la presentación del primer curso universitario de matemática fuera introducir elementos de lógica, conjuntos, construcciones axiomáticas y demostraciones de tipo argumentativo. Algunos de estos libros omitían la parte de lógica, pero esto se debía a que en la enseñanza media norteamericana después de 1959 se introdujo un curso de lógica como tema obligatorio en el currículo de matemática. No obstante, en Colombia se utilizaron estos textos sin tener en cuenta ese detalle, razón por la cual la enseñanza de la matemática con los textos mencionados fue difícil y traumática.

El primer curso de matemática en el nivel universitario debía servir como base o fundamento para los cursos posteriores, que generalmente son el cálculo diferencial, el cálculo integral, el cálculo en varias variables y el álgebra lineal. Desafortunadamente, los textos para estos cursos estaban escritos en el ambiente de la matemática clásica, pues el concepto de función como concepto principal del cálculo se conserva en la mayoría de los textos como antes, empleando una ley de asignación entre dos conjuntos, aunque algunos editados en los años ochenta contemplan el concepto moderno de función en términos de pares ordenados, pero pronto en la práctica esta idea fue reemplazada por la de asignación, tal y como lo había propuesto Dirichlet en 1837 (Burton, 2011).

Los primeros textos con contenidos de MM escritos por colombianos para el primer curso universitario aparecen en la década de los sesenta, como *Fundamentos de Matemáticas* de Rafael Mariño, en 1966; *Conceptos Fundamentales de Matemática* de Alonso Takahashi, en 1967 (Albis y Sánchez, 2017); y *Matemáticas Generales* de Hernando Bedoya, publicado en 1968. En la década de los setenta, la MM logró incursionar en los cursos universitarios de matemática en todas las carreras usuarias de la matemática, y alcanzó un buen afianzamiento, pues era un tema de obligado estudio, sobre todo la teoría de conjuntos.

MATEMÁTICA MODERNA EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA

Terminada la Segunda Guerra Mundial, a pocos años de la reconstrucción de Europa, comienza el liderazgo por la dominación económica y política del mundo; los Estados Unidos y la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) compiten por el liderazgo a partir de 1947, tras los sucesos de Berlín, y después de recriminarse uno al otro a través de comunicados oficiales, se declaran enemigos ideológicos sin llegar a declararse la guerra. El suceso que acelera las reformas en la enseñanza de la matemática en los Estados Unidos fue el inicio de la carrera espacial en 1957 por parte de la URSS. La introducción de la MM en la educación secundaria o bachillerato colombiano tuvo también una etapa premoderna, con varios acontecimientos como detonantes antes de que esta se asentara en el currículo de enseñanza primaria y bachillerato.

En primer lugar, Colombia envió representantes a la Conferencia Regional de Punta del Este en agosto de 1961, donde entre otras cosas se señaló el atraso de América Latina en materia de educación; en segundo lugar, en Colombia se realiza el Primer Seminario sobre Problemas del Bachillerato, concretamente en Tunja, donde se propone cambiar el currículo de matemáticas e introducirse el análisis matemático en último grado del bachillerato. Finalmente, en diciembre del mismo año se reúne en Bogotá la Primera Conferencia Interamericana de Educación matemática, auspiciada por la Comisión Internacional de Instrucción Matemática (ICME), del 4 al 9 de diciembre.

Los acontecimientos anteriores se constituyeron en la causa para realizar cambios en el currículo del bachillerato con el Decreto 045 de 1962, que deroga el Decreto 2550 de 1951, encargado de distribuir los contenidos de la matemática como sigue: aritmética en el primer y segundo año, con cinco horas semanales; álgebra en el tercer año, con cuatro horas semanales; álgebra tres horas semanales y geometría cuatro horas semanales en el cuarto año; geometría en el quinto año, tres horas semanales; en el sexto no se enseñaba matemática. El Decreto 045 de 1962 cambia la denominación de los cursos bajo el nombre único de Matemáticas y sustituye la intensidad en horas semanales por horas por año, manteniendo seis años para el bachillerato, dividido en dos ciclos: el primero o básico hasta cuarto año y el segundo para los años quinto y sexto. En los dos primeros años se enseñaba aritmética y geometría; en los dos siguientes, álgebra y geometría; en los dos últimos, trigonometría, geometría analítica y análisis matemático.

No obstante, la reforma aportó muy poco a la enseñanza de la MM, pues los contenidos de los primeros cuatro años eran los mismos del decreto anterior, excepto los dos últimos años, cuando aparecen los temas de trigonometría, geometría analítica y cálculo. Así las cosas, los conjuntos constituyeron un tema aislado y tratado muy discretamente en el currículo, porque se utilizaban, además, textos clásicos para la enseñanza de la matemática.

La reforma de 1962 se planteó en un momento de tensas relaciones entre los Gobiernos de Cuba y la Organización de Estados Americanos (OEA), cuya punta de lanza fue el Gobierno de los Estados Unidos, que promovió acciones educativas utilizando la Alianza para el Progreso, lo que afianzó el neocolonialismo en América Latina e impidió la influencia ideológica de la Revolución cubana. Según Mosquera (2011, pp. 105-106), «el neocolonialismo se caracteriza por la toma de decisiones ajenas

sobre objetos culturales ajenos, que se anhelan como propios, y se profundiza el rechazo hacia los objetos culturales propios», las reformas vienen impuestas de afuera o para imitar lo de afuera, no obedecen a políticas propias ni a investigaciones sobre el problema educativo relacionado con la enseñanza y aprendizaje de la matemática.

Después del tercer Congreso Nacional de Matemáticas realizado en octubre de 1964 en la ciudad de Medellín, se propusieron algunas tareas, entre ellas, investigar el estado de la enseñanza de la matemática en ese momento, ya que el Ministerio de Educación Nacional (MEN) había decidido conformar un programa moderno para la enseñanza de la matemática en el bachillerato, en concordancia con las modificaciones que se habían hecho en los programas de primaria al introducir la teoría de conjuntos. La modernización era necesaria porque

...la sociedad actual tiene una verdadera necesidad de la matemática, que ha llegado a ser elemento esencial de la cultura y, como resultado de los esfuerzos milenarios del hombre, es una ciencia que no ha cesado jamás de vivir, encontrándose en pleno desarrollo (Farías, 1967, p. 6);

de ahí que fuera necesario manejar una adecuada teoría intuitiva de conjuntos y estudiar bien las propiedades de los números racionales y reales como campo sin exagerar la terminología propia del álgebra abstracta. Sin embargo, los programas de los dos últimos grados del bachillerato seguían sin modificación, enseñándose trigonometría, geometría analítica y cálculo diferencial e integral. Para los estudiantes de las escuelas normales, en los dos últimos años, debía enseñarse en su lugar didáctica de la aritmética e introducción al estudio de las funciones (Farías, 1967).

Mientras se hacían los ajustes señalados anteriormente, se dieron otras reformas. En 1969 se crean los Institutos de Enseñanza Media Diversificada (INEM), con un currículo unificado para todos sus planteles. La enseñanza de la matemática en estos institutos se presentó de forma agrupada, influenciados por la Segunda Conferencia Interamericana de Educación Matemática de Lima de 1966, implantándose en el ciclo básico y en el ciclo diversificado en la modalidad de Ciencias y Matemáticas los conceptos de estructura, de operaciones, de sistemas de numeración, de conjuntos y de deducciones lógicas (Vasco, 1975).

El Decreto 080 de 1974 instituye la enseñanza de la matemática en una sola materia, eliminando la separación de la geometría que se daba con independencia del álgebra según lo disponían los Decretos 2550 de 1951 y 45 de 1962, con cinco horas semanales de primero a cuarto de bachillerato y tres horas a la semana en los grados quinto y sexto. Se continuaba con la tradición de enseñar aritmética y geometría en primero y segundo, y se introducía el estudio de los números negativos para completar los sistemas numéricos de los enteros y los racionales; en tercero y cuarto se enseñaba álgebra y geometría y se introducían los números irracionales y complejos en la solución de la ecuación cuadrática. En quinto grado el contenido correspondía a la trigonometría y geometría analítica plana, y en el sexto se proponía una introducción al cálculo diferencial e integral llamada Introducción al Análisis Matemático. Este decreto también dividió el bachillerato en dos ciclos: los cuatro primeros años correspondían al ciclo básico; los dos últimos, al ciclo vocacional, ofreciendo las opciones de bachillerato académico, pedagógico, industrial, comercial, agropecuario y de promoción social.

Los sucesos anotados abren el camino para la enseñanza de la MM como fundamento de la matemática; pero es la Resolución 277 de 1975 la que definitivamente legaliza la implantación de la MM de acuerdo con el MMM en el bachillerato colombiano, cuyo artículo único establece:

Adóptense los programas de estudio elaborados en 1974, en desarrollo del decreto 080 del mismo año y las resoluciones reglamentarias correspondientes a las modalidades del bachillerato académico, industrial, agropecuario, comercial, normalista y promoción social para las áreas de matemáticas, estudios sociales, ciencias, idiomas, educación estética y educación física.

La implementación de la enseñanza de la MM en Colombia se llevó a cabo mediante la utilización de libros escritos para ese propósito. Para el bachillerato se manejó inicialmente a partir de 1972 la serie *Matemática Moderna*, de Editorial Norma, compuesta por cuatro libros, dos de aritmética, uno de álgebra y otro de geometría, la cual es una adaptación de la serie *School Mathematics*, escrita por profesores de varias universidades de los Estados Unidos de América. Esta serie implanta el contenido de conjuntos de manera introductoria, hace énfasis en la enseñanza axiomática de la geometría euclidiana e introduce algunas nociones sobre probabilidad y estadística. Posteriormente, meses después de que se anunciara oficialmente la Resolución 277 de 1975, la Editorial Norma publica la serie *Matemática Moderna Estructurada*, conformada por seis libros, uno para cada curso del bachillerato, escrita por Darío Wills, Hugo Guarín, Nelson Londoño y Raúl Gómez, cuya primera edición fue en 1976, cuando se introdujeron temas sobre lógica, conjuntos, relaciones, clases de equivalencia, funciones, leyes de composición interna, anillos, campos, matrices y espacios vectoriales.

La introducción de esta serie tuvo dificultades porque los alumnos y los maestros no estaban preparados para ello; además, fue un cambio abrupto para la mayoría de las instituciones educativas, y, aunque se partió desde los primeros grados, no hubo articulación con la primaria, pues fundamentar una ciencia no es tarea fácil. Tal y como afirma Thom (1981), la fundamentación requiere un trabajo dispendioso por parte de especialistas con una gran experiencia. Según Fulan (1991), en el proceso de implementación de una reforma educativa influyen aspectos que por su diversidad pueden ser agrupados en tres categorías: la primera reúne las características de la innovación y el proyecto de cambio; la segunda tiene que ver con los roles de la localidad; y la tercera involucra los factores externos.

La era de la MM no trascendió en algunas regiones del territorio nacional, por lo que el Gobierno nacional, atendiendo al artículo 78 de la Ley General de la Educación de 1994, elabora los lineamientos curriculares para las áreas obligatorias, entre ellas la matemática. Los lineamientos del área de matemática se publicaron en 1998 por el grupo de apoyo del Ministerio de Educación Nacional, conformado por personalidades, instituciones universitarias y grupos de investigación en el área de la educación matemática. En su redacción se tuvieron en cuenta aspectos legales y cuestiones relacionadas con la matemática y su enseñanza.

MATEMÁTICA MODERNA EN LA EDUCACIÓN PRIMARIA

Hablando formalmente, la introducción de los conjuntos ocurrió primero en la enseñanza primaria y luego en la secundaria, siguiéndose las directrices del MMM ya globalizado. Desde 1965 existían acuerdos bilaterales en materia de asesoría entre los Gobiernos de Colombia y de la entonces Alemania Occidental o República Federal Alemana, de estos acuerdos emerge la Tercera Misión Pedagógica Alemana (1965-1978), cuyo objetivo principal fue tecnificar la educación de la enseñanza básica primaria, dotar las instituciones y capacitar al personal docente. Esta misión evaluó las funciones y desarrollos de la primaria en la educación colombiana, y con los resultados arrojados en 1967 se puso la tarea de reorientar las normas y las acciones vigentes para lograr una mayor efectividad. El más importante logro de esta misión fue la dotación de material didáctico en las escuelas primarias, así como el trabajo con el personal docente rural y urbano, dado el factor de crecimiento de la población.

El currículo de educación primaria por entonces vigente desde los años cincuenta, donde el diseño estaba orientado a contenidos establecidos generalmente por los textos de la colección Bruño, fue modificado con la reforma dispuesta en el Decreto 1710 de julio de 1963, unificando el plan de estudio de las escuelas primarias, divididas antes en rurales y urbanas. En esta reforma se asignaron seis horas semanales de matemática para los grados primero y segundo, y cinco horas semanales para los grados tercero, cuarto y quinto. El contenido de todos los programas fue difundido a través de un libro tipo manual, editado por la Editorial Bedout de Medellín y que fue enviado a profesores de instituciones

públicas para su aplicación, pues el decreto solamente establecía que la matemática comprendía la aritmética y la geometría intuitiva; el libro, en cambio, especificaba los temas que había que estudiar parcelados por semanas, indicando los objetivos, los contenidos y las estrategias pedagógicas, al estilo de la tecnología educativa de la época con base en la taxonomía de Bloom.

En 1968 se crea el Instituto Colombiano de Pedagogía (ICOLPE). Este auspicia la llegada de la Misión Francesa, que trajo a los matemáticos Puteau y Parot, así como la presencia de la Misión Alemana (1971-1975), que asesoró al Ministerio de Educación Nacional en el diseño de programas para la enseñanza primaria. Estas misiones se encargaron de introducir la teoría intuitiva de conjuntos en este nivel, utilizando libros escritos para cada uno de los grados con el nombre *Guía del Maestro*, «publicadas por el Ministerio de Educación Nacional y elaborados por el Grupo de Inspección Nacional de la enseñanza elemental con la asesoría de la Misión Alemana y revisados por el Instituto Colombiano de Pedagogía – ICOLPE» (Martínez, Noguera y Castro, 2003, p. 53), bajo la premisa de que la formación de maestros para las escuelas primarias era deficiente y, por lo tanto, era necesario ayudarlo en su labor de enseñanza para que pudiera desarrollar eficientemente los programas de acuerdo con el Decreto 1710 de 1963.

Según Rojas (1982), había dos tipos de guías; las de primero a tercero son de tipo globalizado, las de primero y segundo contienen una parcelación por semanas de los temas que estudiar; la de tercero está escrita para facilitar la transición a los grados de cuarto y quinto, cuyas guías están desarrolladas por materias. Además de los contenidos, se presentan los objetivos, las actividades que se van a desarrollar y las estrategias metodológicas. En el caso de las matemáticas, las guías se complementaron con la serie *Calculemos*, un libro para cada curso y materiales educativos, sellos para realizar ejercicios relacionados con los conjuntos, varillas plásticas para conformar medidas de volumen como el metro cúbico y el decímetro cúbico, figuras geométricas planas y del espacio y recipientes para medir litros, decilitros y mililitros.

El trabajo del ICOLPE en los setenta fue fundamental para la enseñanza de la matemática por las siguientes razones. En primer lugar, la Misión Francesa en noviembre y diciembre de 1970 impartió en el Colegio Refous de Bogotá el Primer Curso de Pedagogía de la Matemática Moderna, donde se capacita a un buen número de profesores de matemática del país y se introducen los textos de Papy; en segundo lugar, la Misión Alemana escribe los primeros textos para enseñanza primaria incluyendo los conceptos elementales de lógica y conjuntos, conformados por la serie *Calculemos*, que contiene cinco libros, uno para cada grado de primaria. Otros textos impresos para la enseñanza de la matemática en primaria que incluyen nociones de conjuntos, utilizados en la década de los sesenta y setenta, fueron los que integraban la serie *Matemática Moderna* de Samuel Londoño, publicados por la Editorial Bedout.

Las razones anteriormente expuestas muestran que la introducción de la MM en la enseñanza primaria se forjó a través de las reformas curriculares y los libros de texto; en los textos del ICOLPE y el MEN se incluyó la idea de conjunto, las relaciones de pertenencia e inclusión, los diferentes tipos de conjuntos, las operaciones de unión, intersección, diferencia, complemento, conjuntos coordinables o equinumerosos, representación gráfica de conjuntos con diagramas de Venn, representación de relaciones, relaciones de orden, el concepto de minorante y mayorante, el cardinal de un conjunto y arreglos sencillos. Además, se incorporan el concepto de proposición, los cuantificadores dentro del lenguaje y los operadores lógicos negación, disyunción y conjunción de manera intuitiva. En este sentido, Vásquez (2010) afirma que en el periodo 1968-1984 los libros de texto «proponen reflexiones matemáticas desde los elementos lógicos de la teoría de conjuntos, y dejan de lado la perspectiva de la matemática práctica, pues consideran que la matemática trasciende lo mero operativo» (p. 117).

Alfonso López Michelsen, presidente de Colombia para el periodo 1974-1978, impulsó en su política la renovación curricular en los niveles de enseñanza primaria y secundaria, y propuso la estructuración y el desarrollo del Programa Nacional de Mejoramiento Cualitativo en la Educación

mediante la implementación de tres estrategias: capacitación y perfeccionamiento de docentes, renovación curricular y producción y distribución de materiales y medios educativos (Montero y Herrera, 2010). Para ello se creó en 1976 la Dirección General de Capacitación y Perfeccionamiento Docente, Currículo y Medios Educativos, cuya prioridad fue elaborar los nuevos programas curriculares de primero a tercero de primaria. Con la asesoría de Carlo Federici, se aplicó un enfoque piagetiano para reemplazar los programas establecidos en 1963.

El Congreso de Colombia expidió el Decreto 088 de enero 22 de 1976, con el que se reestructura el sistema educativo y se reorganiza el Ministerio de Educación Nacional, y en particular da potestad para actualizar los currículos de acuerdo con el artículo 32 inciso b): «precisar en los currículos, por grados y niveles, a través de los centros experimentales pilotos, los objetivos particulares contenidos y métodos que correspondan el medio rural y urbano en las distintas regiones del país». En ese momento se da también la llamada promoción automática de un grado a otro en primaria, independientemente de las notas o calificaciones obtenidas en las evaluaciones; promoción que transcurre hasta la aparición del Decreto 1419 de 1978 y que es resucitada con el Decreto 1290 de 2009.

El Decreto 1419 de 1978 señala normas y orientaciones básicas para la administración curricular en los niveles diferentes niveles de educación no universitaria, estableciendo que:

Los componentes de los programas curriculares para cada área o asignatura en los niveles de preescolar, básica (primaria y secundaria), media vocacional e intermedia profesional serán los siguientes:

- a. Justificación.
- b. Estructura conceptual.
- c. Objetivos generales y específicos.
- d. Contenidos básicos.
- e. Alternativas de actividades y metodologías.
- f. Materiales y medios educativos.
- g. Indicadores de evaluación.

Parágrafo. En el diseño, experimentación y aplicación de los programas curriculares se deben tomar en cuenta características tales como flexibilidad, articulación, graduación, integridad, secuencia, unidad y equilibrio, de acuerdo con los objetivos educacionales que se persiguen en cada nivel, área o asignatura.

El decreto 1419 de 1978 cambia la estructura curricular de la primaria, organizada mediante asignaturas en un currículo integrado, que no afectó a la matemática porque tanto la aritmética como la geometría ya estaban integradas; posteriormente, el Decreto 1002 de 1984 establece para la primaria áreas comunes, siendo las matemáticas una de ellas.

El nuevo enfoque dado al currículo de matemáticas consideraba la enseñanza de estructuras en un diseño instruccional con tendencia constructivista o, mejor dicho, libre de presiones conductistas, lo cual fue un duro golpe para la metodología tradicional de enseñar matemáticas con base en la solución de ejercicios. La implementación de este enfoque se extiende débilmente hasta la expedición de la Ley General de la Educación en 1994; para ello, en el lapso 1981-1984 se publicó el libro *Fundamentos Generales del Currículo*, acompañado de una serie de cinco textos que contenían los programas grado por grado (Vasco, 2011). Los textos que contenían estos programas curriculares para los cinco grados de primaria o cinco primeros grados de educación básica justificaron los nuevos currículos con la siguiente reflexión:

Los avances en el conocimiento psicobiológico y socioafectivo del niño, los nuevos rumbos de la educación y las necesidades deben ser resueltas para alcanzar un desarrollo más integral del país, llevaron al Gobierno Nacional a una reestructuración del sistema educativo (Decreto Ley 088 de 1976) que implica, entre otras acciones, una renovación curricular, cuyas orientaciones básicas están señaladas en los Decretos 1419 de 1978 y 1002 de 1984 y sus resoluciones reglamentarias. (MEN, 1986, p. 3)

Durante la década de los ochenta siguió conservándose en los libros de primaria la terminología de la teoría de conjuntos, pero se regresó a la producción de textos con énfasis en la solución de ejercicios, por lo que los conjuntos sirvieron para hablar de conjuntos numéricos y algunas de sus propiedades relacionadas con el orden. Sobrevino entonces desde 1984 el enfoque de sistemas, y los programas de matemáticas para los cinco grados de primaria se diseñaron agrupando los contenidos en siete ejes temáticos: sistemas numéricos, sistemas geométricos, sistemas métricos, sistemas de datos, sistemas lógicos, conjuntos y relaciones y operaciones (MEN, 1986), especificando las temáticas de sistemas lógicos, conjuntos y relaciones y operaciones.

Los contenidos expuestos fueron propuestos después de la reforma curricular de 1974. El propósito de la lógica no fue el de formalizar el lenguaje, ni se destinó a una teoría de la demostración, más bien se trató de «aprovechar la familiaridad con la lengua materna para descubrir en ella estructuras subyacentes, saberlas refinar, analizar, simbolizar, manipular: saber *jugar con ellas*. Más bien que una lógica del lenguaje o una matemática del lenguaje, haríamos una física del lenguaje» (Vasco et al., 2011, p. 129). Con el paso de los años y la entrada en vigor de la Ley General de la Educación, algunos temas como las relaciones y su representación han desaparecido de los programas y textos escolares de educación primaria, conservándose aún la parte referente a los conjuntos y sus operaciones.

CONCLUSIONES

Como se evidencia a lo largo de la exposición, las reformas hechas a los currículos de matemática en los niveles de primaria y secundaria fue fragmentada y discontinua; además, estas reformas estuvieron desconectadas de lo que ocurría en el nivel universitario, de ahí que, a propósito, el trabajo se fragmentara en tres partes, y aunque hay muy buenos trabajos sobre la inserción de la matemática en la universidad, era necesario considerarlos para mostrar la brecha entre el nivel universitario y los no universitarios.

Puede decirse que su implementación fue improvisada y tardía, pues se hizo sin la suficiente preparación de sus actores: en lo que concierne al bachillerato, un alto número de profesores no contaba con la preparación adecuada porque fueron formados dentro de la matemática clásica; los textos se escribieron apresuradamente para hacer frente a las nuevas exigencias, y el nivel de exigencia de los textos en los dos primeros niveles del bachillerato era alto, lo que forzaba al estudiante a una abstracción a la que no estaba acostumbrado. En definitiva, lo que se hizo fue incluir la MM en la vieja estructura curricular, como un pegado de nuevos temas.

Por otra parte, la reforma incursionó en las ciudades grandes, pero no en otras ciudades pequeñas y en la parte rural, donde la preparación de los maestros se hizo sin tener en cuenta la MM; es más, los profesores de primaria eran, como mucho, normalistas, y el currículo de las normales en el lapso investigado tenía menos temas de matemática en comparación con el de bachiller. Asimismo, en Colombia el analfabetismo en 1985 era del 12 % aproximadamente, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística; por lo tanto, un número considerable de los padres de familia no podían ayudar a sus hijos en la realización de las tareas educativas, debido a su escasa preparación académica y su desconocimiento de la matemática moderna.

En la enseñanza universitaria, la introducción de la matemática moderna se hizo difícil por dos razones: en primer lugar, el empleo forzado de textos basados en una metodología de tipo argumentativa fue contraria a la metodología de tipo instrumental, que partía de la mecanización mediante la solución de ejercicios con la que los estudiantes habían aprendido matemática. En segundo lugar, no había continuidad entre los temas destacados por la matemática moderna, pues los temas estudiados en los cursos posteriores donde se utilizaban textos escritos permanecían en la vertiente de la matemática clásica. Las razones expuestas hicieron ver la matemática moderna como una imposición y no como una posible solución a la problemática de la enseñanza de la matemática.

REFERENCIAS

- Albis, V. y Sánchez, C. (2009). La introducción de la teoría de conjuntos y la matemática moderna en Colombia. Primera parte: el aporte de los extranjeros. *Mathesis*, 3(42), 265-293.
- Albis, V. y Sánchez, C. (2017). La introducción de la teoría de conjuntos y la matemática moderna en Colombia. Segunda parte. El aporte de los colombianos. *Mathesis*, 4(1), 25-58.
- Artigue, M. y Gispert, H. (2007). *Cent ans de réforme de l'enseignement des mathématiques*. École Normale Supérieure.
- Ausejo, E. (2013). La introducción de la matemática moderna en la enseñanza no universitaria en España. *La Gaceta de la RSME*, 16(4), 727-747.
- Burton, D. (2011). *The History of Mathematics*. McGraw Hill.
- El Tiempo* (22 de noviembre de 1999). *Siglo XX en El Tiempo. Año 1991*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-950337>
- Español, L., Martínez, M., Álvarez, Y. y Vela, C. (2010). Julio Rey Pastor y el análisis algebraico: de los apuntes de 1914-16 a tres libros de texto (1917-1925), *Zubía*, 28, 139-166.
- Fariás, B. (1967). Estado actual de la matemática en Colombia. *Boletín de Matemáticas*, 1(1-2), 6-11.
- Ferro, M. (2012). *Los conceptos de estructura y modelo como ejemplo paradigmático transdisciplinar en las ciencias humanas y sociales*. <https://shs.hal.science/hal-00760379/>
- González, M. T. (2006). La matemática moderna en España. *Unión*, 6, 63-71.
- González, M. T. (2008). La transición hacia la matemática moderna en España: la revista Vida Escolar, *Revista Diálogo Educativo*, 8(25), 615-631.
- Hayek, N. (1979). *Los orígenes de la matemática moderna*. Universidad de la Laguna.
- Kilpatrick, J. (2012). The new math as an international phenomenon. *ZDM - Mathematics Education*, 44(4), 563-571.
- Kline, M. (1992). *El fracaso de la matemática moderna. ¿Por qué Juanito no sabe sumar?* Alianza Editorial.
- Lai, E. (2011). *Critical thinking: A literature review*. Pearson.
- Ledesma, N. (2008). *La matemática moderna.: entre el «formalismo modificado» de Cavillès y el «platonismo estructural» de Lautman* [Tesis de doctorado no publicada]. Universidad de Sevilla. <https://idus.us.es/handle/11441/15128>
- Martínez, A., Noguera, C. y Castro, J. (2003). *Currículo y Educación: Cuatro décadas de Educación en Colombia*. Cooperativa Editorial Magisterio.
- Matos, J. (2010). Elementos sobre o ensino e a aprendizagem da Matemática Moderna em Portugal no final dos anos 70. En José Manuel Matos y Wagner Rodrigues Valente (Eds.), *A reforma da Matemática Moderna em contextos ibero-americanos* (pp. 137-174). UIED.
- Mattedi, A. (2008). *O movimento da matemática moderna: uma rede internacional científica-pedagógica no período da Guerra Fria*. <https://www.doccity.com/pt/rrede-internacional-cientifica-pedagogica-no-periodo-da-guerra-fria/4734301/>
- Montero, M. y Herrera, C. (2010). Políticas educativas para la enseñanza del lenguaje. *Magistro*, 4(7), 19-46.
- Moon, B. (1986). *The New Maths' curriculum controversy: An international story*. The Falmer Press.
- Mosquera, J. (2010). Matemática moderna y neocolonialismo en Venezuela. En José Matos y Wagner Rodríguez (Eds.), *A reforma da Matemática Moderna em contextos ibero-americanos* (pp. 103-136). UIED.
- Ministerio de Educación Nacional. (1975). *Normatividad*. Autor.

- Ministerio de Educación Nacional. (1976). Decreto 088 de enero 22 1976. Por el cual se reestructura el sistema educativo y se reorganiza el Ministerio de Educación Nacional. *Diario oficial*, 34495. <https://www.mineducacion.gov.co/1621/article-102584.html>
- Ministerio de Educación Nacional. (1986). *Programas curriculares. Quinto grado de educación básica*. Editorial Andes.
- Ministerio de Educación Nacional. (1986). *Serie Lineamientos Curriculares. Matemáticas*. Ministerio de Educación Nacional.
- Miquel, P. (1914). *Elementos de álgebra superior*. Imprenta Moderna.
- OEA. (1961). *El programa de la Alianza Para el Progreso*. Ministerio de Hacienda y Crédito Público.
- Picado, M. y Rico, L. (2011). Análisis de contenido en textos históricos de matemáticas. *PNA*, 6(1), 11-27.
- Rodrigues, A. (2007). *Matemática e educação matemática: a dinâmica de suas relações ao tempo do movimento da matemática moderna no Brasil* [Tesis de doctorado no publicada]. Pontificia Universidad Católica de São Paulo. <https://tede2.pucsp.br/handle/handle/11261>
- Rojas, M. (1982). Análisis de una experiencia: La Misión Pedagógica Alemana. *Revista Colombiana de Educación*, 10(2), 1-41.
- Ruíz, A. (2007). *Reforma de las Matemáticas Modernas y una nueva disciplina*. Universidad de Costa Rica.
- Sánchez, C. (2001). 50 años de matemática moderna en Colombia. *Boletín de Matemáticas*, 8(2), 3-28.
- Serrano, M. (1993). Didáctica de las Matemáticas, *Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 8, 173-194.
- Sierra, M. (2008). El Centre Belge de Pédagogie de la Mathématique (1958-1973): nota histórica. *Revista Diálogos Educativos*, 8(25), 633-645.
- Sierra, M. (2009). Anotaciones sobre noventa años de actividad internacional en la enseñanza de las matemáticas (1870-1960). *Aula: Revista de Pedagogía de la Universidad de Salamanca*, 3, 129-133.
- Thom, R. (1981). Matemática Moderna: ¿Error educacional y filosófico? *Lecturas matemáticas*, 2(3), 279-298.
- Vanpaemel, G. y De Bock, D. (2019). New Math, An international movement? En E. Barbin, U. T. Jankvist, T. H. Kjeldsen, B. Smestad y C. Tzanakis, *Proceedings of the Eighth European Summer University on History and Epistemology in Mathematics Education ESU 8* (pp. 801-812). Oslo Metropolitan University.
- Vasco, C. (1975). La matemática en el bachillerato. Lógica, conjuntos y estructuras. *Notas de matemática*, 4(1), 5-30.
- Vasco, C. (2011). La presencia de Piaget en la educación colombiana 1960-2000. *Revista Colombiana de Educación*, 60, 15-40.
- Vasco, C., Falk, M., Charris, J. y Losada, R. (2011). Consideraciones sobre la enseñanza de la matemática en el ciclo diversificado colombiano, *Cuadernos de Investigación y Formación en Educación Matemática*, 6(7), 121-147.
- Vásquez, N. (2010). *Un ejercicio de transposición didáctica en torno al concepto de número natural en el preescolar y primer grado de educación básica* [Tesis de maestría no publicada]. Universidad de Antioquia. <http://funes.uniandes.edu.co/12087/>
- Vera, F. (1948). *Introducción a la teoría de conjuntos*. Editora y Distribuidora del Plata.

Genesis and Evolution of Modern Mathematics in Colombia: an Overview (20th Century)

Alfonso Segundo Gómez Mulett
Programa de Matemáticas. Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia
agomezml@unicartagena.edu.co

This paper is the extension of a lecture on modern mathematics in the Colombian secondary education, extended to other educational levels, considering the history in the world order and the local circumstances that led to the inclusion of this subject in the mathematics curriculum. The progress noted corresponds to what could be called pre-modernist and modernist developments in mathematics, resulting from the different reforms in the teaching of mathematics that began in the second half of the twentieth century. The statement of facts follows a chronological order, implemented through a bibliographic and documentary research related to laws on the ordering and adaptation of the mathematics curriculum worldwide to the demands and changes presented with the introduction of logic and set theory in teaching, other works on the subject and relevant education legislation in the different educational levels: primary, secondary and university. Finally, it concludes that the teaching of modern mathematics became difficult in Colombia because there were no favorable conditions at the time of insertion, implementation was forced, not gradual, and teachers lacked preparation.



Diseño de situaciones de aprendizaje para Matemáticas en un contexto remoto

Design of Learning Situations for Mathematics in a Remote Context

Horacio Solar Bezmalinovic

Facultad de Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile

hsolar@uc.cl

RESUMEN • En Chile, como respuesta a la crisis generada por la pandemia, se diseñaron situaciones de aprendizaje en un contexto remoto. El foco de este estudio es indagar en cinco dimensiones para el diseño de situaciones de aprendizaje en Matemáticas: tareas matemáticas, cápsulas de video, interacciones, retroalimentaciones y evaluaciones. Se analizaron nueve situaciones de aprendizaje en un contexto remoto, diseñadas en un curso de Didáctica de la Matemática para la formación de profesores de secundaria. Los resultados dan cuenta de que, en general, los diseños de situaciones de aprendizaje incorporan tareas matemáticas contextualizadas y evaluaciones adecuadas. El promedio de estas situaciones de aprendizaje consideró un uso adecuado de las cápsulas de video y de la retroalimentación, mientras que escasean aquellas en las que se aprecia una interacción adecuada entre docente y estudiantes.

PALABRAS CLAVE: Situaciones de aprendizaje en contexto remoto; Aprendizaje de las matemáticas en pandemia; Tareas matemáticas en pandemia; Recursos tecnológicos en Matemáticas.

ABSTRACT • In response to the pandemic crisis, remote learning situations were designed in Chile. This study investigates five dimensions for the design of Mathematics learning situations: mathematical tasks, video capsules, interactions, feedback, and evaluations. Nine remote learning situations were analyzed in a Mathematics course for secondary school teacher training. The results indicate that the learning situation designs generally include contextualized mathematical tasks and appropriate assessments. The average of these learning situations considers the use of video capsules and feedback to be adequate, while situations including appropriate teacher-student interaction are rare.

KEYWORDS: Learning situations in a remote context; Mathematics learning in pandemic; Mathematics tasks in pandemic; Technological resources in Mathematics.

Recepción: enero 2023 • Aceptación: enero 2024 • Publicación: marzo 2024

Solar Bezmalinovic, H. (2024). Diseño de situaciones de aprendizaje para Matemáticas en un contexto remoto. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(1), 161-174.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5870>

INTRODUCCIÓN

Los efectos de la pandemia del COVID-19 en el aprendizaje de los estudiantes aún no son del todo claros. En países como Chile, en plena pandemia se tomó la decisión de realizar una priorización curricular (Ministerio de Educación de Chile, 2020), lo que significó anteponer los objetivos de aprendizaje que se consideraron de mayor relevancia para la planificación de la enseñanza. Los profesores tuvieron que aplicar transformaciones a sus prácticas de aula, donde los recursos digitales cobraron una importancia notoria para generar oportunidades de aprendizaje para los estudiantes.

En Chile, como respuesta a la crisis generada por la emergencia sanitaria, en el contexto de la Mesa Social de Educación COVID-19, se elaboraron recomendaciones para los docentes del sistema escolar con la intención de apoyarlos a la hora de afrontar los desafíos de la enseñanza a distancia (Propuestas Educación Mesa Social Covid-19, 2020). En términos prácticos, se diseñaron situaciones de aprendizaje para diferentes asignaturas, entre ellas Matemáticas, lo que reveló la importancia de recurrir a herramientas tecnológicas que permitieran esquematizar una secuencia de aprendizaje en un entorno virtual, como un medio para desarrollar las habilidades propuestas (Zambrano et al., 2010); esto se tradujo en la consideración de escenarios con distintos niveles de conectividad para los aprendizajes de las disciplinas en tiempos de crisis. Estas situaciones de aprendizaje se pueden entender como trayectorias o progresiones de aprendizaje que tienen en cuenta una meta de aprendizaje, tareas matemáticas y el proceso de aprendizaje hipotético (Clements y Sarama, 2004; Simon, 1995), que además contemplan actividades sincrónicas y asincrónicas, recursos tecnológicos y la evaluación del logro de los aprendizajes propuestos. Por tanto, para su diseño, se establecieron consideraciones en aspectos que se creyeron esenciales para el logro de los aprendizajes: actividades que favorecieran el compromiso de los estudiantes, recursos digitales como el uso de *applets* y cápsulas para la enseñanza, retroalimentación docente y distintos tipos de estrategias evaluativas coherentes con el contexto de pandemia que se estaba viviendo.

En el caso de las matemáticas, se han reportado varias reflexiones y experiencias de aprendizaje para un contexto pandémico (Borba, 2021; Munoz-Rubke et al., 2022). Respecto a la evaluación, estudios previos indican que los profesores de Matemáticas suelen optar por evaluaciones con preguntas cerradas para el aprendizaje de los estudiantes, aunque estos solo evalúen un estrecho rango de habilidades (Iannone y Simpson, 2011). Sin embargo, esta opción no estuvo disponible durante la pandemia del COVID-19, y estudios recientes demuestran que los docentes adoptaron estrategias amplias de evaluación formativa y sumativa, tales como informes escritos, proyectos, investigaciones o exámenes orales (Fitzmaurice y Ní Fhloinn, 2021; Soto-Meza et al., 2022). Por otra parte, el contexto del COVID-19 le ha concedido una gran relevancia al uso de ambientes digitales para el logro de los aprendizajes, donde los docentes se han reinventado con una práctica más personalizada y con retroalimentación constante a los alumnos mediante el uso de cápsulas y otros recursos digitales (Montenegro et al., 2020). Respecto al tipo de actividades, se han valorado las tareas de modelación en su calidad de problemas contextualizados con datos auténticos, potencialmente significativos y desafiantes para los estudiantes (Trelles et al., 2022). Además de estas experiencias, aún son escasos los estudios que han puesto el foco en analizar de manera conjunta los aspectos esenciales de las situaciones de aprendizaje en un contexto remoto.

A partir de esta problemática, el foco de este estudio es indagar el tipo de actividades, recursos, interacciones, retroalimentación y evaluaciones para el diseño de situaciones de aprendizaje en Matemáticas en un contexto remoto.

METODOLOGÍA

Contexto del estudio

En un curso de Didáctica de la Matemática para la formación de profesores de Matemáticas de secundaria, se diseñaron nueve situaciones de aprendizaje para ser implementadas en un contexto remoto.

En un entorno de aprendizaje que combina actividades no presenciales y otras mixtas, se diseñaron las situaciones de aprendizaje con el fin de poner en el centro las experiencias de aprendizajes de los estudiantes, incorporando tanto actividades asincrónicas como sincrónicas. Estas situaciones de aprendizaje tenían en cuenta la formulación de metas de corto y medio plazo y los objetivos de aprendizaje priorizados para el currículo chileno, la diversidad de contextos de aprendizaje de los estudiantes, así como sus posibilidades de conectividad, contemplando tiempos diferenciados y amplios para que todos los alumnos puedan realizar las actividades y los recursos digitales disponibles, entre otros.

Cada una de estas situaciones de aprendizaje fue diseñada siguiendo una estructura sugerida en el informe *Didácticas para la proximidad* (Propuestas Educación Mesa Social Covid-19, 2020): las especificaciones de la tarea matemática, el análisis anticipatorio de estrategias y dificultades de los estudiantes en la resolución de la tarea, la gestión comunicativa del docente para guiar la discusión matemática de los estudiantes, las evidencias de aprendizaje de los estudiantes y, finalmente, recursos como las *applets*, las redes sociales y las plataformas de aprendizaje que se utilizan de manera remota con diferente niveles de conectividad (avanzada o limitada). Cabe destacar que todas las situaciones de aprendizaje terminan con una actividad de evaluación. En la tabla 1 se describe un ejemplo de algunas tareas matemáticas y el tipo de implementación remota para conectividad avanzada o limitada.

Tabla 1.

Ejemplos de implementación remota de tareas matemáticas según el nivel de conectividad

<i>Ejemplo de tarea matemática</i>	<i>Conectividad avanzada</i>	<i>Conectividad limitada</i>
<p>7.º básico (12-13 años)</p> <p>«Perímetro de la circunferencia»</p> <p>Calcular y conjeturar la fórmula del perímetro de una circunferencia. Para ello, se consideran distintos objetos circulares para medir su diámetro y perímetro por medio de un trozo de hilo o cinta y una regla, para luego determinar el cociente entre el diámetro y el perímetro.</p>	<p>Subir a la plataforma una foto de sus resultados.</p>	<p>Mediante una cuenta de Instagram propia del curso, se publican las respuestas en la sección de «historias». Se seleccionan respuestas representativas y se suben a una nueva historia con una retroalimentación escrita o en video.</p>
<p>7.º básico (12-13 años)</p> <p>«Aspersores»</p> <p>Se desea calcular la cantidad de aspersores que se necesitan para regar una cancha de fútbol de 80 metros de ancho por 100 metros de largo. Si se usan aspersores con una región de acción de 360° (es decir, dan una vuelta completa y riegan hacia todos los lados), y tienen un alcance de 10 metros:</p> <p>¿Cuántos aspersores recomendarías usar para cubrir todo el terreno?</p>	<p>Subir la tarea matemática a la plataforma Classroom y crear un buzón de tareas.</p>	<p>Subir la tarea matemática como imágenes en Instagram.</p>

<i>Ejemplo de tarea matemática</i>	<i>Conectividad avanzada</i>	<i>Conectividad limitada</i>
<p>8.º básico (13-14 años)</p> <p>«Puente de la bahía de Sídney»</p> <p>Se muestra la imagen del puente de la bahía de Sídney, en Australia, visto desde el mar. ¿Cuál es el punto más alto del puente? ¿Es posible determinar cuál es su altura?</p>	<p>Clase sincrónica por medio de Zoom o Meet. El docente apoyará a los estudiantes utilizando GeoGebra, que se proyectará para abordar las dudas.</p>	<p>Conectarse a Instagram, donde a través de publicaciones se presentará la tarea matemática parte por parte, y cuando han transcurrido 10 minutos desde que se ha subido cada publicación se pedirá a los estudiantes que se conecten al directo que estará realizando el docente con la misma estructura de Zoom o Meet.</p> <p>Aquellas instancias que necesiten de GeoGebra se envían por medio de capturas de pantalla en el grupo, para que los demás lo visualicen.</p>
<p>1.º medio (14-15 años)</p> <p>«Empresa automotriz»</p> <p>Una empresa automotriz quiere proyectar la venta de dos modelos de autos para el resto del año, considerando que a fines de febrero se han vendido 90 unidades del modelo A y 60 del modelo B. Para los próximos meses, se estima que la venta mensual del modelo A será de 15 autos y del modelo B, de 20 autos. Se quiere saber el mes en el cual la venta del modelo B podría igualar la del modelo A.</p>	<p>El docente subirá a Classroom un documento con las instrucciones.</p> <p>En caso de tener dudas, en la misma plataforma se dejará un espacio para responder todas las que puedan aparecer.</p> <p>Además, se solicitará a los estudiantes responder a una pregunta en Classroom con los procedimientos y resultados encontrados.</p>	<p>El docente enviará por WhatsApp los documentos con los que los estudiantes deberán trabajar. Se les entregará las instrucciones mediante mensajes.</p> <p>Además, dará la oportunidad a los estudiantes de enviar el trabajo y hacer preguntas vía WhatsApp.</p>

Fuente: elaboración propia.

Estrategia de análisis para las situaciones de aprendizaje

Cada situación de aprendizaje fue analizada con criterios descritos en el informe *Didácticas para la proximidad* (Propuestas Educación Mesa Social Covid-19, 2020), los cuales se han sistematizado en la tabla 2. A partir de estos criterios se seleccionaron apartados de cada situación de aprendizaje que dieran cuenta de las cinco dimensiones establecidas: tareas matemáticas, cápsulas, interacción, evaluación y retroalimentación.

Tabla 2.
Dimensiones de aprendizaje en Matemáticas en contexto remoto

<i>Dimensiones</i>	<i>Criterios para cada dimensión</i>
Tarea matemática	<ul style="list-style-type: none"> – Seleccionar tareas y actividades que permitan a los estudiantes acercarse a su resolución a partir de representaciones y herramientas variadas (diagramas visuales, objetos manipulables, símbolos, <i>software</i>, entre otros). – Diseñar o seleccionar problemas contextualizados que permitan establecer conexiones con distintos procedimientos, estrategias y también, en lo posible, con otras disciplinas. – Seleccionar tareas o actividades que permitan que los estudiantes exploren y comprendan la naturaleza de los conceptos matemáticos.
Cápsulas	<ul style="list-style-type: none"> – Elegir y usar estratégicamente representaciones, ejemplos y modelos al explicar un contenido. – Explicitar los propios procesos de pensamiento mientras se modela y se hacen demostraciones. Uso de <i>screencast</i> (grabación de pantalla).
Interacción	<ul style="list-style-type: none"> – Monitorear el desarrollo en los grupos durante la actividad mediante preguntas deliberadas que promuevan altos niveles de razonamiento matemático. – Interactuar con los grupos mediante preguntas que ayuden a los estudiantes a avanzar en la tarea, sin dar respuestas explícitas, de tal forma que la construcción de la solución del problema sea un producto del grupo.
Evaluación	<ul style="list-style-type: none"> – Privilegiar evaluaciones que contemplen la entrega de argumentos o resultados en documentos escritos y, finalmente, incorporar imágenes o videos explicativos. – Contemplar evaluaciones formativas en formato de tique de salida y usar diversas herramientas tecnológicas: fotografías, mensajes de audio, mensajes escritos, entre otros.
Retroalimentación	<ul style="list-style-type: none"> – Analizar las evidencias de aprendizaje enviadas por escrito, audio, fotos y videos, para analizar con detención el razonamiento matemático de los estudiantes. – Realizar una retroalimentación con focos en la tarea, el proceso y la autorregulación. Esta puede ser por escrito, en formato de audio o en video.

Fuente: adaptado de Propuestas Educación Mesa Social Covid-19 (2020).

Para obtener evidencia de la puesta en práctica, dos profesoras de Matemáticas en formación implementaron dos de dichas situaciones de aprendizaje. Por un lado, Mónica implementó «Teorema de Tales» para un 2.º medio (15-16 años), mientras que la profesora Teresa aplicó «Conociendo el círculo» en 7.º básico (12-13 años). Una vez implementadas las dos situaciones de aprendizaje, se realizaron entrevistas semiestructuradas a ambas profesoras con el propósito de recopilar información sobre la implementación, sistematizando los elementos destacados y planteando posibles dificultades en la experimentación en cada una de las dimensiones del aprendizaje a distancia.

RESULTADOS

En los siguientes subapartados se presentan los resultados del análisis de las nueve situaciones de aprendizaje para cada una de las cinco dimensiones: tarea matemática, cápsulas, interacciones, retroalimentación y evaluaciones. Para poder ejemplificar estos resultados, se han seleccionado fragmentos de la tarea matemática «Perímetro de la circunferencia» de la situación de aprendizaje «Conociendo el círculo» para un 7.º básico (12-13 años). Finalmente, en el subapartado «Implementación de situaciones aprendizaje en un contexto remoto» se presenta la percepción de las dos profesoras en formación sobre las dos situaciones de aprendizaje implementadas.

Tarea matemática

Las nueve situaciones de aprendizaje presentan tareas matemáticas contextualizadas y consideran el uso de diferentes representaciones o herramientas. Además, en ocho de las nueve situaciones de aprendizaje, las tareas matemáticas permiten la exploración y la comprensión de la naturaleza de los conceptos matemáticos.

La tarea matemática «Perímetro de la circunferencia» de la situación de aprendizaje «Conociendo el círculo», descrita en la figura 1, permite que los estudiantes reflexionen para poder comprender el concepto matemático clave involucrado en esta tarea. Este es el número π , del que se estudia cómo se relaciona con la fórmula para el cálculo del perímetro de una circunferencia. La tarea que se realiza permite la reflexión de los estudiantes –ya que deben realizar la medición del perímetro y diámetro de distintos objetos con forma circular– para calcular luego el cociente entre ambas medidas. Esto permite comprender la relación que da origen al número π , dándole significado tanto a este número como a la fórmula para calcular el perímetro de la circunferencia.

Tarea matemática “Perímetro de la circunferencia”:
 Para esta tarea matemática necesitas al menos cinco objetos con forma circular, un trozo de hilo o cinta y una regla.

Paso 1: Selecciona y sácale una foto a los objetos con forma circular que utilizarás para la actividad.

Paso 2: Mide el diámetro de uno de los objetos utilizando la regla. Asegúrate de que la medida sea la cuerda más extensa.

Paso 3: Con un trozo de cinta, mide el contorno de los objetos (longitud de la circunferencia) y mácala según esta medida.

Paso 4: Mide la longitud de la cinta marcada con una regla.

Paso 5: Repite el proceso con los otros objetos que dispongan.

Paso 6: Registra estos datos en una tabla.

Para realizar la actividad, te puedes guiar por el siguiente ejemplo:



Objeto	Diámetro (d)	Perímetro (P)
Tapa (ejemplo)	4,4	14

Paso 7: Agrega una nueva columna a la tabla que diga p/d , y en ella completa con el resultado que obtengas al dividir el perímetro con el diámetro de cada figura (puedes usar calculadora).

Fig. 1. Tarea matemática «Perímetro de la circunferencia», de la situación de aprendizaje «Conociendo el círculo». Fuente: elaboración propia.

Cápsula

Las cápsulas se han ideado como actividades asincrónicas enfocadas en el uso de ejemplos estratégicos para presentar un contenido o ejemplificar cómo puede realizarse la actividad presentada, además de la utilización de *screencast* o grabación de pantalla mientras se explicitan los propios pensamientos. En cuatro situaciones de aprendizaje se aprecia la elección de usar estratégicamente representaciones, ejemplos y modelos para explicar un contenido o al dar indicaciones para realizar una tarea matemática. Asimismo, en estas cápsulas se promueve la explicitación de los propios procesos de pensamiento mientras se modela utilizando una grabación de pantalla o representaciones animadas. En cambio, en las cápsulas de las otras cinco situaciones de aprendizaje, no se explicitan los propios procesos de pensamiento para presentar un contenido o ejemplificar la resolución de un problema.

La cápsula de la tarea matemática «Perímetro de la circunferencia» incluye ejemplos estratégicos para explicar un contenido. En este caso, la cápsula busca proporcionar a los estudiantes las instrucciones necesarias para realizar una actividad de medición de perímetros de objetos circulares de manera autónoma y desde casa. En la figura 2 se muestran distintos objetos: monedas, tazas y un bol, los cuales se consideran estratégicos, ya que son objetos cotidianos, distintos y con una variedad de opciones. Además, permiten que los estudiantes visualicen la forma que deben tener los objetos para realizar la actividad correctamente. A esto se suma que en la cápsula se explicita el propio pensamiento del docente al tiempo que se modela medición del diámetro del objeto. En la cápsula se visualiza una imagen con una regla que va cambiando de posición mientras se menciona verbalmente que el diámetro «debe ser la cuerda más extensa y debe pasar por el centro». Es decir, se explicita el concepto de diámetro y se enseña cómo medir el diámetro en un objeto cotidiano.



Fig. 2. Imágenes objetos cápsula de tarea matemática «Perímetro de la circunferencia». Fuente: elaboración propia.

Interacción

Respecto a la interacción entre docente y alumnos, en dos de las nueve situaciones de aprendizaje se aprecia una interacción adecuada entre docente y estudiantes en relación con los dos criterios de esta dimensión: monitorear el desarrollo de los grupos mediante preguntas deliberadas que promuevan altos niveles de razonamiento matemático e interactuar con grupos por medio de preguntas para facilitar a los estudiantes el progreso en la tarea matemática. En cambio, en las otras siete situaciones de aprendizaje el diseño de la interacción es débil entre docente y alumnos. Si bien las situaciones de aprendizaje presentan una gran variedad de preguntas enfocadas en la comprensión, la identificación y la aplicación de definiciones, conceptos o procedimientos, no se promueven niveles altos de razonamiento como, por ejemplo, las conexiones entre conceptos y procedimientos.

En la figura 3 se describe la gestión comunicativa del docente en la tarea matemática «Perímetro de la circunferencia», donde se proponen preguntas deliberadas del tipo: ¿cómo podemos medir el perímetro de un círculo? ¿A qué número es cercana la división $\frac{p}{d}$? Si tengo el diámetro de una circunferencia, ¿puedo calcular su perímetro? Si bien estas preguntas permiten que los estudiantes avancen en la comprensión del número π , no necesariamente promueven en ellos niveles altos de razonamiento matemático.

<i>Gestión comunicativa docente</i>
<p>Si los estudiantes mencionan que el perímetro es el contorno, se debe recordar que es «la medida del contorno» o «la longitud del contorno».</p> <p>Si los estudiantes no recuerdan la definición de perímetro, se puede dibujar un cuadrado con un lado de 4 cm y preguntarles cómo calcular el perímetro de esa figura. Esperando que digan que se suma $4 + 4 + 4 + 4$, o que se multiplica $4 \cdot 4$ luego se les preguntará: ¿Cómo podemos medir el perímetro de un círculo?</p> <p>Una vez que los alumnos hayan terminado la actividad, se hace una clase sincrónica donde se les pregunta ¿A qué número es cercana la división $\frac{p}{d}$? Se explicará que este número constante se llama pi y que realmente no es 3, sino que es 3,1415... e infinitos decimales más. Se les explica que la mayoría de las veces se trabaja con el número pi como 3 o como 3,14 y que el símbolo para representar este número especial es (una letra griega). Se les explicará que pi es el número de veces que el diámetro está contenido en el perímetro de cualquier circunferencia:</p> $\frac{\text{perímetro}}{\text{diámetro}} = \frac{p}{d} = 3,14... = \pi$ <p>Se repasará que, independientemente del tamaño de este círculo, y por ende del radio, la distancia que se recorre es 3,14 veces la distancia del diámetro.</p> <p>Para llegar a la fórmula del perímetro, se les pregunta: Si tengo el diámetro de una circunferencia, ¿puedo calcular su perímetro? Si ahora tuviera solo la medida del radio de la circunferencia, ¿puedo calcular su perímetro?</p> <p>Posteriormente se explica que el perímetro de cualquier circunferencia se puede obtener multiplicando el diámetro de la circunferencia por pi, o lo que es lo mismo, multiplicando el radio por 2 y luego por pi.</p> <p>Se presenta la fórmula: $p = d\pi = 2r\pi$.</p>

Fig. 3. Apartado de «Gestión comunicativa docente» en la tarea matemática «Perímetro de la circunferencia». Fuente: elaboración propia.

Evaluación

Las evaluaciones de las situaciones de aprendizaje privilegian las evaluaciones que contemplen resultados o justificaciones en documentos escritos y el envío mediante imágenes de estos. También hay situaciones de aprendizaje que consideran el envío de videos explicativos o presentaciones en el momento de las evaluaciones. Asimismo, se tiene en cuenta la realización de las evaluaciones formativas mediante el envío de los desarrollos de cada una de las tareas planteadas, ya sea por fotografías o por mensajes escritos, con un menor uso del tique de salida. Por otro lado, no es frecuente que las situaciones de aprendizaje incluyan evaluaciones formativas antes de la evaluación final.

En la figura 4 se describen las «Herramientas digitales para trabajar de manera remota» en la tarea matemática analizada («Perímetro de la circunferencia», dentro de la situación de aprendizaje «Conociendo el círculo»). Para el caso de una conectividad alta, a los estudiantes se les solicita subir a la plataforma una foto de su tabla, mientras que, para una conectividad media, los estudiantes deben compartir fotos de las tablas en una cuenta de Instagram. Una vez que se retroalimenten los trabajos, los alumnos deben grabar un video explicando la resolución de la tarea matemática y subirlo a la cuenta de Instagram. Esto da cuenta del uso diverso de herramientas tecnológicas en las evaluaciones formativas presentes en la ruta. Se consideran evaluaciones formativas puesto que forman parte del proceso de aprendizaje y son retroalimentadas por el docente.

Herramientas digitales para trabajar de manera remota
<p><i>Conectividad alta:</i></p> <p>Se hacen las preguntas sobre los conocimientos previos del perímetro de figuras planas mediante una clase sincrónica (la misma de la actividad anterior), incentivando la participación y conectando las respuestas de los estudiantes.</p> <p>Posteriormente, se leen y explican las instrucciones de la actividad 1. Dicha actividad debe publicarse en la plataforma utilizada por el colegio.</p> <p>Los alumnos deben subir a la plataforma una foto de su tabla una vez que terminen la actividad.</p> <p>Una vez realizada la actividad, se realiza la clase sincrónica descrita sobre el área y perímetro de la circunferencia por Zoom, Classroom u otra plataforma similar.</p> <p><i>Conectividad media:</i></p> <p>Mediante una cuenta de Instagram propia del curso, se publica en las historias una serie de «cajas de preguntas» y se les indica a los alumnos que deben responder al menos una de las preguntas que se presentan a continuación. Dichas historias deben quedar guardadas en historias destacadas con el fin de que aquellos alumnos que no puedan ingresar el mismo día que fueron publicadas puedan verlas y responderlas igualmente. Una vez que los alumnos hayan contestado, se seleccionan un par de respuestas representativas y se suben a una nueva historia con su debida retroalimentación (puede ser escrita o de forma oral, mediante un video de la historia).</p> <p>Posteriormente, se sube a las mismas historias un video explicando la actividad 1, que se sube directamente al perfil de Instagram, y se deja la misma caja de preguntas para que los alumnos puedan preguntar en caso de tener alguna duda.</p> <p>Los alumnos deben enviar por mensaje de Instagram una foto de su tabla una vez terminada.</p> <p>Una vez realizada la actividad, se hace la clase sincrónica descrita sobre el área y perímetro de la circunferencia en un <i>live</i> de Instagram, donde los alumnos deberán participar, contestar a las preguntas y expresar sus dudas por medio de los mensajes que ofrece esta plataforma. El directo debe guardarse para que los alumnos que no se pudieron conectar lo puedan ver después.</p>

Fig. 4. Apartado «Herramientas digitales para trabajar de manera remota», tarea matemática «Perímetro de la circunferencia». Fuente: elaboración propia.

Retroalimentación

Para realizar una retroalimentación de evaluaciones en educación a distancia se sugiere analizar las evidencias enviadas por los estudiantes, ya sea de forma escrita o mediante fotos; de esta forma, se tiene la oportunidad de estudiar detenidamente el razonamiento matemático de los estudiantes. Del análisis de las nueve situaciones de aprendizaje, cuatro de estas son representativas de una adecuada retroalimentación, por medio de evidencias escritas y en forma de video o videollamadas, haciendo énfasis en los errores más frecuentes. Por el contrario, en las otras cinco situaciones de aprendizaje, las retroalimentaciones se centran únicamente en la tarea. No hubo una retroalimentación con foco en la autorregulación.

Una instancia en la que podemos ver una retroalimentación efectiva es durante el inicio de la gestión de la tarea matemática «Perímetro de la circunferencia». En la tabla 3 se describen los apartados de gestión comunicativa del docente y las evidencias de aprendizaje; a partir de las evidencias de aprendizaje que recoge el docente sobre cómo los estudiantes describen y caracterizan el perímetro de la circunferencia, se anticipa la retroalimentación de este, que pone el énfasis en el proceso de la tarea. Además, en el apartado «Herramientas digitales para trabajar de manera remota» (figura 4) se aprecia que más tarde el docente retroalimentaría las respuestas representativas y crearía un espacio de preguntas en Instagram, con el propósito de que los estudiantes evalúen sus producciones y tablas, generando así una nueva respuesta. Esta retroalimentación tiene foco tanto en el proceso como en la autorregulación.

Tabla 3.
Apartado de la tarea matemática «Perímetro de la circunferencia»

<i>Análisis anticipatorio</i>	<i>Gestión comunicativa docente</i>	<i>Evidencias de aprendizaje</i>
Los alumnos han trabajado ya con el perímetro de figuras de lados rectos, por lo que lo deberían recordar como el contorno de una figura o como la suma de la longitud de los lados. Se espera que comprendan que, dado que la circunferencia es una figura curva, entonces ya no pueden aplicar los métodos antiguos.	Si los estudiantes mencionan que el perímetro es el contorno, se debe recordar que es «la medida del contorno» o «la longitud del contorno». Si los estudiantes no recuerdan la definición de perímetro, se puede dibujar un cuadrado con un lado de 4 cm y preguntarles cómo calcular el perímetro de esa figura. Esperando que digan que se suma $4 + 4 + 4 + 4$, o que se multiplica $4 \cdot 4$ luego se les preguntará: ¿Cómo podemos medir el perímetro de un círculo?	Describen el perímetro de una figura plana. Caracterizan el perímetro de una circunferencia de manera global (como la medida/longitud del contorno de la circunferencia).

Fuente: elaboración propia.

Implementación de situaciones de aprendizaje en un contexto remoto

A continuación, se presenta la percepción de la experiencia de implementación de dos situaciones de aprendizaje, recogidas mediante la aplicación de una entrevista a las profesoras en formación Mónica y Teresa.

La profesora Mónica, que implementó «Teorema de Tales» para un 2.º medio (15-16 años), destaca las características de la tarea matemática situada en la etapa final de evaluación, ya que estaba contextualizada y era desafiante para los estudiantes. Además, señala que la actividad de aplicación permitió darle significado al teorema de Tales. A continuación, se presenta un extracto de la entrevista a la profesora en formación:

Mónica: A mí me gustó el desafío principalmente porque era como una historia entretenida, entonces por eso lo elegí, creo que eso también es un aspecto positivo..., las preguntas las encontré muy adecuadas... cómo se relacionaban con el teorema de Tales y yo justo lo había visto antes, como que pude relacionar también los conocimientos de mis estudiantes, eso también lo encontré bueno porque habíamos visto homotecia y Tales como dos contenidos separados.

Entrevistadora: Ya, buena. Eh... ya, en base a eso mismo, ¿qué aprendizajes desarrollaron entonces los estudiantes por medio de esta ruta?

Mónica: A mí me gustó mucho que ellos mismos se dieron cuenta del uso del teorema de Tales, como que yo no se lo mencioné, entonces eso fue un aprendizaje, el lograr identificar la estructura del teorema de Tales, poder hacer las proporciones, y al mismo tiempo hablar de homotecia. Como que eso fue algo que vi que aprendieron mis estudiantes.

Por otra parte, Mónica no da cuenta de la utilización de los recursos asociados a la ruta de aprendizaje tales como cápsulas ni materiales digitales. Además, señala que le hubiera favorecido contar con más orientaciones de acciones docentes para la implementación de la tarea.

La profesora Teresa implementó la tarea matemática «Perímetro de la circunferencia» (véase tabla 1), de la situación de aprendizaje «Conociendo el círculo», para un 7.º básico (12-13 años). Teresa implementó esta actividad dado que la medición de objetos que involucran el número π hacía que este objeto matemático resultara más familiar para los estudiantes.

Teresa: Pasaría a ser algo muy abstracto dentro de la comprensión del círculo y siendo que era la primera vez que lo iban a ver, era como el curso donde se podía hacer la relación para que sea real-

mente significativa y se lo propuse a mi profe para hacer este traspaso del número π a la fórmula y que no fuera tan abrupto y poco significativo, y a él [al profesor] le pareció súper buena idea, y yo hice los videos que creo que los había hecho para la actividad... nosotros ya habíamos hecho unos videos como para subir a Instagram, entonces él [profesor] los puso y también los publicó en Classroom. Entonces con eso siguieron los chicos dentro de la misma clase para hacer la actividad... Pero en general fue bien la actividad. Entonces fue como más natural para ellos el paso al número π , ya no era como un número que podemos reemplazar, sino que era el valor de esa relación, que era más que nada ese número. No era como una cosa que aparece no más.

Además, Teresa señala el uso que se le dio a la cápsula y a su importancia para favorecer el aprendizaje de los estudiantes.

Teresa: [...] el video estaba proyectado, entonces el profe lo mostraba cuando «profe como se hace esto», entonces el video era como super explicativo en ese sentido en el paso a paso. Entonces ellos, por ejemplo, en la parte de dividir, muchos dividían al revés, entonces el profe ponía de nuevo el video en el paso de dividir para ver qué se dividía...

En la entrevista Teresa también señala que le hubiera gustado tener más orientaciones docentes para la implementación de la tarea, ya que era todo un desafío.

CONCLUSIONES

Ante la emergencia sanitaria por COVID-19 se presentaron varias propuestas didácticas para poder hacer frente a las necesidades educativas en cuanto a una educación remota y a tener que priorizar propósitos educativos. Una de las respuestas desarrolladas en Chile fue el informe *Didácticas para la proximidad* (Propuestas Educación Mesa Social Covid-19, 2020), en el que se diseñaron situaciones de aprendizaje para varias disciplinas, con orientaciones frente a dimensiones como el tipo de actividades, las cápsulas de aprendizaje o las consideraciones para la interacción, la evaluación y la retroalimentación para un aprendizaje remoto. Este estudio ha tenido como propósito desarrollar cada una de estas dimensiones en el análisis de situaciones de aprendizaje orientadas a la asignatura de Matemáticas en un contexto remoto.

A partir de las cinco dimensiones descritas en el informe *Didácticas para la proximidad* (Propuestas Educación Mesa Social Covid-19, 2020), se analizaron nueve situaciones de aprendizaje, diseñadas en un curso de Didáctica de la Matemática para la formación de profesores de Matemáticas de secundaria. Para ejemplificar las características de cada una de estas dimensiones, se muestra el análisis de la situación de aprendizaje «Conociendo el círculo», así como la experiencia de puesta en práctica de dos situaciones de aprendizaje por profesoras en formación, que da cuenta de una valoración importante de las actividades contextualizadas y, en una de ellas, de un uso relevante de la cápsula.

Si bien la pandemia ya ha llegado a su fin y los estudiantes ya han regresado a sus clases presenciales, esta experiencia favoreció nuevas situaciones de aprendizaje que ya han asimilado tanto estudiantes como docentes, como son las situaciones de aprendizaje con actividades asincrónicas y un mayor uso de recursos tecnológicos en dichas situaciones de aprendizaje.

En la tabla 4 se exponen los resultados descritos en cuanto que sugerencias para los docentes, para que puedan ser utilizadas en situaciones de aprendizaje más allá del contexto de una pandemia.

Tabla 4.
Orientaciones docentes para situaciones de aprendizaje en contexto remoto

<i>Dimensiones</i>	<i>Orientaciones docentes</i>
Tarea matemática	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar tareas matemáticas contextualizadas con un uso variado de representaciones, que permitan la exploración y la comprensión de la naturaleza de los conceptos matemáticos. - Se recomienda trabajar con base en una misma tarea matemática, ya que permite a los estudiantes involucrarse en un mismo problema a lo largo de toda la ruta de aprendizaje. - Seleccionar tareas matemáticas que tengan más de un método de resolución y solicitar que se resuelvan de más de una manera.
Cápsulas	<ul style="list-style-type: none"> - Considerar el uso de cápsulas utilizando una grabación de pantalla, tanto para introducir un tema como para explicitar los propios procesos de pensamiento. - En una grabación de pantalla, explicitar de manera verbal la resolución de la tarea matemática. - Información acotada en las cápsulas. En caso de que sea mucha información, se pueden realizar dos cápsulas.
Interacción	<ul style="list-style-type: none"> - Proponer tareas matemáticas que sean de un alto nivel de complejidad para promover mayores niveles de razonamiento en los estudiantes. - Aumentar el nivel de exigencia de las preguntas a lo largo de la ruta de aprendizaje. Desde preguntas dirigidas a recopilar información hasta cuestiones que hagan evidente el uso de las matemáticas.
Evaluación	<ul style="list-style-type: none"> - Además de evaluaciones en documentos escritos, se sugiere que los estudiantes envíen mediante fotografías, videos explicativos o con su participación en foros y plataformas interactivas como Kahoot!, Menti o Quizizz la evidencia de su aprendizaje. - Se recomienda utilizar diversas herramientas tecnológicas para el envío de estas evidencias a lo largo de la ruta de aprendizaje. - Contemplar las evaluaciones formativas en formato tique de salida y mediante distintas herramientas tecnológicas: fotografías, mensajes de audio, mensajes escritos, etc.
Retroalimentación	<ul style="list-style-type: none"> - Promover retroalimentaciones con énfasis en los errores más frecuentes, con un uso de evidencias escritas y en formato video o videollamadas, y no apuntar a la retroalimentación únicamente de cara a la actividad de evaluación. - Para potenciar la retroalimentación con foco en la autorregulación, se sugiere preguntar a los alumnos al final de cada actividad: ¿qué se hizo? ¿Por qué este procedimiento funciona? U otra cuestión que apunte a esta autorregulación.

Fuente: elaboración propia.

REFERENCIAS

Borba, M. C. (2021). The future of mathematics education since COVID-19: Humans-with-media or humans-with-non-living-things. *Educational Studies in Mathematics*, 108(1), 385-400.
<https://doi.org/10.1007/s10649-021-10043-2>

Clements, D. y Sarama, J. (2004). Learning trajectories in mathematics education. *Mathematical Thinking and Learning*, 6(2), 81-89.
https://doi.org/10.1207/s15327833mtl0602_1

Fitzmaurice, O. y Ní Fhloinn, E. (2021). Alternative mathematics assessment during university closures due to Covid-19. *Irish Educational Studies*, 40(2), 187-195.
<https://doi.org/10.1080/03323315.2021.1916556>

- Iannone, P. y Simpson, A. (2011). The summative assessment diet: how we assess in mathematics degrees. *Teaching Mathematics and its Applications: An International Journal of the IMA*, 30(4), 186-196.
<https://doi.org/10.1080/03323315.2021.1916556>
- Montenegro, S., Raya, E. y Navaridas, F. (2020). Percepciones Docentes sobre los Efectos de la Brecha Digital en la Educación Básica durante el Covid-19. *Revista Internacional de Educación Para La Justicia Social*, 9(3), 317-333.
<https://doi.org/10.15366/RIEJS2020.9.3.017>
- Munoz-Rubke, F., Almuna, F., Duemler, J. y Velásquez, E. (2022). Mathematical tools for making sense of a global pandemic. *International Journal of Science Education*, Part B, 1-10.
<https://doi.org/10.1080/03323315.2021.1916556>
- Propuestas Educación Mesa Social Covid-19. (2020). *Didácticas para la proximidad: aprendiendo en tiempos de crisis*. http://oped.educacion.uc.cl/website/images/sitio/formacion/estudios/estudios/orientaciones%20ense%C3%B1anza%20remota/Mesa_Social_3B_Covid19_2020_Informe-didactica.pdf
- Simon, M. A. (1995). Reconstructing mathematics pedagogy from a constructivist perspective. *Journal for Research in Mathematics Education*, 26(2), 114-145.
<https://doi.org/10.2307/749205>
- Soto-Meza, C. E., Del Rosario Soto-Meza, M. y Vergaray, J. M. (2022). La educación virtual en el aprendizaje de la matemática durante la covid-19. Revisión teórica. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 4(2), 158-174.
- Trelles, C., Toalongo, X. y Alsina i Pastells, Á. (2022). Una actividad de modelización matemática en primaria con datos auténticos de la COVID-19. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(2), 193-213.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3472>
- Ministerio de Educación de Chile. (2020). *Fundamentación Priorización Curricular Covid-19*. Gobierno de Chile. https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-178042_recurso_8.pdf
- Zambrano, W. R., Medina, V. H. y García, V. M. (2010). Modelo de aprendizaje virtual para la Educación Superior (MAVES) basado en tecnologías web 2.0. *Mediaciones*, 8(10), 49-62.
<https://doi.org/10.26620/uniminuto.mediaciones.8.10.2010.49-62>

Design of Learning Situations for Mathematics in a Remote Context

Horacio Solar Bezmalinovic

Facultad de Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago. Chile

hsolar@uc.cl

In Chile, learning situations were designed for different subjects, including Mathematics, in response to the crisis generated by the COVID health emergency. The importance of using technological tools to outline a learning sequence in a virtual environment was highlighted, considering scenarios with different levels of connectivity for learning the disciplines in times of crisis. The design of the learning situations prioritized student engagement, utilized digital resources such as applets and video capsules for teaching, and employed different types of evaluative strategies that were consistent with the pandemic context. This study focuses on investigating the activities, resources, interactions, feedback, and evaluations used in designing remote Mathematics learning situations.

The study analyzed nine learning situations in a remote context, which were designed as part of a Mathematics education course for secondary school prospective teachers. Each learning situation was evaluated basing upon five dimensions: mathematical tasks, video capsules, interaction, evaluation, and feedback. To illustrate each dimension's characteristics, we analyze the designed learning situation as well as the future teachers experience while implementing two learning situations.

The results indicate that the nine learning situations analyzed contain contextualized mathematical tasks and incorporate the use of various representations and/or tools. Additionally, in eight out of the nine learning situations, the mathematical tasks facilitate the exploration and comprehension of the nature of mathematical concepts. In four learning situations, it is noted that representations, examples, and models are used strategically to explain content or provide clues for carrying out a mathematical task. Additionally, the video capsules promote the explicitness of one's own thinking processes via screen recordings or animated representations. In terms of teacher-student interaction, it is important to have an effective communication that focuses on monitoring the group's development through deliberate questioning and promoting high levels of mathematical reasoning. Moreover, it is important to interact with groups through questions that help students make progress in the mathematical task. The learning situations are evaluated by checking the results or justifications in the students' written productions. Formative evaluations prior to the final evaluation are infrequent. Four learning situations are representative of adequate feedback, by means of written evidence and in the form of video or video calls, emphasizing the most frequent errors. There was no feedback focusing on self-regulation.

Although the pandemic has ended and students have returned to face-to-face classes, it has provided new learning opportunities which have been incorporated by both students and teachers. These include asynchronous activities as well as the increasing use of technology in the learning process. The article presents the results as recommendations for teachers to use in remote learning situations beyond the pandemic context.



Película polimérica aplicada en un miniproyecto didáctico de sostenibilidad

Polymeric Film Applied in a Sustainability Teaching Mini-Project

Camila Pereira Grandini, Cristiane Renata Schmitt
Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Campus Santo Antônio da Patrulha – RS, Brasil.
camilagrandini@hotmail.com, cristianerschmitt@gmail.com

Aline Joana Rolina Wohlmuth Alves dos Santos
Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Campus Universitário Capão do Leão – RS, Brasil.
alinejoana@gmail.com

Patrícia Ignácio
Instituto de Educação Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Campus Santo Antônio da Patrulha. – RS, Brasil.
patricia.ignacio@furg.br

Gilber Ricardo Rosa
Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Campus Santo Antônio da Patrulha. – RS, Brasil.
gilberrosa@furg.br

RESUMEN • Este documento describe un miniproyecto de cinco semanas para la enseñanza de la química y la sostenibilidad. Las actividades incluyen la producción de películas poliméricas sostenibles a partir de quitosano y celulosa y su aplicación en la adsorción de colorantes alimentarios. Se cubren las habilidades y conceptos normalmente presentes en los cursos prácticos de química: uso de balanzas, cristalería volumétrica, técnicas de dilución, técnica de espectrofotometría UV-Vis y cálculos estequiométricos. Además, se presentan a los estudiantes los pasos habituales de investigación y desarrollo de nuevos materiales utilizados en los procesos de adsorción.

PALABRAS CLAVE: Película polimérica; Quitosano; Celulosa; Colorante alimentario; Adsorción.

ABSTRACT • This document describes a five-week mini-project for teaching chemistry and sustainability. Activities include the production of sustainable polymeric films from chitosan and cellulose and their application in the adsorption of food dyes. The skills and concepts normally present in practical chemistry courses are covered: use of balances, volumetric glassware, dilution techniques, UV-Vis spectrophotometry technique and stoichiometric calculations. In addition, students are introduced to the usual research and development steps for new materials used in adsorption processes.

KEYWORDS: Polymer film; Chitosan; Cellulose; Food dye; Adsorption.

Recepción: marzo 2023 • Aceptación: julio 2023 • Publicación: marzo 2024

CONSIDERACIONES INICIALES

La presente investigación se une a las discusiones de la pedagogía de proyectos, una metodología de enseñanza que tiene como objetivo enseñar a través de la experiencia. A partir de trabajos producidos por John Dewey, Ovide Decroly, Maria Montessori, Josette Jolibert, Fernando Hernández, entre otros investigadores enfocados en el estudio de las pedagogías activas, se busca promover acciones de intervención, exploración y comprensión de la realidad (Barbosa y Horn, 2008). Sus premisas se basan en: sentido e intencionalidad; problematizaciones y conexiones; acciones que involucran la razón, la emoción y la sensibilidad; articulación de las experiencias vividas con experiencias previas; resolución de problemas; investigación científica; integración curricular de las diferentes áreas del conocimiento; seguimiento del aprendizaje; eficacia social.

Según Bender (2014, p. 15), el aprendizaje basado en proyectos (ABP) puede caracterizarse «por el uso de proyectos auténticos y realistas, basados en una pregunta, tarea o problema altamente motivador y atractivo, para enseñar contenido académico a estudiantes en el contexto del trabajo cooperativo de resolución de problemas». Para Pasqualetto et al. (2017), además del trabajo cooperativo, el ABP desarrolla la habilidad de resolver problemas abiertos, que no tienen respuestas singulares y se dan a través de la interdisciplinariedad y la interacción entre disciplinas y contenidos.

Cabe señalar que, en esta metodología, se fomenta la participación activa de los estudiantes y se moviliza a los docentes para que actúen como guías y mediadores de los procesos de enseñanza y aprendizaje, que se dan a partir de la actividad intencional, planificada colectivamente. En este contexto, se producen proyectos para que los estudiantes «aprendan a estudiar, investigar, buscar información, ejercer la crítica, dudar, argumentar, opinar, pensar, gestionar aprendizajes, reflexionar colectivamente» (Barbosa y Horn, 2008, p. 34) y donde los errores se entienden «como el punto de partida de una nueva reflexión» (Lerner, 2002, p. 112).

A raíz de estos entendimientos, el estudio desarrollado aquí se llevó a cabo a través de un miniproyecto, que buscó experimentar la propuesta de ABP bajo el tema de medio ambiente y sostenibilidad, especialmente en lo que se refiere a la enseñanza de la química abordando el uso de películas de origen sustentable y con aplicación en la remoción de colorantes alimentarios del medio acuoso, en clases de Curso Técnico en Química de los niveles medio y superior. Al respecto, Rodríguez-Sandoval y Cortés-Rodríguez (2010) señalan que la función primordial de las instituciones de educación superior, particularmente en las áreas de ciencias e ingenierías, es la formación de profesionales que actúen bajo las premisas del espíritu y el método científico y los valores de convivencia, movilizados por la capacidad de aprender continuamente, competencias imprescindibles en las sociedades contemporáneas.

La elección de esta línea de investigación se justifica porque el público objetivo está formado predominantemente por estudiantes que trabajan o realizan prácticas en industrias de la región en los sectores de alimentación y calzado. Así, el miniproyecto didáctico buscaba acercar el aula a la realidad de los alumnos. Además, el ABP promueve el trabajo en equipo, fomenta la criticidad, la creatividad y la autonomía a partir del trabajo colaborativo, de modo que brinda oportunidades para la resolución de problemas relacionados con la vida cotidiana de los estudiantes, para que se apropien del objeto de estudio y apliquen los conocimientos producidos (Bacich y Moran, 2018).

El campo de investigación que aborda el desarrollo y la aplicación de películas poliméricas delgadas de origen sostenible es sumamente amplio (Knoll y Advincula, 2011). En química, existen referencias a películas destinadas a la catálisis (Faria et al., 2014; Grandini et al., 2023; Oliveira et al., 2014), la adsorción (Dotto et al., 2013), la purificación de agua (Jackson et al., 2021), el desarrollo de celdas solares (Kamel et al., 2022), la protección UV de piezas fabricadas mediante impresión 3D (Zheng et al., 2022), el envasado y conservación de alimentos (Silva et al., 2022) y la inhibición de la corrosión de metales (Güven y Ozkazanc, 2022), entre muchas otras aplicaciones. La importancia de este tema

es incuestionable; sin embargo, se ha abordado poco en el contexto académico de los estudiantes brasileños de química y áreas afines y, menos aún, cuando se trata de su articulación con la pedagogía de proyectos.

En un país con una vasta producción agrícola y, por lo tanto, una gran generación de residuos de biomasa, se deben impulsar estrategias de valorización de residuos (Rosa et al., 2019) y de divulgación del conocimiento en la formación académica (Fonseca et al., 2020) basadas en experiencias, intervenciones, vivencias y comprensiones de la realidad. Además de la necesidad constante por parte del sector productivo de reducir la producción de residuos y el costo de los procesos de fabricación, es necesario llenar los vacíos (es decir, resolver la discrepancia entre lo que se enseña en la escuela y lo que sucede y es necesario saber en la industria) en la formación de los estudiantes de química a nivel técnico en términos de preparación real para el trabajo en el sector industrial.

En este sentido, nuestro grupo de investigación se ha propuesto el desarrollo de actividades didácticas experimentales, en forma de miniproyectos inspirados en la pedagogía de proyectos y las teorías del ABP, que abordan la química general (Peixoto et al., 2012), orgánica (Dalmás et al., 2013; Oliveira et al., 2015) y físico-química (Fonseca et al., 2020; Rosa et al., 2018; Schmitt et al., 2018; Vargas et al., 2016). Dichas propuestas metodológicas culminan en un mayor compromiso de los estudiantes en los procesos de enseñanza y aprendizaje, en promover la correlación de la materia trabajada con otros componentes curriculares afines, los contextos sociales de los estudiantes (dos Santos y de Menezes, 2020; Quive et al., 2021) y las necesidades emergentes de la sociedad.

Así, con el objetivo de alinear la formación de profesionales que trabajan directamente con conocimientos que involucran el campo de la química con las tendencias pedagógicas contemporáneas y los desafíos del mercado laboral, se concibió un miniproyecto para la enseñanza de la química. Para ello, se enumeraron los polímeros de quitosano y celulosa. El quitosano es un polisacárido derivado de la desacetilación de la quitina, que a su vez es sumamente abundante, ya que forma exoesqueletos, por ejemplo, de crustáceos marinos (Kumari y Kishor, 2020). Así, la investigación de nuevos usos del quitosano corrobora la necesidad de la industria pesquera en la valoración de los residuos generados. Asimismo, la celulosa es un polisacárido extremadamente abundante, presente en las plantas, y se destaca por su bajo costo y amplia gama de aplicaciones (Heinze, 2016).

El uso de películas de quitosano y celulosa en procesos de adsorción de colorantes es una aplicación interesante y un buen objeto de estudio, debido a que los procesos de adsorción están muy extendidos en la industria química como operación unitaria (Gauto y Rosa, 2011), siendo didácticamente factibles por su facilidad de ejecución y bajo costo (Fonseca et al., 2020). En este estudio, los colorantes azul brillante y amarillo tartrazina se incluyeron debido a su amplio uso en la industria alimentaria (Hamidi et al., 2021).

Así, este artículo describe un miniproyecto para la enseñanza de la química que alinea la sostenibilidad, la valorización de la biomasa, la calificación y la formación profesional de los estudiantes con el tema transversal del medio ambiente, incluido en los parámetros curriculares brasileños, bajo los supuestos de la pedagogía de proyectos (Brasil, 1998). Las acciones fueron planificadas para estudiantes de cursos de química de nivel medio (técnico) y superior (Licenciatura en Química, Química Industrial, Licenciatura en Química e Ingeniería Química), con una duración de cinco semanas.

Por ello, el objetivo de este informe es presentar esta experiencia exitosa que utiliza el ABP para la docencia investigativa de nuevos materiales adsorbentes a partir de biomasa, desarrollada en medio de la pandemia del COVID-19.

En las siguientes secciones se presentará una breve revisión del ABP, la metodología de investigación, así como la discusión de los resultados y las consideraciones finales del estudio.

APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS

Los educadores de la escuela nueva, a partir del siglo XIX, llevaron al campo de la educación un fructífero debate sobre la educación centrada en el alumno y los métodos y estrategias que favorecerían los procesos activos de aprendizaje. Tomando la experiencia como eje central, la educación y el aprendizaje centrados en el estudiante, según Dewey (1959, p. 83), implican «la reconstrucción o reorganización de la experiencia que aumenta el significado de la experiencia y que aumenta la capacidad de dirigir el curso de la experiencia posterior». A partir de esta propuesta, se desarrollaron metodologías orientadas al aprendizaje por descubrimiento, a través de prácticas basadas en la investigación, articuladas al contexto de los estudiantes y sus necesidades.

Dotados de metodologías activas, se basan en el protagonismo, la cooperación y la acción-reflexión del estudiante (Filatro y Cavalcanti, 2018), además de involucrarse en la construcción del conocimiento a través de la interacción con la realidad. Con el objetivo de romper con las estrategias tradicionales de enseñanza, tales metodologías –entre las que mencionamos el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje cooperativo y el ABP–, permiten «un aprendizaje por descubrimiento vinculado directamente a las necesidades funcionales y vitales del estudiante» y «respetar la diversidad en cuanto a ritmos y tipos de aprendizaje» (Rodríguez y Vílchez, 2015, p. 221).

En términos generales, el ABP constituye una perspectiva de enseñanza y aprendizaje que involucra a los estudiantes en procesos investigativos. Con base en este supuesto, los estudiantes se movilizan para buscar soluciones a problemas, refinar preguntas, debatir ideas, plantear hipótesis, planificar acciones, vivenciar situaciones, recolectar y analizar datos, sistematizar y dar a conocer conclusiones y resultados, mejorar productos y procesos (Blumenfeld et al., 1991). Por tanto, colabora eficazmente en el desarrollo de habilidades en la resolución de problemas de la vida real (Willard y Duffrin, 2003).

Para la organización del trabajo pedagógico basado en el ABP, es necesario plantear un problema o una pregunta no restringida que sirva como lema investigativo, articulado a un escenario del mundo real. Lo que, en cierta medida, posibilita la asociación entre diferentes disciplinas y colabora para ampliar la cosmovisión de los estudiantes. En un proceso activo-investigativo, el hacer y el aprender son inseparables.

En el ABP, el aprendizaje se considera proposicional y autónomo, ya que los estudiantes aprenden en la medida en que buscan soluciones a los problemas formulados. Basado en el trabajo en equipo, propicia un tipo de aprendizaje que promueve la crítica, la colaboración y la búsqueda de respuestas activas (Martínez y García, 2018). En este proceso investigativo, los estudiantes juegan un papel activo y son vistos como corresponsables de la producción y ejecución de todas las etapas del proyecto. Al final del proceso, presentarán nuevas habilidades, ampliarán su cosmovisión y matizarán su nivel de desarrollo conceptual.

Cabe señalar que este enfoque postula un conjunto de prácticas y saberes docentes en los que el docente actúa como mentor, mediador, colaborador, guía y apoyo.

Eso porque,

En la educación basada en proyectos, los docentes necesitan crear espacios para el aprendizaje dando acceso a la información, soportando la enseñanza por la instrucción, modelamiento y guía a los estudiantes para manejar apropiadamente sus tareas, animar a los estudiantes a utilizar procesos de aprendizaje metacognitivos, respetar los esfuerzos grupales e individuales, verificar el progreso, diagnosticar problemas, dar retroalimentación, y evaluar los resultados generales (Rodríguez-Sandoval y Cortés-Rodríguez, 2010, p. 146).

Desde esta perspectiva, es necesario que los docentes se liberen de las perspectivas y prácticas tradicionales, donde desempeñan el papel de especialistas en contenidos (Marham et al., 2008). A diferencia de las actividades convencionales, los proyectos pretenden fundamentar la docencia en un

tema motor que moviliza el trabajo autónomo, activo, participativo, creativo, colectivo y colaborativo, basado en «los principios de negociación igualitaria, responsabilidad individual, acción cooperativa y toma de decisiones consensuada» (Vergara-Ramírez, 2015, p. 146).

A partir de las premisas del ABP, el miniproyecto surge como una forma de vivenciar esta metodología, articulando los saberes de la química con los contextos de los estudiantes de carreras técnicas y universitarias, como se detalla en los siguientes apartados.

METODOLOGÍA

Se trata de una investigación cualitativa exploratoria (Gil, 2008), cuyo objetivo fue experimentar la propuesta del ABP bajo el tema de medio ambiente y sostenibilidad, especialmente en lo que se refiere a la enseñanza de la química abordando el uso de películas de origen sustentable y con aplicación en la eliminación de colorantes alimentarios del medio acuoso. El público objetivo para la realización de este miniproyecto didáctico fueron adolescentes (16-18 años) de familias de clase media-baja ya involucradas en el sector industrial de alimentos y calzado y que cursaban el tercer año del Bachillerato Técnico en Química en una escuela en la región metropolitana de Porto Alegre (Rio Grande do Sul, Brasil). Cabe señalar que todos los estudiantes aceptaron participar en el estudio y firmaron un formulario de consentimiento libre e informado.

Para ello, se sistematizaron las actividades del miniproyecto en 5 encuentros, distribuidos en 5 semanas. En la primera semana, el foco se centró en la introducción teórica sobre el tema investigado y en invitar a los estudiantes a participar en la actividad didáctica propuesta. La primera clase experimental tuvo lugar en la segunda semana del miniproyecto didáctico, con la producción de la película de quitosano y celulosa (PQC). En la tercera semana, hubo una reunión teórica para discutir los resultados de la caracterización de la PQC producida. En la cuarta semana, los estudiantes regresaron al laboratorio para las pruebas de adsorción de colorantes alimentarios. Finalmente, en la última semana, los resultados encontrados por los estudiantes fueron presentados en forma de seminario.

En la tabla 1 se presentan los objetivos que debían alcanzar los estudiantes con la ejecución del mencionado miniproyecto didáctico.

Tabla 1.
Objetivos para el miniproyecto didáctico

<i>Encuentro</i>	<i>Objeto de conocimiento</i>	<i>Objetivos</i>
1	Polímeros naturales de quitosano y celulosa, colorantes alimentarios, adsorción, espectrofotometría UV-Vis.	Comprender el fenómeno de adsorción de los colorantes alimentarios. Determinar la eficiencia del adsorbente mediante la técnica de espectrofotometría UV-Vis.
2	Preparación de la película de quitosano y celulosa.	Producir la película que servirá como adsorbente para colorantes alimentarios.
3	Caracterización de la película de quitosano y celulosa.	Desentrañar la estructura superficial de la película producida para comprender el mecanismo de adsorción involucrado.
4	Adsorción de colorantes alimentarios en la película de quitosano y celulosa.	Obtener la curva de calibración para la lectura de colorantes alimentarios mediante espectrofotometría UV-Vis. Evaluar la adsorción de colorantes alimentarios por la película de quitosano y celulosa.
5	Presentación de los resultados encontrados en la investigación.	Exponer los datos generados en la adsorción de colorantes alimentarios utilizando la película de quitosano y celulosa, comparándolo con la literatura.

El miniproyecto que sigue fue probado en 2021. 10 estudiantes (5 grupos de trabajo con 2 participantes) de la disciplina de Análisis Instrumental (tercer año, Escuela Secundaria Vocacional) participaron de las actividades propuestas, como se describe a continuación. Sin embargo, la metodología propuesta puede ser aplicable en cursos de pregrado relacionados con el campo de la química. Es importante señalar que la actividad se realizó en medio de la pandemia del COVID-19, lo que implicó la implementación de todos los protocolos de seguridad establecidos por el colegio. Cabe señalar que, aun frente a la adversidad, el compromiso de los estudiantes fue sorprendente, dada su falta de actividades experimentales.

En la ejecución de las clases experimentales (Semanas #2 y #4), para cada grupo de estudiantes se utilizaron: un vaso de precipitados de 100 ml, una barra agitadora magnética (~1,5 cm), una placa de Petri (diámetro ~8 cm), una pipeta graduada de 5 ml, matraces aforados de 50 y 250 ml, pipetas aforadas de 5, 10 y 25 ml, cilindros graduados de vidrio de 25 y 50 ml, una cubeta de vidrio de 1 cm, espátulas y vidrios de reloj. Los reactivos y solventes utilizados fueron quitosano en polvo, celulosa microgranulada, solución de ácido acético 0,1 M, colorante alimentario azul brillante y amarillo tartrazina en polvo, cinta indicadora de pH y agua destilada. En las etapas experimentales realizadas por los alumnos, una balanza analítica, un plato agitador, un termómetro de laboratorio (hasta 100 °C) y un espectrofotómetro específico para rango ultravioleta y visible (UV-Vis) de la marca Dynamica, modelo HALO SB-10. En los análisis de caracterización de las películas realizados por el Centro Analítico de la Universidad Federal de Rio Grande (FURG), se utilizaron técnicas de microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Las micrografías de las películas se obtuvieron en un equipo JEOL, modelo JSM 6610, operando a 20 kV y con una magnificación de 200x, y las muestras fueron recubiertas con oro antes de la realización de la prueba de caracterización. La determinación de las bandas en la región infrarroja se realizó en un equipo PerkinElmer Spectrum 100, donde las muestras de película fueron leídas directamente en la sonda de reflectancia total atenuada (ATR), con 45 barridos, en la región de 400 a 4000 cm^{-1} .

Guion de clases prácticas

A continuación, se presentan los guiones de las etapas experimentales del miniproyecto didáctico. Cada grupo de laboratorio (2 alumnos) siguió estrictamente la «receta» para preparar los adsorbentes (películas), adsorbatos (soluciones de colorantes alimentarios) y, propiamente, la prueba de adsorción.

Semana #2: Producción de la película de quitosano y celulosa

1. Preparación de la solución 1: Pesar 0,2 g de quitosano directamente en el vaso de precipitados y agregar 1,7 ml de ácido acético, 0,1 M. Posteriormente, agregar 10 ml de agua destilada y homogeneizar en agitador magnético durante 1 h (60 °C).
2. Preparación de la solución 2: Pesar 0,2 g de celulosa microgranulada directamente en el vaso de precipitados. Agregar 10 ml de agua destilada y mezclar. Mezclar la solución 2 con la solución 1 y verter en una placa de Petri. Esperar 12 h para la formación de la película de quitosano y celulosa (PQC).

Semana #4: Adsorción de colorantes alimentarios en la PQC

1. Preparación de solución madre de colorante: Producir soluciones de ambos colorantes, azul brillante (AB) y amarillo tartrazina (AT), con una concentración de 500 mg/l^{-1} . Para hacerlo, pesar 125 mg de cada tinte directamente en vasos de precipitados separados. Agregar 5 ml de

- ácido acético de 0,1 M y mezclar. Verificar si la solución alcanzó $\text{pH} = 3$. De ser así, transferir a un matraz aforado de 250 ml y completar el volumen con agua destilada. Si el pH es superior a 3, añadir gota a gota una solución de ácido acético de 0,1 M hasta alcanzar el valor adecuado. Almacenar las soluciones madre en la oscuridad.
2. Preparación de la solución de trabajo de colorantes para ensayos de adsorción: Diluir las soluciones madre de colorantes AB y AT a una concentración final de 250 mg/l^{-1} (250 ppm). Para ello, pipetear alícuotas de las soluciones madre con una pipeta volumétrica de 25 ml y transferirlas a diferentes matraces volumétricos de 50 ml. Hinchar y homogeneizar las soluciones.
 3. Preparación de la curva de calibración de colorantes: Diluir las soluciones de trabajo de los colorantes (250 ppm) AB y AT para obtener los puntos de lectura de la curva de calibración. Así, para el colorante AB, preparar diluciones de 5, 10, 20, 30 y 40 ml de la solución de 250 ppm en matraces volumétricos de 50 ml. Usar pipetas volumétricas de 5 y 10 ml para retirar alícuotas de acuerdo con el volumen requerido. Leer también la solución de trabajo (250 ppm) para obtener el último punto de la curva de calibración. Verter cada solución en una cubeta de vidrio de 1 cm y leerla en un espectrofotómetro UV-Vis utilizando una longitud de onda (λ) de 408 nm. Para el colorante AT, proceder de la misma manera que arriba, comenzando con la solución de 250 ppm y buscando producir puntos en la curva de calibración con concentraciones de 25, 50, 100, 150 y 200 ppm. Verter cada solución en una cubeta de vidrio de 1 cm y leerla en un espectrofotómetro UV-Vis usando una longitud de onda (λ) de 425 nm.
 4. Prueba de adsorción de colorantes: Transferir 50 ml de la solución de 250 ppm de cada colorante a diferentes vasos de precipitados de 100 ml. En cada vaso de precipitados, agregar una barra de agitación magnética y un trozo de PQC (1 cm \times 1 cm) preparado en la clase práctica anterior (Semana #2). Agitar el sistema lentamente durante 1 hora a temperatura ambiente. Paralelamente, revolver una pieza idéntica de PQC en agua durante el mismo tiempo para formar la prueba en blanco (PB) del sistema. Verter la solución en una cubeta de vidrio de 1 cm y leerla en un espectrofotómetro UV-Vis utilizando longitudes de onda de 408 nm (para AB) y 425 nm (para AT). Leer el PB para descartar interferencias en la absorbancia causadas por la PQC.

La evaluación del aprendizaje producido por los estudiantes a partir del miniproyecto desarrollado y la estrategia didáctica presentada se realizó a través de las preguntas planteadas por los estudiantes, así como el nivel de los seminarios presentados y los informes entregados al final de la actividad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El tema transversal de medio ambiente y sostenibilidad fue elegido para ser abordado de forma experimental, en relación directa con los productos de la biomasa, como el quitosano y la celulosa (figura 1), seleccionados para la realización de la PQC. Dicha película fue evaluada como adsorbente de contaminantes acuosos, en este caso de colorantes que pueden convertirse en contaminantes cuando están presentes en efluentes industriales, ejemplificados en este trabajo por colorantes alimentarios.

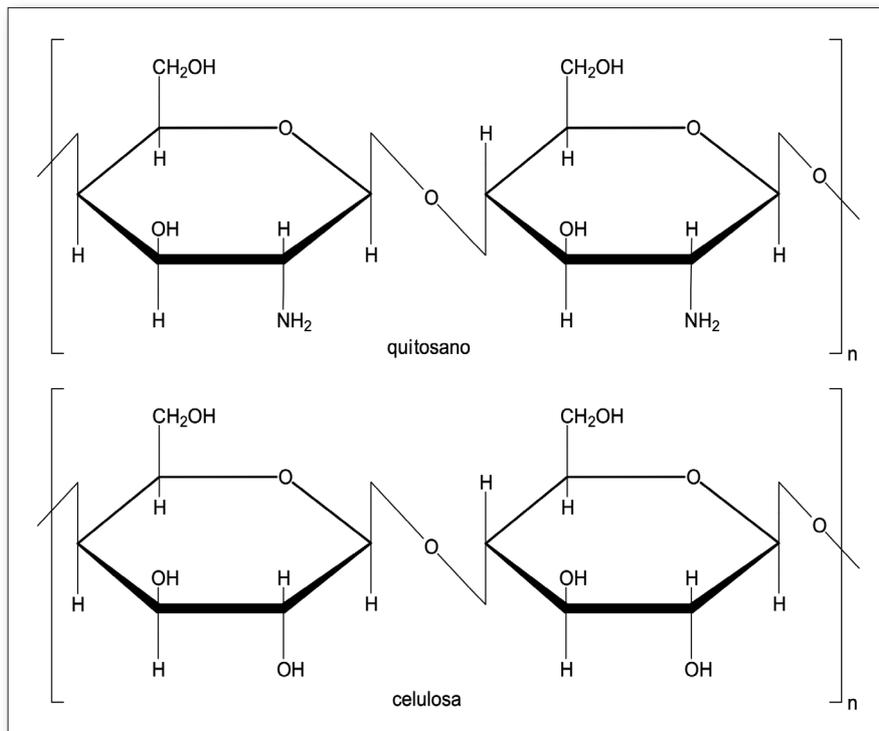


Fig. 1. Estructura química de los polímeros de quitosano (arriba) y celulosa (abajo).

La idea de estudiar y realizar acciones sostenibles y viables en el ámbito escolar fue la base de este miniproyecto, ya sea con la producción de adsorbentes con polímeros de origen natural, o con el uso del producto en el tratamiento de efluentes. La actividad realizada se caracterizó como una acción de investigación y formación de mano de obra técnica, con el fin de llenar un vacío escolar con respecto a la demanda de la industria, que se realizó de acuerdo con los datos contenidos en la tabla 2.

Tabla 2.
Resumen del miniproyecto docente desarrollado

<i>Semana</i>	<i>Tipo de clase</i>	<i>Tiempo (h)</i>	<i>Contenido</i>	<i>Resultados del aprendizaje</i>
1	Teórica	2	Contextualización sobre quitosano, celulosa, fabricación de películas delgadas, colorantes alimentarios, adsorción, principios de espectrofotometría UV-Vis.	Comprensión conceptual a través de la explicación del equipo directivo de los temas tratados en el miniproyecto didáctico.
2	Experimental	4	Elaboración de la PQC. Envío de muestras para caracterización.	Habilidades de manipulación de laboratorio desarrolladas a través de técnicas volumétricas y gravimétricas empleadas en la preparación de soluciones.
3	Teórica	2	Discusión de los resultados de la caracterización de la PQC.	Comprensión conceptual de la superficie de la PQC mediante la interpretación de los datos analíticos encontrados.

<i>Semana</i>	<i>Tipo de clase</i>	<i>Tiempo (h)</i>	<i>Contenido</i>	<i>Resultados del aprendizaje</i>
4	Experimental	4	Elaboración de la curva de calibración de colorantes alimentarios y su adsorción en la PQC.	Habilidades de manipulación de laboratorio desarrolladas a través de las técnicas cuantitativas empleadas en la preparación y lectura de la curva de trabajo, así como en la prueba de adsorción.
5	Teórica	2	Presentación de resultados en forma de seminario y memoria de clase práctica.	Habilidades de razonamiento científico, multiplicación y difusión de los conocimientos adquiridos a partir de las experiencias vividas en la ejecución del miniproyecto didáctico. Formación crítica para la vida académica y profesional incrementada mediante la sensibilización en el tema de la sostenibilidad.

La tabla 2 muestra que los aprendizajes esperados fueron consistentes con la formación de técnicos en química en el nivel secundario y también con otros miniproyectos docentes desarrollados por nuestro grupo de investigación para los niveles de educación secundaria y superior (Dalmás et al., 2013; Fonseca et al., 2020; Oliveira et al., 2015; Peixoto et al., 2012; Rosa et al., 2018; Schimitt et al., 2018; Vargas et al., 2016). Así, en la primera semana del miniproyecto didáctico, se realizó una clase teórica (2 h), contextualizando a los alumnos con la propuesta y los impactos de la actividad industrial en el medio ambiente. Los temas del quitosano, la celulosa, la preparación de películas poliméricas, los colorantes alimentarios y los principios de la espectrofotometría UV-Vis fueron discutidos con la complejidad adecuada al público objetivo y la actividad experimental que se desarrollaría. La evaluación de la comprensión por parte de los alumnos de los contenidos trabajados se basó en las cuestiones planteadas por ellos durante la clase. En esta etapa del miniproyecto didáctico surgieron preguntas como las siguientes: «¿Cualquier polímero puede servir como adsorbente?»; «¿Puede la película del quitosano y celulosa adsorber algún adsorbato?»; «Para que ocurra la adsorción, ¿debe haber una interacción química entre el adsorbente y el adsorbato?»; «Si la solución de colorante es demasiado oscura, ¿puedo leerla directamente en el espectrofotómetro UV-Vis?», entre otras. Para resolver tales dudas, el profesor que realizaba la actividad siempre hacía las aclaraciones necesarias.

En la segunda semana, los alumnos iniciaron la parte experimental del miniproyecto didáctico. La reunión comenzó con una discusión del guion de la clase práctica entregado por el profesor, donde se advierte sobre los cuidados en la obtención de la PQC. Como la preparación de las películas solo se obtiene después de 12 h, los estudiantes acudieron al laboratorio al día siguiente para confirmar la formación de la PQC (figura 2) y recolectar muestras para su caracterización superficial. Dichos análisis fueron enviados por el profesor al Centro de Análisis de la FURG y tuvieron como objetivo evaluar la existencia de grupos funcionales superficiales en el adsorbente, así como la textura superficial de la película. Con esta información, los estudiantes podrían proponer el mecanismo involucrado en el paso de adsorción de los colorantes alimentarios.



Fig. 2. Muestra de PQC realizada por un grupo de alumnos en el mini-proyecto didáctico.

La tercera semana de actividades consistió en discutir los resultados obtenidos en la etapa de caracterización de la PQC. Para ello, se confrontaron los principios de adsorción con la estructura molecular de la película producida. A continuación, se mostró el resultado encontrado por un grupo de estudiantes para la caracterización de la PQC por microscopía electrónica de barrido (SEM, figura 3) y espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR, figura 4).

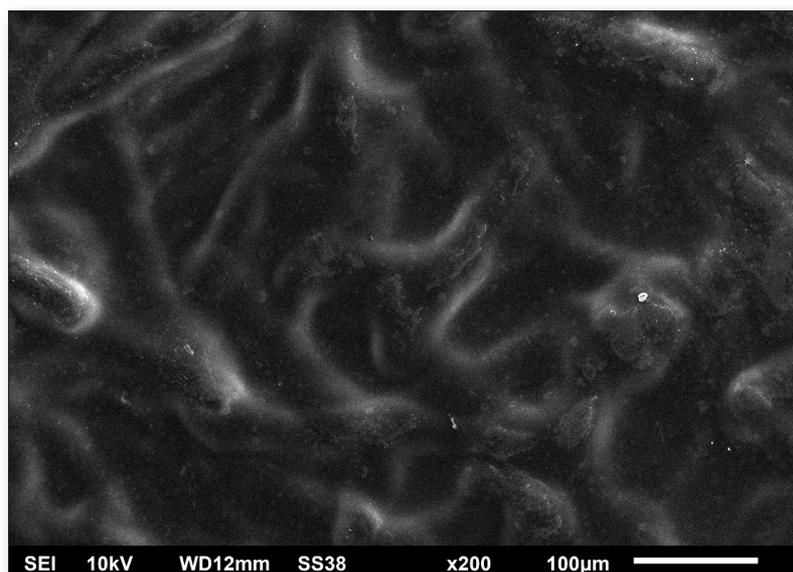


Fig. 3. Micrografía obtenida de una muestra de PQC con un aumento de 200x.

La figura 3 muestra que la superficie de la PQC es irregular, con rebajes capaces de servir como hoyos o «trampas», como lo menciona un grupo de estudiantes, quienes mencionaron que estos «atrapan» los colorantes en la etapa de adsorción. En este punto de la ejecución del miniproyecto didáctico, el docente trajo otros ejemplos de adsorbentes muy conocidos, como el carbón activado (Fonseca et al.,

2020), para que los alumnos confrontaran sus resultados de caracterización superficial, comparando los análisis realizados en diferentes sólidos.

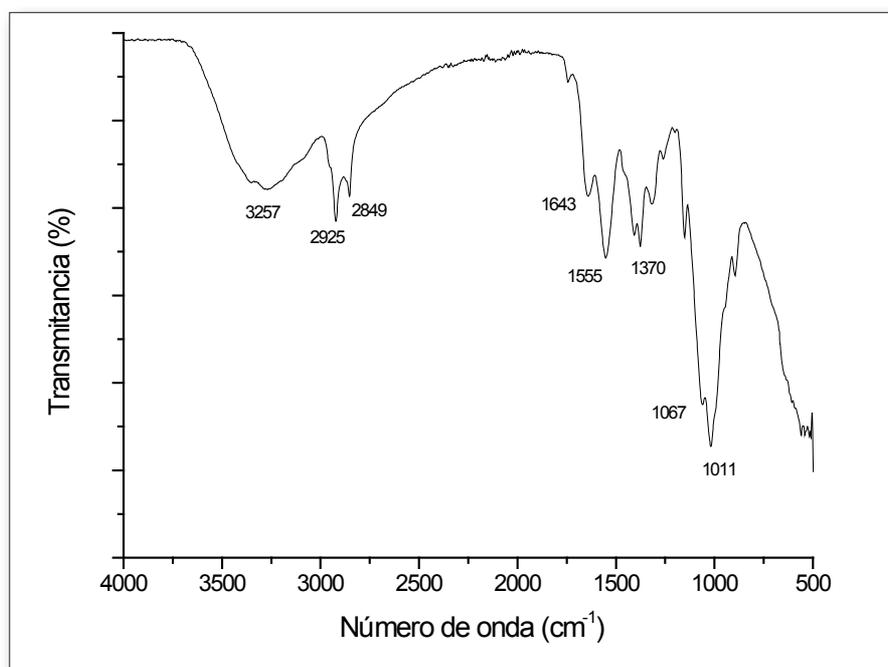


Fig. 4. Espectro FTIR de la PQC.

Las estructuras del quitosano y la celulosa son muy similares, diferenciándose únicamente por la presencia del grupo amino (NH_2) y los restantes grupos acetamida ($-\text{N}(\text{H})\text{C}(\text{O})\text{CH}_3$) en el quitosano derivado de la quitina. En la figura 4 es posible observar bandas características de quitosano (Dotto et al., 2013) y celulosa (Fonseca et al., 2020) existentes en la PQC. La discusión estuvo guiada por la identificación y relación de los grupos funcionales vistos en la figura 1 con las bandas características encontradas en la figura 4. La banda ancha existente en 3257 cm^{-1} está asociada con los grupos O-H y N-H. En el rango de $2925\text{-}2849\text{ cm}^{-1}$ se pueden observar interacciones de elongación del enlace C-H. La señal correspondiente al estiramiento del carbonilo se evidencia a 1643 cm^{-1} . Las bandas ubicadas en 1555 cm^{-1} y 1067 cm^{-1} se pueden asociar con elongación del enlace C-N. Las señales observadas en la región de 1370 cm^{-1} se refieren a CH_2 . Y, finalmente, la banda en la región de 1011 cm^{-1} se puede asociar con la elongación C-O de los enlaces glucosídicos.

Los alumnos participantes quedaron encantados con la información extraída de los ensayos de caracterización de películas poliméricas. La técnica analítica de SEM no se aborda en el Curso Técnico en Química en el que se aplicó el miniproyecto didáctico. La técnica FTIR, por otro lado, se usa solo de manera introductoria en las disciplinas de química orgánica. Así, la etapa de caracterización y discusión de los resultados mediante SEM y FTIR fue como «un verdadero juego de científicos», según el relato de un estudiante participante.

Tras la elucidación de la composición superficial de la PQC, al final de la tercera semana del miniproyecto didáctico, todos los alumnos estaban convencidos de que la porosidad y la existencia de grupos funcionales polares en la película podían producir un potencial adsorbente. Se llegó a esta conclusión luego de comparar los resultados obtenidos en la caracterización de las películas por cada grupo de estudiantes con la literatura científica indicada (Fonseca et al., 2020).

La etapa experimental de adsorción (cuarta semana del miniproyecto didáctico) se inició con la selección de los colorantes alimentarios azul brillante (AB) y amarillo tartrazina (AT) que se muestran en la figura 5.

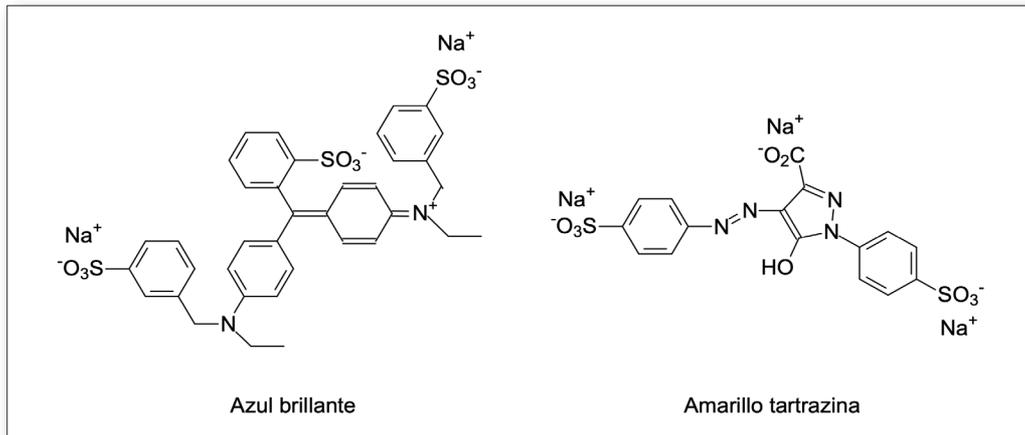


Fig. 5. Estructura molecular de los colorantes alimentarios utilizados en la investigación.

Esta elección de adsorbatos se basó en la asociación que la escuela desarrolla con la industria alimentaria local. De esta forma, los alumnos prepararon las soluciones de colorantes y las curvas de calibración adecuadas para lectura mediante espectrofotómetro UV-Vis, tal como se describe en el guion de las clases prácticas (véase el apartado de «Metodología»). A continuación, se muestran los resultados obtenidos por un grupo de estudiantes en la elaboración de curvas de calibración para ambos colorantes (figuras 6 y 7).

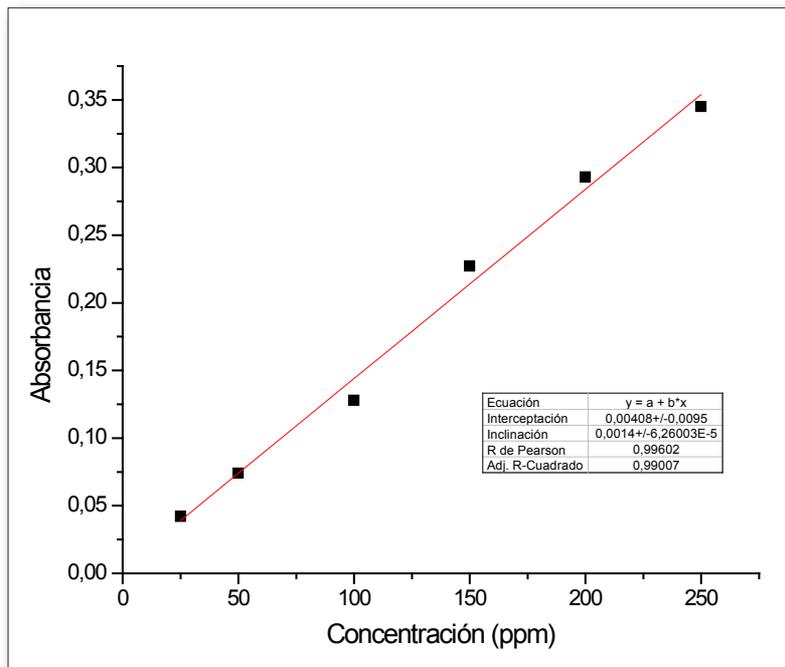


Fig. 6. Curva de calibración del colorante AB.

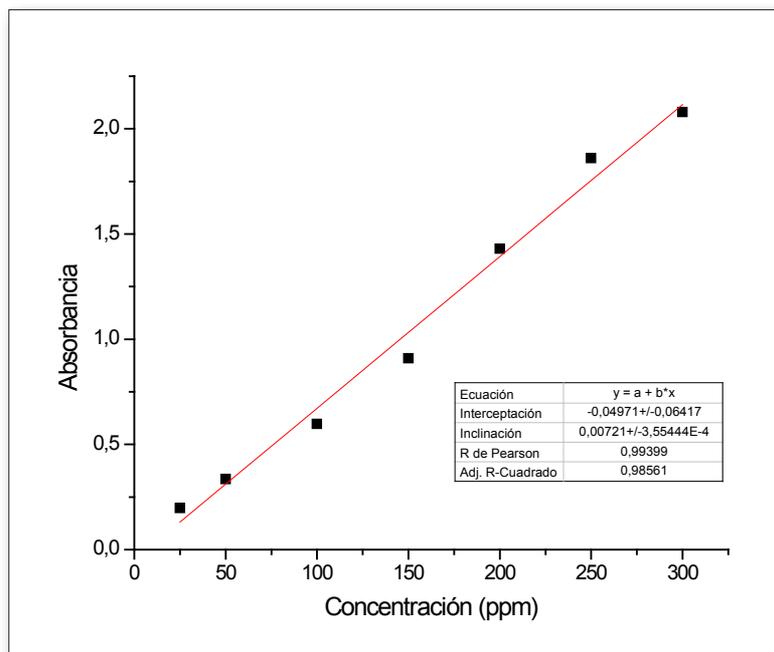


Fig. 7. Curva de calibración del colorante AT.

Con referencia a las figuras 6 y 7, es posible observar que el grupo de estudiantes que proporcionó sus curvas de calibración tuvo una mayor dificultad para producir un buen resultado (R^2 más cercano a 1) para el colorante AT. Esto, en cierto modo, era de esperar, dada la inexperiencia de los estudiantes con la técnica de dilución y el uso de matraces volumétricos. El procedimiento estándar sería rehacer los puntos de lectura fuera de curva que, en el caso de la figura 7, serían el cuarto y penúltimo punto, 150 y 250 ppm, respectivamente. Sin embargo, esto no se hizo debido al factor tiempo. Por lo tanto, solo se comentó a los alumnos que lo ocurrido aumentaría el error experimental del proceso.

Después de esta reunión de laboratorio, los estudiantes cortaron un trozo de PQC (1×1 cm, ~ 80 mg), añadieron las soluciones de colorante medio diluidas y agitaron en una placa magnética (1 h). Posteriormente, los estudiantes retiraron las piezas de PQC y procedieron a leer las soluciones mediante espectrofotometría UV-Vis. Se produjo una prueba en blanco (PB), que constaba únicamente de la PQC con un volumen idéntico de agua destilada, para reducir el error en la lectura de absorbancia. Cada grupo de estudiantes realizó la prueba con los dos colorantes (AB y AT). Se pueden obtener más detalles en el guion de clases prácticas en el apartado de «Metodología».

Al finalizar la actividad de laboratorio, los alumnos mostraron los resultados del proceso de adsorción al docente. La tabla 3 muestra los valores encontrados por el mismo grupo de estudiantes que produjeron las curvas de calibración para los colorantes AB y AT, presentadas anteriormente, utilizando sus respectivas ecuaciones de línea recta.

Tabla 3.

Resultados encontrados en la adsorción de colorantes AB y AT por un grupo de estudiantes*

Colorante	$A_{\text{solución}}$	A_{PB}	Ecuación de línea	C_{residual} (ppm)	% eliminación
AB	0,282	0,011	$A = 0,0014C + 0,00408$	190,64	23,74
AT	0,619	0,011	$A = 0,00721C - 0,04971$	91,35	63,46

*Datos: La temperatura del laboratorio en la ejecución del experimento fue de 25 °C.

La tabla 3 también muestra que la PQC fue menos eficiente en la adsorción del colorante AB. Para concluir, el grupo de trabajo restó el valor de absorbancia de la prueba en blanco (A_{PB}) de la absorbancia de la solución después de la adsorción ($A_{\text{solución}}$), ubicando el resultado como «A» en la ecuación de la línea. Con la resolución de la ecuación de la línea, los estudiantes encontraron el valor de la concentración residual de colorante en la solución (C). Comparando estos datos con el valor de concentración inicial (250 ppm), fue posible determinar el porcentaje de colorante presente en la solución y, por diferencia, la cantidad eliminada (% eliminación). Se realizó el mismo proceso para el colorante AT, lo que resultó en una eliminación del 63,46 % del colorante (unas 2,6 veces mayor que el colorante AB).

Los otros grupos de trabajo encontraron resultados similares en la eliminación de colorantes. Para AB, el porcentaje eliminado de la solución osciló entre 17 y 24 %. En cuanto al colorante AT, el rango encontrado fue de 58-64 %. Tales oscilaciones en los porcentajes de remoción de colorante fueron satisfactorias y, sorprendentemente, bajas, dado el público objetivo y la naturaleza de la actividad, ya que, para estudiantes de secundaria con poca experiencia en manipulación de laboratorio (uso de cristalería, diluciones...), uno esperaría resultados más discrepantes.

Otra forma de expresar la capacidad de adsorción de un material es la relación entre la masa de adsorbato (en miligramos) y la masa de adsorbente (en gramos), determinada en el equilibrio del sistema (Dotto et al., 2013). En este miniproyecto didáctico no se evaluó el tiempo ideal para alcanzar el equilibrio en la etapa de adsorción debido a la priorización didáctica de la actividad y al factor del tiempo disponible. Sin embargo, se determinó la capacidad de adsorción de la PQC para los colorantes alimentarios utilizados, para los que se generaron valores de 37,1 mg g⁻¹ y 99,1 mg g⁻¹ para AB y AT, respectivamente. Comparando estos hallazgos con el trabajo realizado por Dotto et al. (2013) utilizando películas de quitosano en la adsorción de colorantes alimentarios Red Acid 18 y FD&C Blue #2, se observa que los resultados obtenidos en este miniproyecto didáctico son más modestos en términos de experimentación. En la referencia bibliográfica en cuestión, las capacidades máximas de adsorción encontradas para los colorantes mencionados fueron de 194,6 mgg⁻¹ y 154,8 mgg⁻¹, respectivamente. Este dato es importante, pero la comparación con la PQC está comprometida, ya que no se optimizó el tiempo de contacto del adsorbato con el adsorbente y la concentración del colorante en las pruebas de adsorción es al menos 2,5x mayor. Como se ve, la PQC tiene el potencial para estudios adicionales que se llevarán a cabo a su debido tiempo.

Y, finalmente, en la última etapa de la actividad (Semana #5) los estudiantes fueron cuestionados por el docente sobre los hallazgos de su investigación. Para ello, los 5 grupos de trabajo de laboratorio presentaron un breve seminario a la clase (unos 20 min por grupo), ilustrando la PQC producida, las curvas de calibración obtenidas para los colorantes alimentarios, los resultados encontrados y una propuesta de mecanismo de adsorción para el experimento. Al finalizar la reunión teórica, el profesor hizo una valoración general de la implicación de los alumnos y de los resultados encontrados en el miniproyecto didáctico y recogió los informes escritos de cada grupo de trabajo que se habían elaborado en formato de artículo científico. En general, los informes entregados fueron satisfactorios, los estudiantes realizaron una buena descripción de los fenómenos observados, correlacionándolos con la literatura indicada (Fonseca et al.,

2020). La redacción de un informe de clase práctica en formato de artículo científico no era habitual en la Carrera Técnica de Química elegida, por lo que la redacción de hallazgos experimentales, en este nuevo formato, fue otra experiencia de aprendizaje que proporcionó el miniproyecto didáctico.

De todo el miniproyecto didáctico, el informe de actividades fue la etapa que más inquietud generó entre los estudiantes. Y no solo por el carácter valorativo del documento. La dificultad visible de los estudiantes para proponer un mecanismo o una explicación para el paso de la adsorción fue en gran parte responsable del hecho. Esto, en cierto modo, estaba previsto en la concepción de la actividad. Si bien los involucrados reportan dificultad para comprender el mecanismo de adsorción que se mostró en las semanas 1 y 3, el informe de clase práctica abordó el tema con la complejidad y comprensión esperada para el público objetivo en cuestión. Las reuniones extraclase con el profesor (~45 min) ayudaron a aclarar dudas y redactar el informe de clase práctica. Para todos los grupos de trabajo se ofreció ese momento de asistencia y todos los involucrados participaron. En general, los textos correlacionaron los grupos funcionales existentes en la PQC e identificados por FTIR con la polaridad de las moléculas colorantes AB y AT, como ya se describe en la literatura (Dotto et al., 2013).

A modo de elucidación, la propuesta esbozada en este miniproyecto didáctico reportó la introducción del tema de la adsorción en el aula de Curso Técnico en Química a través de un sesgo más sustentable. Tal propuesta también sería perfectamente factible en cursos superiores de química. Cabe señalar que la experiencia de la investigación científica y el desarrollo tecnológico no son comunes al público objetivo que probó el miniproyecto de enseñanza. La mayor preocupación de las escuelas que ofrecen carreras de química a nivel técnico es formar mano de obra de calidad para las industrias que las rodean. En cuanto al producto generado (adsorbente PQC), se puede ver que el tema tiene un gran potencial para ser mejor explorado e incluso puede servir como tema para la realización del trabajo del curso. La adhesión e involucramiento de los estudiantes en la propuesta presentada proporcionó momentos de trabajo colaborativo entre los alumnos, además de su protagonismo y autonomía en la actividad experimental. Esto indicó que las actividades investigativas son bien aceptadas, e incluso pueden causar cierta «rabia» en el aula. Por lo tanto, se cree que este impacto generado por el miniproyecto didáctico servirá de base para futuros trabajos de investigación similares.

CONSIDERACIONES FINALES

En resumen, la propuesta del miniproyecto de enseñanza de la química que aborda el uso de quitosano y película de celulosa en la adsorción de colorantes alimentarios se mostró factible y movilizó el aprendizaje en medio de problematizaciones y conceptualizaciones producidas a partir de las estrategias desarrolladas por los estudiantes bajo la mediación y experimentación del docente que articuló diferentes áreas y experiencias. Utilizando los recursos de un Curso Técnico de Grado Medio en Química en alianza con el Centro Analítico de la FURG, se presentaron a los estudiantes las técnicas comunes de investigación y el desarrollo de nuevos materiales para operar con el conocimiento de forma autónoma y crítica. Además, las materias abordadas dentro de la ejecución del miniproyecto de enseñanza trataron sobre medio ambiente y sostenibilidad, en línea con la competencia enumerada EM13CNT206 para Ciencias Naturales y sus Tecnologías en la Enseñanza Media incluida en la Base Curricular Común Nacional (Brasil, 2018) y con las exigencias del contexto regional. En cuanto a los resultados experimentales, la PQC mostró capacidad de adsorción de colorantes alimentarios con valores de 37,1 mgg⁻¹ y 99,1 mgg⁻¹ para AB y AT, respectivamente. Dichos resultados aún pueden mejorarse, ya que la condición experimental no fue optimizada debido al corto tiempo de ejecución del miniproyecto didáctico y las limitaciones impuestas por la pandemia del COVID-19. De esta manera, aquí se enlista una perspectiva futura de continuidad de la investigación, considerando la calidad de los resultados en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la química.

AGRADECIMIENTOS

C. P. Grandini y C. R. Schmitt agradecen a Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Educación Superior (CAPES, Brasil) por las becas de doctorado recibidas.

REFERENCIAS

- Bacich, L. y Moran, J. (2018). *Metodologías ativas para uma educação inovadora: Uma abordagem teórico-prática*. Penso.
- Barbosa, M. C. S. y Horn, M. G. S. (2008). *Projetos pedagógicos na educação infantil*. Artmed.
- Bender, W. N. (2014). *Aprendizagem Baseada em Projetos: educação diferenciada para o século XXI*. Penso.
- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M. y Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26, 369-398.
- Brasil. Ministério da Educação e Cultura (MEC) (1998). *Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) - Meio ambiente* (página web). <http://portal.mec.gov.br/busca-geral/195-secretarias-112877938/seb-educacao-basica-2007048997/12657-parametros-curriculares-nacionais-5o-a-8o-series>. Visitada el 02-03-2023.
- Brasil. Ministério da Educação e Cultura (MEC) (2018). *Base Nacional Comum Curricular – A etapa do Ensino Médio* (página web). <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/#medio/ciencias-da-natureza-e-suas-tecnologias-no-ensino-medio-competencias-especificas-e-habilidades>. Visitada el 03-03-2023.
- Dalmás, M., de Moura, N. F., Rosa, G. R., Ferreira, C. L., dos Santos, J. A. O., Bolzan, T. K. y Kokubun, F. (2013). Miniprojeto para ensino de química orgânica experimental baseado no acoplamiento catalítico N-C promovido por micro-ondas. *Química Nova*, 36(9), 1464-1467. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000900031>.
- Dewey, J. (1959). *Democracia e educação: introdução à filosofia da educação* (3.ª ed., Trad. G. Rangel y A. Teixeira). Nacional.
- Dos Santos, L. R. y de Menezes, J. A. (2020). A experimentação no ensino de química: principais abordagens, problemas e desafios. *Revista Eletrônica PESQUISEDUCA*, 12(26), 180-207.
- Dotto, G. L., Moura, J. M., Cadaval, T. R. S. y Pinto, L. A. A. (2013). Application of chitosan films for the removal of food dyes from aqueous solutions by adsorption. *Chemical Engineering Journal*, 214(1), 8-16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.10.027>.
- Faria, V. W., Oliveira, D. G. M., Kurz, M. H. S., Gonçalves, F. F., Scheeren, C. W. y Rosa, G. R. (2014). Palladium nanoparticles supported in a polymeric membrane: an efficient phosphine-free «green» catalyst for Suzuki–Miyaura reactions in water. *RSC Advances*, 4, 13446-13452. <http://dx.doi.org/10.1039/c4ra01104j>
- Filatro, A. y Cavalcanti, C. C. (2018). *Metodologías inovativas na educação presencial, a distância e corporativa*. Saraiva.
- Fonseca, C. S., Rosa, C. H., Lopes, T. J. y Rosa, G. R. (2020). Sewage sludge in phenol and methylene blue adsorption: a miniproject for teaching sustainability. *Journal of Chemical Education*, 97(4), 1087-1092. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01118>.
- Gauto, M. A. y Rosa, G. R. (2011). *Processos e Operações Unitárias da Indústria Química* (1.ª ed.). Editora Ciência Moderna.
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (6.ª ed.). Atlas.

- Grandini, C. P., Schmitt, C. R., Duarte, F. A., Rosa, D. S., Rosa, C. H. y Rosa, G. R. (2023). New sustainable and robust catalytic supports for palladium nanoparticles generated from chitosan/cellulose film and corn stem biochar. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 6068-6079. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22616-6>
- Güven, N. C. y Özkazanc, H. (2022). Corrosion protection behavior of poly(N-methylpyrrole)/boron nitride composite film on aluminum-1050. *Progress in Organic Coatings*, 164:106696. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106696>
- Hamidi, S., Nemati, M. y Lotfipour, F. (2021). Simultaneous determination of synthetic dyes in gummy candy using novel mesoporous magnetic graphene oxide@zein aerogel followed by a high performance liquid chromatography-diode array detector. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 11(3), e3785. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.3785>
- Heinze, T. (2016). Cellulose: structure and properties. En O. J. Rojas (Ed.), *Cellulose Chemistry and Properties: Fibers, Nanocelluloses and Advanced Materials* (pp. 1-52). Springer International Publishing.
- Jackson, J. C., Camargos, C. H. M., Noronha, V. T., Paula, A. J., Rezende, C. A. y Faria, A. F. (2021). Sustainable cellulose nanocrystals for improved antimicrobial properties of thin film composite membranes. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(19), 6534-6540. <http://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c02389>
- Kamel, M. S. A., Oelgemoller, M. y Jacob, M. V. (2022). Sustainable plasma polymer encapsulation materials for organic solar cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 10(9), 4683-4694. <http://dx.doi.org/10.1039/d1ta10608b>
- Knoll, W. y Advincula, R. C. (2011). *Functional Polymer Films* (1.ª ed.), Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Kumari, S. y Kishor, R. (2020). Chitin and chitosan: origin, properties, and applications. En S. Gopi, S. Thomas y A. Pius (Eds.), *Handbook of Chitin and Chitosan* (pp. 1-33). Elsevier.
- Lerner, D. (2002). *Ler e escrever na escola: o real, o possível e o necessário*. Artmed.
- Marham, T., Larmer, J. y Ravitz, J. (2008). *Aprendizagem baseada em projetos: guia para professores de ensino fundamental e médio* (Trad. Daniel Bueno). Artmed.
- Martínez, A. C. y García, M. E. C. (2018). Aprendizaje basado en proyectos en educación infantil: cambio pedagógico y social. *Revista Iberoamericana de Educación*, 76, 79-98. <https://doi.org/10.35362/rie7602861>
- Oliveira, D. G. M., Alvarenga, G., Scheeren, C. W. y Rosa, G. R. (2014). Desenvolvimento de reator tipo «dip catalyst» para filmes poliméricos contendo nanopartículas de metais de transição. *Química Nova*, 37(8), 1401-1403. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20140224>
- Oliveira, D. G. M., Rosa, C. H., Vargas, B. P., Rosa, D. S., Silveira, M. V., de Moura, N. F. y Rosa, G. R. (2015). Introducing undergraduates to research using a Suzuki-Miyaura cross-coupling organic chemistry miniproject. *Journal of Chemical Education*, 92(7), 1217-1220. <https://doi.org/10.1021/ed500551d>
- Pascualetto, T. I., Veit, E. A. y Araujo, I. S. (2017). Aprendizagem baseada em projetos no ensino de física: uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(2), 551-577. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2017172551>

- Peixoto, C. R. M., Rosa, G. R., Silva, C. N., Santos, B. T. y Engelmann, T. L. (2012). Mini-proyecto para ensino de química geral experimental baseado na fermentação do caldo de cana-de-açúcar. *Química Nova*, 35(8), 1686-1691.
<https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000800032>
- Quive, L. G., Leandro, S., Bandali, E. C., Gueze, G. A., João, D. A., Gomundanhe, A. M., Neuana, N. F. y Macuvele, D. L. P. (2021). Exploring materials locally available to teach chemistry experimentally in developing countries. *Education for Chemical Engineers*, 34, 1-8.
<https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.09.004>
- Rodríguez-Sandoval, E. y Cortés-Rodríguez, M. (2010). Evaluación de la estrategia pedagógica «Aprendizaje basado en proyectos»: Percepción de los estudiantes. *Avaliação: Revista da Avaliação da Educação Superior*, 15(1), 143-158.
<https://doi.org/10.1590/S1414-40772010000100008>
- Rodríguez, I. R. y Vílchez, J. G. (2015). El aprendizaje basado en proyectos: un constante desafío. *Innovación Educativa*, 25, 219-234.
<https://doi.org/10.15304/ie.25.2304>
- Rosa, C. H., Antelo, F. y Rosa, G. R. (2018). Kinetics of thermal-degradation of betanins: A teaching mini-project for undergraduates employing the red beet. *Journal of Food Science Education*, 17(4), 104-110.
<https://doi.org/10.1111/1541-4329.12147>
- Rosa, D. S., Vargas, B. P., Silveira, M. V., Rosa, C. H., Martins, M. L. y Rosa, G. R. (2019). On the use of calcined agro-industrial waste as palladium supports in the production of eco-friendly catalysts: rice husks and banana peels tested in the Suzuki-Miyaura reaction. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 2285-2296.
<https://doi.org/10.1007/s12649-018-0252-7>
- Schmitt, C. R., Rosa, D. S., Vargas, B. P., Rosa, C. H., Duarte, F. A., Scheeren, C. W., Lopes, T. J., Trombetta, F. y Rosa, G. R. (2018). Coconut agro-industrial waste in the production of catalyst containing palladium: The report of a mini-project for teaching of sustainable Suzuki-Miyaura reaction. *Journal of Cleaner Production*, 185, 342-346.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.082>
- Silva, A. C. Q., Silvestre, A. J. D., Vilela, C. y Freire, C. S. R. (2022). Natural polymers-based materials: a contribution to a greener future. *Molecules*, 27(1):94.
<http://dx.doi.org/10.3390/molecules27010094>
- Vargas, B. P., Rosa, C. H., Rosa, D. S. y Rosa, G. R. (2016). «Green» Suzuki-Miyaura cross-coupling: An exciting mini-project for chemistry undergraduate students. *Educación Química*, 27(2), 139-142.
<https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.11.006>
- Vergara-Ramírez, J. J. (2015). *Aprendo porque quiero. El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), paso a paso*. Editorial SM: Biblioteca Innovación Educativa.
- Willard, K. y Duffrin, M. W. (2003). Utilizing project-based learning and competition to develop student skills and interest in producing quality food items. *Journal of Food Science Education*, 2(4), 69-73.
<https://doi.org/10.1111/j.1541-4329.2003.tb00031.x>
- Zheng, J. Y., Cai, Y. Q., Zhang, X. W., Wan, J. T. y Fan, H. (2022). Eugenol-based siloxane acrylates for ultraviolet-curable coatings and 3D printing. *ACS Applied Polymer Materials*, 4(2), 929-938.
<http://dx.doi.org/10.1021/acsapm.1c01405>

Polymeric Film Applied in a Sustainability Teaching Mini-Project

Camila Pereira Grandini, Cristiane Renata Schmitt
Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Campus Santo Antônio da Patrulha – RS, Brasil.
camilagrandini@hotmail.com, cristianerschmitt@gmail.com

Aline Joana Rolina Wohlmuth Alves dos Santos
Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Campus Universitário Capão do Leão – RS, Brasil.
alinejoana@gmail.com

Patrícia Ignácio
Instituto de Educação Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Campus Santo Antônio da Patrulha orre– RS, Brasil.
patricia.ignacio@furg.br

Gilber Ricardo Rosa
Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Campus Santo Antônio da Patrulha – RS, Brasil.
gilberrosa@furg.br

This paper reports the development and application of a mini-project for teaching chemistry that deals with the theme of sustainability through the valorization of chitosan and cellulose biomass in the production of an adsorbent film. This film was evaluated for the adsorption of tartrazine yellow and brilliant blue food dyes, generating a five-week didactic activity tested in a secondary chemistry technical course. However, the activity is perfectly feasible in higher level courses in the field of chemistry (Bachelor's Degree in Chemistry, Industrial Chemistry, Chemical Engineering...). During the experimental activity, the students had contact with fundamental steps used in the research and development of new materials and cutting-edge surface characterization techniques. Such topics are not usually covered in a high school chemistry course and were very well received by students. With a didactic approach guided by project-based learning and through an exploratory qualitative investigation, students experienced stages present in chemistry investigative processes, fostering ideas of topics that could be addressed in their own course completion works. In terms of the results found in the adsorption tests, the chitosan and cellulose film developed showed an adsorption capacity of food dyes with values of 37.1 mgg^{-1} and 99.1 mgg^{-1} for brilliant blue and tartrazine yellow, respectively. Such results are promising, since the adsorption tests can still be optimized in terms of adsorbent mass, film exposure time and concentration of the adsorbate solution.

