
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

REVISTA DE INVESTIGACION Y EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS

vol. 39, n. 3, noviembre 2021

CONSEJO DE REDACCIÓN

Ana María Abril Gallego, DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, FACULTAD DE HUMANIDADES Y CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN, UNIVERSIDAD DE JAÉN • Edelmira Badillo, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA • Florentina Cañada, DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES Y MATEMÁTICAS, UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA • M. Consuelo Domínguez Sales, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, FACULTAT DE MAGISTERI, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA • Mercè Izquierdo Aymerich, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA • Ceneida Fernández Verdú, DEPARTAMENTO INNOVACIÓN Y FORMACIÓN DIDÁCTICA FACULTAD DE EDUCACIÓN, UNIVERSIDAD DE ALICANTE • Bernardo Gómez Alfonso, DEPARTAMENT DE DIDÁCTICA DE LES MATEMÀTICA, FACULTAT DE MAGISTERIO, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA • Susana García Barros, DEPARTAMENTO DE PEDAGOGÍA E DIDÁCTICA UNIVERSIDADE DA CORUÑA • 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 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 • Jordi Solbes Matarredona, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I SOCIALS, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA.

DIRECCIÓN CIENTÍFICA (EDITORES)

Conxita Márquez Bargalló, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA.

Angel Gutiérrez Rodríguez, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA.

OTROS CONSEJEROS

Edelmira Badillo, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA • Digna Couso Lajaron, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA • Bernardo Gómez Alfonso, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES MATEMÀTICA, FACULTAT DE MAGISTERIO, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA • Jordi Solbes Matarredona, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I SOCIALS, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA.

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, INSPE 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 FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN 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 • 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 • Rosària 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 (NU-

TES/UFRJ), BRASIL • 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

EDICIÓN

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.

INDEXACIÓN

CARHUS+	ERHPLUS	JCR-WOS SSCI (ISI)	Scimago
CIRC	FECYT	LATINDEX (Catálogo)	Scopus
DIALNET plus	Google	MathEduc	
DICE	Scholar	MIAR	
	IRESE	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.ensenanza.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

EDITORIAL

Editorial.....	5
XI Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias.....	7
Estadísticas de artículos - 2020	9

INVESTIGACIONES DIDÁCTICAS

¿Qué naturaleza de la ciencia se presenta en los libros de química para la educación secundaria en América Latina?, <i>Rafael Amador-Rodríguez, Agustín Adúriz-Bravo</i>	11
Análisis del determinismo en una tarea de genética sobre una enfermedad animal, <i>Noa Ageitos, Blanca Puig</i>	33
Análisis del uso de un simulador de colisiones para resolver un accidente de tráfico, <i>Víctor López-Simó, David Ferrer Sánchez</i>	51
Mecanismo mental de síntesis en el aprendizaje del triángulo de Sierpinski como totalidad, <i>Ximena Gutiérrez Figueroa, Marcela Parraguez González</i>	71
Funcionalidad de las relaciones entre conceptos en la resolución de problemas, <i>Carlos Emilio Reigosa Castro</i>	93
Concepciones sobre la naturaleza de la ciencia en el profesorado en formación inicial, <i>J. F. Francisco Serrallé Marzoa, U. Pérez Rodríguez, M. A. Lorenzo Rial, M. M. Álvarez Lires</i>	113
¿Es factible cambiar la enseñanza de las ciencias en primaria?, <i>C. Nicolás Castellano, R. Limiñana Morcillo, A. Menargues Marcilla, S. Rosa Cintas, J. Martínez Torregrosa</i>	135
Análisis de la resolución de un problema de cinemática mediante el mapa conceptual híbrido, <i>Nehemías Moreno Martínez, Luis Enrique Hernández Zavala, Eduardo Carlos Briceño Solís</i>	157
Efectos de trabajar con GeoGebra en el aula en la relación afecto-cognición, <i>M.ª del Mar García López, Isabel M.ª Romero Albaladejo, Francisco Gil Cuadra</i>	177

HISTORIA Y EPISTEMIOLOGÍA

Tratados, Apuntes y Explicaciones: tres libros de química compitiendo en la década de 1920, <i>Ignacio Suay-Matallana</i>	199
El boletín Faraday (1928-29) y las relaciones entre historia y didáctica de las ciencias, <i>Luis Moreno Martínez</i>	215

INNOVACIONES DIDÁCTICAS

¿Cómo hacemos crecer una planta? Una indagación con niños de 3 años de educación infantil, <i>Ana M.ª Rodríguez Melero, M.ª José Cáceres Ruiz, Antonio Joaquín Franco-Mariscal</i>	231
Modelización matemática en educación primaria: el brazo hidráulico, <i>Elisa Salcedo Talamantes, Angelina Alvarado Monroy, María José Aviña González</i>	255

EDITORIAL

En el momento actual, en el que se está produciendo una fuerte erosión en la confianza en la ciencia que puede arrastrar al escepticismo, creemos que la educación científica y matemática tiene un papel importante para establecer puentes de credibilidad y pensamiento crítico entre el conocimiento y la ciudadanía así como para combatir la incertidumbre y la manipulación. Esperamos que el intercambio que genera la publicación de artículos en Enseñanza de las Ciencias sea estimulante y aporte ideas y evidencias para educar en el compromiso de un mundo mejor, más justo y sostenible para todos y todas.

Este editorial está incluido en el último número de 2021. Durante este año se han producido algunas novedades en la edición de la revista que queremos compartir.

Quienes habéis visitado la página web de la revista en los últimos meses habéis notado que tiene un nuevo aspecto, que es debido al cambio a una nueva versión del sistema OJS, responsable del soporte informático para toda la actividad de gestión y publicación de la revista que realizan autores, evaluadores, técnicos y editores, pues hemos pasado de la versión OJS2 a la OJS3. Esta nueva versión simplifica y racionaliza la gestión editorial y esperamos que también facilite el proceso de envío y evaluación de manuscritos. Como cualquier novedad, está requiriendo de un tiempo de adaptación, por lo que os pedimos comprensión si en algún momento identificáis alguna disfunción en el sistema.

Aunque no hay cambios en los documentos que los autores o evaluadores deben subir a la plataforma, la mecánica del proceso de subida de un manuscrito o un informe es diferente a la anterior. En la web se encuentran las instrucciones de subida de nuevos manuscritos; os rogamos que, para agilizar el proceso de subida de nuevos manuscritos, antes de enviarlos, leáis con atención dichas instrucciones. Del mismo modo, los correos que reciben autores y evaluadores incluyen instrucciones sobre cómo subir una nueva versión de un manuscrito o un informe de evaluación.

La segunda novedad importante es que Enseñanza de las Ciencias se ha sumado a la práctica de numerosas revistas de alto nivel de calidad de publicar artículos *en prensa*. La revista publica cada año un volumen dividido en tres números, que aparecen en marzo, junio y noviembre. En este año 2021, para poder acelerar la difusión de los artículos aceptados antes de su publicación oficial en un número de la revista, hemos abierto en la página principal de la web de la revista la sección *En Prensa*, en la que iremos incluyendo periódicamente los artículos aceptados a espera de publicación oficial. En este momento, en la web ya podéis leer y descargar los artículos aceptados que serán asignados a los próximos números de la revista.

Por otra parte, en didáctica de las ciencias, se estaba produciendo una espera excesivamente larga desde la aceptación de los artículos hasta su publicación oficial. Para reducir esta demora, hemos empezado a publicar 13 artículos en cada número en lugar de los 10 habituales, lo cual supone 9 artículos más por año. Con esta medida, esperamos volver a unos plazos razonables de publicación de los artículos de esta especialidad.

La última novedad que queremos destacar es que en la web de Enseñanza de las Ciencias ya está disponible el histórico completo de la revista, desde el volumen 1 hasta la actualidad, lo cual permite a los lectores acceder, a través de la pestaña Archivos, electrónicamente a los 39 volúmenes (117 números) publicados desde 1983. Los editores queremos agradecer el enorme esfuerzo realizado para completar esta

tarea por el gestor editorial de la revista, Felipe Corredor, que ha contado con la inestimable ayuda de Ana Armendáriz Asensio, así como el apoyo de Pep Sansò y su equipo del Servei de Publicacions de la UAB.

Otra aspecto a comentar es la celebración este mes de septiembre del XI Congreso Internacional en Investigación en Didáctica de las Ciencias organizado por la Revista Enseñanza de las Ciencias, con la dirección del Instituto de Educación de la Universidad de Lisboa y del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Matemáticas de la Universidad de Extremadura. A continuación adjuntamos una síntesis del Congreso realizada por el Dr. Enrique España Ramos.

Queremos también animar a los autores y autoras de las numerosas comunicaciones de alto nivel de calidad presentadas en el congreso a desarrollarlas para convertirlas en artículos y remitirlos para su posible publicación en Enseñanza de las Ciencias.

Tenemos que hacer un comentario de última hora para informar de que el ataque informático sufrido por la Universidad Autónoma de Barcelona, donde está ubicada la web de Enseñanza de las Ciencias, ha provocado un retraso en la publicación de este número, así como algunas disfunciones en el proceso de recepción y evaluación de artículos. Lo mas grave ha sido la pérdida de los archivos (artículos y evaluaciones) que se subieron a la web de la revista en los días 8 a 11 de octubre. Cuando leáis este texto, la web ya estará de nuevo operativa, en la URL <https://ensciencias.uab.es/> Esperamos recuperar el funcionamiento normal de la web y ponernos al día en la gestión de los artículos lo antes posible. Agradecemos vuestra comprensión.

El equipo editorial



XI CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

Enrique España Ramos

Departamento de Didáctica de la Matemática, de las Ciencias Sociales y de las Ciencias Experimentales.

Universidad de Málaga

enrienri@uma.es

Del 7 al 10 de septiembre de 2021 se ha celebrado en Lisboa de forma virtual el XI Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, organizado por la Revista Enseñanza de las Ciencias, con la dirección del Instituto de Educación de la Universidad de Lisboa y del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Matemáticas de la Universidad de Extremadura. Pedro Reis y Florentina Cañada han sido los responsables de la organización. La situación creada por la pandemia de la COVID-19 ha llevado a que se celebre por primera vez el congreso de forma virtual. En este marco, el congreso ha estado articulado en torno a 4 conferencias plenarias, 30 simposios, 8 mesas redondas y 546 comunicaciones organizadas en 15 áreas temáticas.

Más allá de estos datos, queremos destacar la importancia de que el congreso se celebrara por primera vez fuera de nuestras fronteras, concretamente en Lisboa, lo que ha contribuido a visibilizar y resaltar la existencia de una comunidad Iberoamericana de investigadoras e investigadores junto a docentes relacionados con la enseñanza de las ciencias y las tecnologías. En este sentido, ha habido mesas redondas específicas o simposios en los que se ha resaltado el papel de las y los investigadores iberoamericanos y donde se ha puesto de manifiesto el trabajo conjunto realizado por diferentes miembros de esta comunidad a uno y otro lado del atlántico. Así, la «Red Iberoamericana de Investigadores en Didáctica de las Ciencias Experimentales, la Matemática y la Tecnología» ha tenido un papel muy relevante en el congreso, por ejemplo, con la organización de tres de las mesas redondas.

Pedro Reis, en la conferencia inaugural, nos alertó sobre diversos retos y desafíos y destacó el importante papel que puede desempeñar la educación científica para afrontarlos, contribuyendo a capacitar a la ciudadanía para la acción transformadora a través de iniciativas colectivas. En otra conferencia plenaria sobre el papel de la educación científica con relación a los derechos humanos, Gloria Regina Pessoa y Roberto Dalmo manifestaron la necesidad de un compromiso para luchar por un mundo mejor y más justo a través de la educación científica. Desde un simposio se nos ha resaltado también la importancia para la investigación en Didáctica de las Ciencias de tener en cuenta la perspectiva de género y el feminismo.

El pensamiento crítico ha sido muy relevante en este congreso en diferentes intervenciones y, concretamente, en un simposio se ha destacado su relación con las acciones y se ha situado en un marco multidimensional: crítico, creativo y cuidadoso. En diferentes ocasiones se ha destacado la necesidad de atender y reconocer la complejidad para poder afrontar los grandes retos y desafíos que afrontamos. Se ha planteado que la complejidad lleva a la necesidad de abordar los problemas desde la transdisciplinaridad/interdisciplinaridad con un enfoque multirreferencial. Otro de los retos planteados ha

sido el de tener en cuenta la diversidad, por ejemplo, respetando a los pueblos indígenas desde una interculturalidad crítica.

En un contexto de crisis global, el lema del congreso ha sido «Contribuciones de la educación científica para un mundo sostenible», lo que ha llevado a una gran variedad de intervenciones y propuestas relacionadas con la sostenibilidad. Entre ellas, se han desarrollado discusiones y aclaraciones sobre el significado y uso del término sostenibilidad. Ante las dificultades para hacer reformas curriculares que contribuyan a un mundo sostenible, se ha propuesto una reorientación de la enseñanza de las ciencias siguiendo enfoques transformadores e interdisciplinarios. También se ha planteado la necesidad de investigar desde la Didáctica de las Ciencias qué es lo que dificulta que se produzca un cambio en esa dirección.

La contextualización del aprendizaje en problemas relevantes para la ciudadanía y las comunidades a las que pertenece ha sido otro aspecto destacado. En este sentido, los problemas socio-científicos han estado muy presentes en muchos de los trabajos, por las enormes posibilidades que tienen. El Medio Ambiente y la Salud se han puesto de manifiesto como grandes contextos en los que identificar problemas relevantes para la ciudadanía y en los que se están realizando importantes investigaciones.

Los «Clubes de Ciencias» o las «Escuelas Espaciales» (Ciencia Viva) se han mostrado como ejemplos de trabajo conjunto entre el mundo de la ciencia y las escuelas y, en diversos casos, se ha planteado esta relación desde el ámbito STEM. Prácticas científicas como la indagación, la argumentación y la modelización han sido consideradas como claves en la educación científica, al igual que se ha resaltado la gran importancia de tener en cuenta la historia y la naturaleza de la ciencia.

En la segunda conferencia plenaria, Rut Jiménez Liso y Ana Rivero nos plantearon un interesante debate sobre las prácticas clave en la formación de docentes de ciencias y en muchas propuestas e intervenciones se ha considerado crucial la formación del profesorado, tanto inicial como permanente, para poder conseguir llevar a la práctica del aula las propuestas resultantes de las investigaciones. En la transferencia a la práctica se ha destacado la importancia de las investigaciones basadas en el diseño. No se han obviado tampoco las resistencias existentes para realizar cambios en las aulas o la necesidad de un compromiso social del profesorado. En la conferencia de clausura, Florentina Cañada y Jesús Sánchez resaltaron la gran importancia de las emociones en todos los procesos de aprendizaje y que, por lo tanto, no podemos dejar de tenerlas en cuenta.

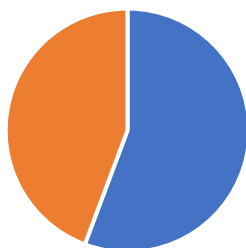
Ante los grandes retos y desafíos del siglo XXI, una de las principales conclusiones que podemos sacar de la celebración del XI Congreso, como espacio de encuentro, reflexión y debate entre la comunidad investigadora y la docente, es que desde la Didáctica de las Ciencias, tenemos que reconocer y afrontar los importantes cambios que se han producido en la sociedad y en el planeta y que, para esta nueva realidad, no nos sirven los viejos mapas. Necesitamos re-construir esos mapas para acercarnos más a la realidad del presente y poder contribuir a transformarla a través de la educación científica.



ESTADÍSTICAS DE ARTÍCULOS - 2020

Artículos recibidos

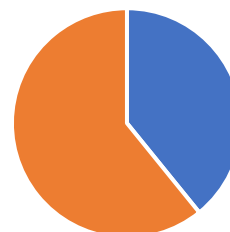
	<i>Didáctica de las Matemáticas</i>		<i>Didáctica de las Ciencias</i>		<i>Total</i>	
Artículos recibidos en 2020	79		184		263	
◆ Artículos que pasan a evaluación por pares	44	55,70%	59	32,07%	103	39,16%
◇ Artículos que no pasan a evaluación	35	44,30%	125	67,93%	160	60,84%



Didáctica de las Matemáticas



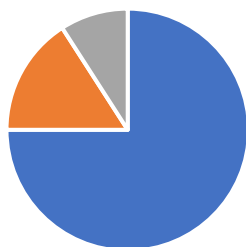
Didáctica de las Ciencias



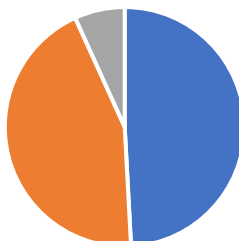
Total

Artículos evaluados

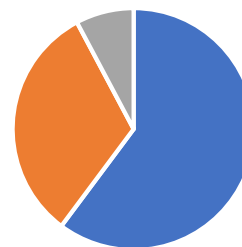
	<i>Didáctica de las Matemáticas</i>		<i>Didáctica de las Ciencias</i>		<i>Total</i>	
Artículos evaluados en 2020	44		59		103	
◆ No publicables	35	75,00%	29	49,15%	62	60,19%
◇ Aceptados	7	15,91%	26	44,07%	33	32,04%
◈ En evaluación	4	9,09%	4	6,78%	8	7,77%



Didáctica de las Matemáticas



Didáctica de las Ciencias



Total



¿Qué naturaleza de la ciencia se presenta en los libros de química para la educación secundaria en América Latina?

Which nature of science is presented in secondary chemistry textbooks in Latin America?

Rafael Amador-Rodríguez

Instituto de Estudios en Educación-IESE, Universidad del Norte, Área Metropolitana de Barranquilla, Colombia.
ryamador@uninorte.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-2182-6402>

Agustín Adúriz-Bravo

CeFIEC-Instituto de Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar, <https://orcid.org/0000-0002-8200-777X>

RESUMEN • Este trabajo de investigación tuvo como objetivo principal caracterizar las concepciones de naturaleza de la ciencia (NOS) que se promueven en libros de química para la educación secundaria de cuatro países latinoamericanos. El enfoque metodológico fue cualitativo y para el análisis se utilizaron como categorías diez aspectos de la actividad científica («tópicos de la filosofía de la ciencia»), modelizados desde cinco corrientes de la filosofía de la ciencia del siglo xx. Los resultados permiten afirmar que las concepciones de NOS en cada libro de texto analizado no provienen de una única corriente epistemológica. Hemos clasificado la NOS que se enseña en los libros de química en tres categorías: positivista, positivista ampliada y ecléctica.

PALABRAS CLAVE: Naturaleza de la ciencia; Educación secundaria; Libros de texto; Tópicos de la filosofía de la ciencia; Corrientes de la filosofía de la ciencia.

ABSTRACT • This piece of research had as its main aim characterising the conceptions on the nature of science (NOS) promoted in secondary chemistry textbooks from four Latin American countries. The methodological approach was qualitative; for the analysis, ten different aspects of the scientific activity («topics from the philosophy of science») were employed; each topic was modelled from five schools of 20th century philosophy of science. Results allow stating that NOS conceptions in each analysed textbook do not proceed from a single philosophical school. The NOS that is taught in chemistry books has been classified in three categories: positivism, expanded positivism, and eclecticism.

KEYWORDS: Nature of science; Secondary education; Textbooks; Topics of the philosophy of science; Schools of the philosophy of science.

Recepción: marzo 2020 • Aceptación: noviembre 2020

INTRODUCCIÓN

En la didáctica de las ciencias experimentales es ya común encontrar la afirmación de que la filosofía de la ciencia es un elemento insoslayable para el análisis y la fundamentación teórica de las disciplinas científicas que deben enseñarse (Mellado y Carracedo, 1993). Los didactas llegan a esta tesis como reacción a los estudios realizados hasta el último cuarto del siglo xx, que diagnosticaban que la filosofía de la ciencia tenía poca incidencia en la formulación de los programas de estudio en todos los niveles educativos y que la concepción filosófica de la ciencia que orientaba la enseñanza era «positivista» en sentido amplio, es decir, científicista, empiro-inductivista y basada en el método científico (Matthews, 1991).

Dado lo anterior, la comunidad académica comenzó a llamar la atención sobre la necesidad de incluir una postura no-positivista (esto es, no «absolutista») en la didáctica de las ciencias (Matthews, 1991). Asumir una postura epistemológica distinta a la mencionada supone que didactas y profesores de ciencias hemos de reformular nuestras concepciones acerca de la ciencia, lo que nos llevaría a la necesidad de plantear nuevas respuestas fundamentadas a interrogantes como qué es la ciencia, cómo se desarrollan las teorías, leyes y modelos, cuáles son las relaciones entre ciencia y contexto sociocultural, o cómo ha cambiado la actividad científica a lo largo de los siglos. En definitiva, resulta necesario investigar qué ideas, modelos, épocas, autores, textos de la filosofía de la ciencia nos aportan mayor poder explicativo para entender la ciencia y así poder enseñarla.

Se señala que la didáctica de las ciencias ha ido teniendo en cuenta nuevos referentes epistemológicos cuyas ideas se distanciaron progresivamente de la «concepción heredada» del Círculo de Viena después de la Segunda Guerra Mundial (Adúriz-Bravo, 2005). En primer lugar, se recurrió a la llamada «nueva filosofía de la ciencia» (representada por Kuhn, Lakatos, Toulmin...), que aún hoy es muy citada; luego, los didactas de las ciencias comenzamos a tomar propuestas más actuales, como por ejemplo aquellas que se enfocan en el estudio de la naturaleza y uso de los modelos científicos.

La llamada «concepción semántica de las teorías científicas», que pretende «soldar» los aportes más valiosos de la concepción heredada y la nueva filosofía de la ciencia (Lorenzano, 2001), parte de la propuesta de que una teoría científica no debe ser vista como entidad lingüística, puesto que no se trata únicamente de un conjunto de enunciados axiomáticos. Los filósofos semanticistas consideran que el componente más básico para la identidad de una teoría es una clase de modelos que pretenden representar de manera más o menos aproximada fenómenos correspondientes a determinado ámbito de la realidad (Lorenzano, 2001).

Las corrientes de la filosofía de la ciencia del siglo xx que hemos mencionado más arriba, junto a otras como el racionalismo crítico de Karl Popper y Gaston Bachelard, han sido usadas como referentes para caracterizar la llamada «naturaleza de la ciencia» (NOS, por sus siglas en inglés) presente en distintos sujetos y objetos de estudio (estudiantado, profesorado, currículo, materiales). En particular, se han analizado las concepciones de NOS que aparecen en los libros de texto de ciencias, que son el objeto de nuestro estudio.

Por ejemplo, McComas (2003), al estudiar libros de biología de nivel secundario, determinó que ningún texto asume una posición epistemológica completamente identificable para tratar los conceptos de ley y teoría, lo que dificulta el reconocimiento de concepciones de NOS que se correspondan con la producción académica de la filosofía de la ciencia.

En investigaciones relacionadas con la concepción de ciencia y sus relaciones con la tecnología y la sociedad en libros de biología de nivel secundario, la dificultad encontrada fue la falta de un posicionamiento epistemológico claro en esos textos (Chiappetta y Fillman, 2007). En cuanto a los libros de química para los últimos años de la educación secundaria, se han analizado, entre otros, los siguientes aspectos de la NOS: el componente «empírico» de la ciencia, la provisionalidad del conoci-

miento científico y su naturaleza inferencial, el papel de la creatividad en ciencias, la carga teórica de la observación, el mito del «método científico», la naturaleza de teorías y leyes científicas, y la relación de la ciencia con su encuadre sociocultural. Los resultados evidencian que los libros de texto no presentan una concepción de NOS claramente alineada con presupuestos reconocibles de la filosofía de la ciencia, lo que favorece una construcción de imágenes deformadas de la ciencia en el estudiantado (Abd-El-Khalick, Waters y Le, 2008).

Otros aspectos de NOS que se han analizado en libros de texto para la educación secundaria incluyen: descripción general de la ciencia como actividad, características de los científicos, componente metodológico, naturaleza y función de las entidades teóricas en la ciencia, y papel de la subjetividad, la creatividad y la imaginación en la construcción del conocimiento. El estudio de Irez (2008) sobre libros de biología advierte de que la imagen general de ciencia presentada la identifica con una «colección» de hechos y no con un proceso dinámico de generar y poner a prueba explicaciones sobre la naturaleza. Nuevamente, aparecen imágenes poco refinadas, alejadas incluso de las formulaciones del positivismo lógico, corriente ya perimida en filosofía.

Diferenciándose un tanto de los estudios anteriores, Niaz y Maza (2011) proponen, para identificar concepciones de NOS en los libros de ciencias, unos criterios teóricos que están más fundamentados en las aserciones de la filosofía de la ciencia. Por ejemplo, a la hora de tratar la cuestión de teorías y leyes, proponen la idea de que ellas *cumplen diferentes roles en la ciencia* y que por tanto las teorías no se convierten en leyes, incluso con gran cantidad de evidencia a su favor. Introducen también conceptos como la argumentación racional, interpretación, escepticismo o competencia entre teorías rivales, en los que se reconocen formulaciones de la filosofía de la ciencia de cuño racionalista (como las de Popper y su discípulo Imre Lakatos). Con estos criterios analizaron libros de química de varios países y establecieron que, en la mayoría de los textos estudiados, aparece poca información, y nada clara, sobre los aspectos de NOS correspondientes.

La investigación de DiGiuseppe (2014) analiza un único libro de texto con mucha profundidad. Los criterios de análisis utilizados (provisionalidad, inferencia, influencias personales y sociales, cultura y pluralidad metodológica, entre otros) se acercan más a la nueva filosofía de la ciencia que mencionamos más arriba. El autor reconoce en el libro unas concepciones de NOS bajo las cuales se identifica una postura epistemológica moderada.

En el caso de la química, la caracterización de las concepciones de NOS en libros de texto se ha enfocado en identificar si el enfoque de NOS es explícito, implícito o histórico (Abd-El-Khalick et al., 2008; McComas, 2008; Niaz y Maza, 2011), asumiendo como sistema de categorización la lista denominada «siete aspectos clave» o «tenets» o «Lederman's seven» («siete de Lederman») (Lederman et al., 2002). Tal lista les permitió identificar concepciones de NOS desde aquellas características que son ampliamente aceptadas en los documentos curriculares estandarizados de ciencia y desde la filosofía, historia y sociología de la ciencia (Irzik y Nola, 2011).

NOS: NUESTRO MARCO REFERENCIAL

Entenderemos aquí la NOS como un conjunto de contenidos provenientes principalmente de la filosofía de la ciencia y en menor medida de la historia y sociología de la ciencia, seleccionados intencionadamente por su valor para la educación científica (Amador-Rodríguez y Adúriz-Bravo, 2018). El objetivo educativo principal para la NOS ha de ser, a nuestro criterio, proveer a los estudiantes de herramientas de carácter «metateórico» (es decir, de reflexión crítica *sobre* la ciencia) para que ellos tomen decisiones científico-tecnológicas de manera responsable en su vida ciudadana (Lederman, 2018). Uno de nosotros ha argumentado que los contenidos de la NOS deberían provenir de diversas corrientes de la filosofía de la ciencia del siglo xx, especialmente de aquellas compatibles con la construcción de

una imagen *moderadamente realista y racionalista* de la ciencia en las clases de ciencias (Adúriz-Bravo, 2005).

En este trabajo proponemos «alinear» posibles concepciones de NOS en libros con formulaciones de cinco grandes corrientes de la filosofía de la ciencia del siglo xx (Amador-Rodríguez, 2018):

- Positivismo lógico y concepción heredada (PL/CH)
- Racionalismo crítico (RC)
- Nueva filosofía de la ciencia (NFC)
- Filosofía de la ciencia poskunitianiana (PK)
- Visiones recientes y actuales (VRA)

Cada corriente de la filosofía de la ciencia se configura como un conjunto de modelos epistemológicos útiles para conceptualizar qué es la ciencia y comprender algunos aspectos centrales de la actividad científica, como las relaciones entre teorías y hechos, la forma en que razona la comunidad científica, el lenguaje que construyen los científicos para representar el mundo, los ámbitos en que se construye la ciencia, los valores epistémicos y no epistémicos sostenidos en la actividad científica, las elecciones racionales entre teorías rivales, etc. Sostenemos que las cinco corrientes que hemos seleccionado generan argumentos sobre esos aspectos que son insumo fundamental para comprender, desde la didáctica de las ciencias, la naturaleza del conocimiento y la actividad científicas.

Hemos agrupado los distintos aspectos de la ciencia que nos interesa identificar en los libros de texto en diez «tópicos» de la filosofía de la ciencia (Amador-Rodríguez, 2018), con nombres técnicos extraídos del lenguaje disciplinar: *correspondencia, racionalidad, representación, lenguajes, intervención, método, contextos, valores, evolución y juicio*. Si recorremos cada uno de los diez tópicos desde las cinco escuelas de la filosofía de la ciencia (figura 1), obtenemos 50 criterios de análisis disyuntivos que proporcionan un mapa muy completo de posiciones epistemológicas (ver anexo 1).

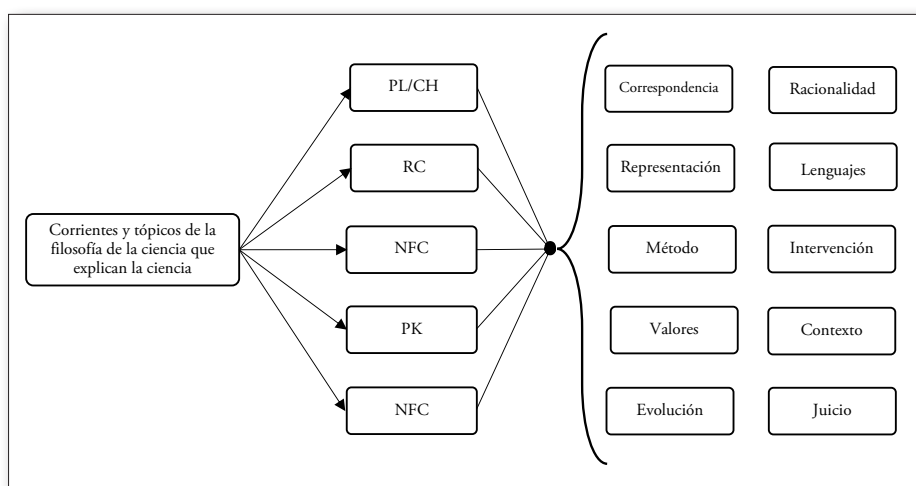


Fig. 1. Corrientes y tópicos de la filosofía de la ciencia.

OBJETIVOS

El objeto de análisis de este estudio es, como se dijo, los libros de texto de química para la educación secundaria, puesto que estos han sido reconocidos como el recurso didáctico más utilizado en las aulas (Occelli y Valeiras, 2013). El estudio de la NOS en los libros complementa perspectivas de

investigación anteriores sobre ellos, enfocadas en cuestiones como los errores conceptuales que contienen (Pérez Rodríguez, Álvarez Lires y Serrallé Marzoa, 2009), la estructuración de la información científica en ellos (Gericke y Hagberg, 2010), el uso de analogías (Raviolo y Garritz, 2009), sus modelos y teorías (Österlund, Berg y Ekborg, 2010), las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad expuestas (Borges, Pires y Delgado-Iglesias, 2016), los géneros textuales utilizados (Rudolph, Maturano y Soliveres, 2019) o las actividades de enseñanza propuestas (Martínez Díaz, García Rodríguez y Suárez Menéndez, 2017).

En la literatura didáctica se ha venido reclamando un análisis con mayor detalle epistemológico a la hora de seleccionar el contenido de NOS que debe enseñarse (Irzik y Nola, 2011; Matthews, 2012). Haciéndonos eco de ese reclamo, nos hemos propuesto investigar con más finura las concepciones de NOS que se presentan en los libros de química recurriendo a unas categorías que, como demandan esos autores, estén más consistentemente fundamentadas en la filosofía de la ciencia.

El interrogante principal de este trabajo es, pues, cuáles son las concepciones de NOS que se promueven en libros de texto para la enseñanza de química dirigidos a la educación secundaria en la región de Latinoamérica. Presentamos un análisis de ocho libros de cuatro países latinoamericanos (Argentina, Chile, Colombia y México), en el cual se pretende *caracterizar* la NOS explicitada en el primer capítulo de cada libro, usando para ello las corrientes y los tópicos de la filosofía de la ciencia introducidos arriba.

Nos propusimos los siguientes objetivos específicos:

1. Seleccionar afirmaciones de los libros estudiados y relacionarlas con algunos tópicos tal y como estos son desarrollados por las corrientes de la filosofía de la ciencia.
2. Determinar las corrientes de la filosofía de la ciencia de mayor recurrencia en esos libros.
3. Intentar precisar, a partir de los tópicos y corrientes identificados, la concepción general de NOS que promueve cada libro.

METODOLOGÍA

La investigación tiene carácter esencialmente cualitativo y se concreta en un análisis de contenido de tipo descriptivo e interpretativo sobre las concepciones de NOS asumidas más o menos explícitamente en los libros de texto.

Como instrumento de construcción de evidencias usamos una *red sistémica*. Las redes sistémicas se proponen como una metodología para ordenar datos cualitativos (Bliss et al., 1979) en la que, detrás de las palabras escritas en el contexto de una frase, hay un significado que trasciende lo directamente expresado por tales palabras. Una red sistémica se construye con el propósito de argumentar la relación entre teoría y datos: los datos se constituyen en *evidencias* cuando se los reconstruye a la luz del marco teórico que se asume en la investigación. Las afirmaciones seleccionadas de los capítulos de los libros para la enseñanza de la química se entienden como los datos, y el cruce de los tópicos y corrientes de la filosofía de la ciencia constituye nuestra «teoría». La organización de la red sistémica deviene de la selección de datos que realiza el investigador en función de los objetivos propuestos, junto a la introducción de términos y frases apoyados en la teoría que orientan la lectura de los datos y permiten su transformación en evidencias.

En el extremo izquierdo de la red se ubica la teoría, que para este caso son las «definiciones» de cada tópico desde cada corriente (anexo 1). En el extremo derecho se sitúan los datos crudos; en esta parte de la red se ubican las afirmaciones directamente extraídas de los libros de texto. Para lograr la correlación dato-teoría hemos formulado unas proposiciones (que nosotros denominamos *afirmaciones puente*) que permiten ir acoplando los aspectos teóricos y empíricos buscando relaciones específicas

entre las afirmaciones del texto y el sistema tópicos-corrientes. Así, al realizar la lectura de las distintas afirmaciones que configuran horizontalmente la red, se ve que la carga conceptual va aumentando de derecha a izquierda. Las afirmaciones puente fabricadas por nosotros son artefactos conceptuales que nos permiten *argumentar* que los datos encontrados se subsumen adecuadamente en un tópico y una corriente. La figura 2 representa parte de la estructura de nuestra red sistémica; su configuración permite ilustrar lo descrito anteriormente.

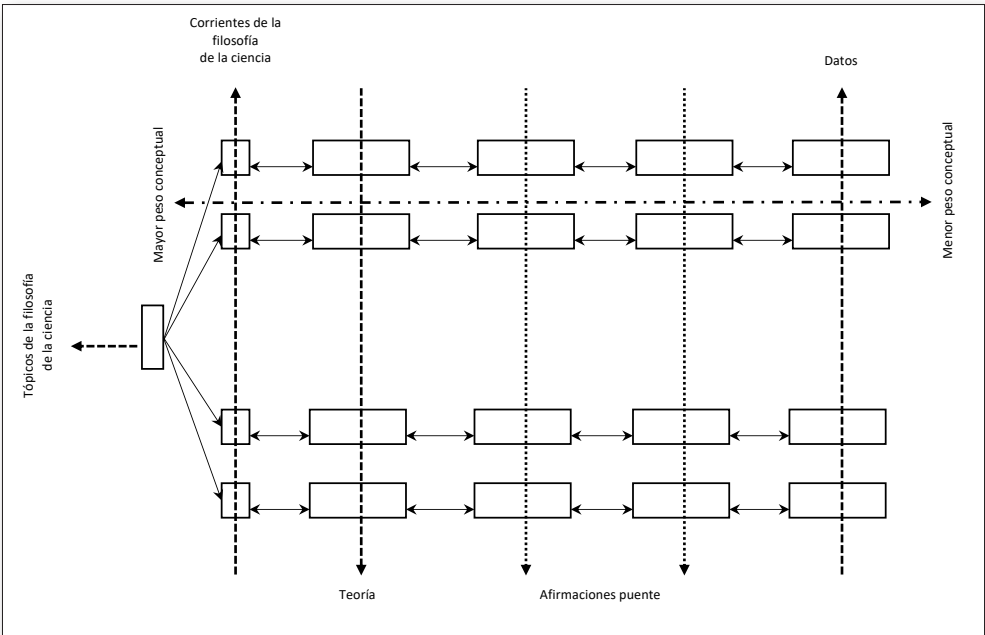


Fig. 2. Estructura de la red sistémica.

A modo de ejemplo se presentan en la tabla 1 las proposiciones que componen un desplazamiento horizontal en nuestra red sistémica; hemos tomado las afirmaciones que aluden al tópico de correspondencia tal cual es modelizado por la corriente de visiones recientes y actuales. La afirmación con máxima carga conceptual proviene de nuestro marco teórico (anexo 1); la afirmación con mínima carga conceptual es el dato crudo extraído del libro.

Tabla 1.

Afirmaciones para el tópico de correspondencia y la corriente de visiones recientes y actuales

	<i>Teoría</i>	<i>Afirmaciones puente</i>		<i>Dato</i>
La cuestión de la correspondencia desde las visiones recientes y actuales de la filosofía de la ciencia	Una hipótesis teórica afirma la existencia de semejanza entre un cierto modelo teórico y un sistema real designado, pero dicha semejanza entre el modelo y el mundo se debe limitar a un conjunto de aspectos y grados.	Un modelo científico es parte de un mundo imaginado que solo existe en las mentes de los científicos, quienes proponen el parecido entre modelo y mundo real.	Los modelos científicos median entre teoría y realidad, lo que permite a los científicos indagar en la naturaleza y así generar explicaciones sobre ella.	Poner el acento en quien explora la realidad y vislumbrar que lo que hace ese hombre o mujer cuando indaga el mundo es asignar significado a su experiencia y construir modelos que buscan explicar fragmentos de la realidad a partir de una interacción permanente con el objeto que se está estudiando.

Interrogantes orientadores para la selección de afirmaciones

Con objeto de identificar y extractar aquellas afirmaciones de los libros que presentan vinculación significativa con algún tópico y alguna corriente de la filosofía de la ciencia, formulamos unos «interrogantes orientadores» (tabla 2). Estas preguntas sencillas guían al investigador en la búsqueda de todas las frases que explícitamente tratan un tópico (Amador-Rodríguez, 2018):

Tabla 2.
Interrogantes orientadores para reconocer los tópicos de la filosofía de la ciencia

<i>Tópicos</i>	<i>Interrogantes</i>
Correspondencia	¿Nos dicen algo las ciencias sobre el mundo? ¹
Racionalidad	¿Cuál es la naturaleza de las elecciones racionales de los científicos para evaluar las teorías o modelos científicos?
Representación	¿Cuáles son los modos de representación a los que acuden los científicos para dar cuenta del mundo?
Lenguajes	¿Cuáles son los lenguajes científicos a los que acuden los científicos para explicar el mundo?
Intervención	¿En qué formas interactúa la comunidad científica con los hechos del mundo?
Método	¿A qué conjunto de reglas y normas recurren los científicos para realizar la actividad científica?
Contextos	¿En qué contexto(s) se despliega la actividad científica?
Valores	¿Cuáles son los valores que caracterizan la actividad científica?
Evolución	¿Cómo es el cambio de la ciencia a lo largo del tiempo?
Juicio	¿Qué circunstancias movilizan a la comunidad científica para preferir o no una teoría científica?

Muestra de la investigación

Se optó por una selección intencional de la muestra de acuerdo con los propósitos de investigación (Maxwell, 1996); la intención fundamental era garantizar una variedad de países latinoamericanos participantes. Los países seleccionados fueron los tres más poblados de habla española (Argentina, Colombia y México), junto a Chile, que se incluyó por tratarse de un país con marcadas diferencias con el resto de la región en cuanto a su sistema educativo. Los libros de química (tabla 3) se eligieron de acuerdo con los siguientes criterios: 1. En el caso de existir recomendaciones emanadas desde el Ministerio de Educación, los libros sugeridos por esa entidad (Chile y México). 2. Cuando no existían esas recomendaciones oficiales, se tomaron los libros de mayor venta (Argentina y Colombia). Se consultó a didactas de las ciencias de los cuatro países de la muestra sobre sus impresiones acerca de los libros elegidos.

1. Interrogante formulado por Izquierdo-Aymerich (1999).

Tabla 3.
Libros de texto seleccionados para la investigación

<i>País</i>	<i>Libro</i>	<i>Año</i>	<i>Editorial</i>
Argentina	<i>Química</i>	2007	Santillana (Perspectivas)
	<i>Química</i>	2007	Tinta Fresca
Chile	<i>Química 1.º Año Medio</i>	2010	Ediciones Cal y Canto
	<i>Química 2.º Año Medio</i>	2010	Ediciones Cal y Canto
Colombia	<i>Química@ 1</i>	2007	Norma
	<i>Química Inorgánica</i>	2005	Santillana
México	<i>Química Ciencias</i>	2008	Castillo
	<i>Ciencias 3 Química</i>	2008	Santillana (Integral)

Fases de la investigación

A continuación, se describen las fases que se establecieron para nuestra investigación:

1. Fase de detección

- Lectura del capítulo sobre naturaleza de la química de cada libro de texto.
- Primera selección de afirmaciones (datos crudos extraídos directamente del texto), usando los interrogantes orientadores de la NOS.

2. Fase de selección

- Lectura y análisis detallado de las afirmaciones elegidas en la primera fase.
- Segunda selección y refinamiento usando los interrogantes NOS y las definiciones de cada tópico de la filosofía de la ciencia.
- Validación de interpretaciones al interior del grupo de investigación GEHyD, determinando la «reciprocidad» entre afirmaciones y NOS.

3. Fase de correlación

- Encuadre de las afirmaciones en las corrientes de la filosofía de la ciencia.
- Nueva triangulación.
- Construcción de las redes sistémicas, con la fabricación de las afirmaciones puente.
- Última triangulación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 3 se especifica el número de afirmaciones que se ubican dentro de cada tópico de filosofía de la ciencia. Se determinaron 64 relaciones semánticas; este valor establece ya que hay afirmaciones (datos) que presentan correlación con más de un tópico.

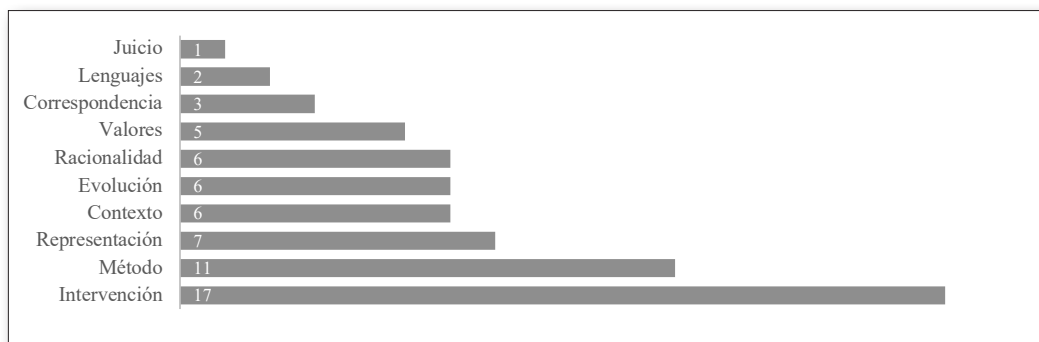


Fig. 3. Número de afirmaciones por tópico de la filosofía de la ciencia.

En la figura 4 se muestra el número de afirmaciones-datos que atravesaron la fase de selección y quedaron correlacionadas con una corriente de la filosofía de la ciencia (61 en total). Se observa entonces que el número total de afirmaciones «crudas» de los libros en las que fue posible reconocer un tópico y una corriente de la filosofía de la ciencia es llamativamente bajo (menos de ocho por libro). Se verá más abajo que las dos corrientes con mayor número de afirmaciones reconocibles en los libros constituyen los dos «extremos» de corrientes de la filosofía de la ciencia del siglo xx: positivismo lógico/concepción heredada (PL/CH) y visiones recientes y actuales.

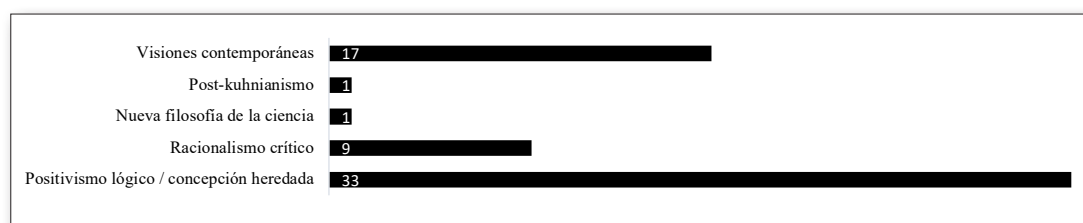


Fig. 4. Número de afirmaciones-datos de los libros por corriente de la filosofía de la ciencia.

Distribución global de los datos

Más de la mitad de las afirmaciones (33) se vinculan con la corriente positivismo lógico/concepción heredada, lo que indicaría que la concepción de NOS más extendida aún en los libros de texto se nutre de una corriente epistemológica perimida y a la cual se le han señalado problemas en relación con su capacidad para fundamentar epistemológicamente la buena enseñanza de las ciencias. Este resultado coincide con numerosas investigaciones anteriores similares a la nuestra (Abd-El-Khalick, Waters y Le, 2008; DiGiuseppe, 2014; Guisasola et al., 2005; Chiappetta y Fillman, 2007; Irez, 2008; McComas, 2003).

Por otra parte, destaca el número de afirmaciones (17) que se vinculan con la corriente de visiones recientes y actuales, lo que permite inferir la existencia de algunos cambios paulatinos en las concepciones de NOS en los libros de Argentina, Colombia y México. Con la corriente de racionalismo crítico (RC) se relacionaron 9 afirmaciones; las dos restantes se ubicaron una en la nueva filosofía de la ciencia (NFC) y otra en la filosofía de la ciencia poskuhniiana (PK).

Análisis desde las relaciones entre tópicos y épocas de la filosofía de la ciencia

A continuación, se presentan análisis de las épocas de la filosofía de la ciencia a las que los libros recurren para cada tópico. Para tal fin tomamos algunas de las afirmaciones-datos y sus respectivas afirmaciones puente para llegar a la parte teórica de la red. En nuestra argumentación decimos que cada afirmación del libro se refiere a un determinado tópico porque responde a la pregunta orientadora respectiva y que se «subsume» en una determinada corriente porque es posible construir afirmaciones puente más abstractas que van dejando a la vista ideas clave que «se parecen» a las del sistema categorial del anexo 1.

Las tablas 4, 5 y 6 extraen de la red total las afirmaciones de los libros que se ubican en la corriente PL/CH para los tópicos de intervención, método y representación. Esta corriente conceptualizó el vínculo entre los términos teóricos y observacionales de una teoría a través de lo que se dio en llamar «reglas de correspondencia». También concibió la estructura de la ciencia como un conjunto de proposiciones bien trabadas entre sí que pretenden revelar cómo es el mundo. Otra de sus características importantes es que se dedicó a hacer un análisis *sincrónico* de las teorías científicas, suponiendo un modelo sencillo de «acumulación» para el cambio de ellas en el tiempo. Estas y otras ideas centrales nos permiten sustentar que las afirmaciones-datos extraídas de los libros tienen vinculación con esta corriente epistemológica.

Tabla 4.
Afirmaciones para el tópico de intervención

	<i>Teoría</i>	<i>Afirmaciones puente</i>	<i>Dato</i>
<i>Corriente de la filosofía de la ciencia: PL/CH</i>	La observación y la experimentación preceden a la formulación de teorías o modelos científicos.	La observación y la experimentación proporcionan una base segura a partir de la cual se puede derivar el conocimiento científico.	Comprobar experimentalmente una hipótesis consiste en intentar probar si la hipótesis planteada logra explicar satisfactoriamente el fenómeno en cuestión. Para ello se diseña un experimento, durante el cual se realizan nuevas observaciones, pero bajo condiciones controladas [Co44].

Tabla 5.
Afirmaciones para el tópico de método

	<i>Teoría</i>	<i>Afirmaciones puente</i>		<i>Dato</i>
<i>Corriente de la filosofía de la ciencia: PL/CH</i>	El método científico se identifica con el uso de inferencias inductivas en las que se pasa de las observaciones de hechos concretos al establecimiento de leyes generales.	La relación de confirmación inductiva en el método científico es una relación lógica, siendo la inducción el modo de inferencia.	Los científicos en su actividad investigativa empiezan con la observación de un fenómeno, en seguida formulan hipótesis, diseñan y realizan experimentos, y finalmente generan conclusiones, las cuales regularmente poseen más información que las hipótesis. Este método se identifica con la lógica inductiva.	¿Cómo se formula una nueva teoría y se deja de lado una que ya no responde a lo observado? Generalmente se hace referencia a un único método estándar, el «método científico», caracterizado por una serie de operaciones: observación-problema-hipótesis-predicciones-experimentación-análisis de datos-conclusiones-confirmación o refutación de hipótesis [Ar26y27].

Tabla 6.
Afirmaciones para el tópico de representación

	<i>Teoría</i>	<i>Afirmaciones puente</i>	<i>Dato</i>
Corriente de la filosofía de la ciencia: PL/CH	Las teorías científicas están conformadas por un conjunto de afirmaciones lógicas que pretenden, una vez interpretadas, decir algo del mundo.	Las teorías se formulan como un sistema de afirmaciones que son susceptibles de una interpretación basada en observaciones o experimentación.	Un modelo es una representación de lo que no es perceptible y es utilizado para explicar el fenómeno. Si bien los modelos no son la realidad, son construcciones que facilitan la comprensión y se construyen a partir de datos obtenidos de experimentos [Ar34].

La argumentación para ubicar afirmaciones de los libros dentro de la corriente de racionalismo crítico se sustenta desde la idea que dicha posición epistemológica privilegia la racionalidad del sujeto y el uso de lenguajes e inferencias formales para generar análisis rigurosos de la estructura y validez del conocimiento científico. Otra de las características de esta corriente es la de suponer que la ciencia avanza mediante el planteamiento de hipótesis científicas «audaces» que luego han de ser puestas a prueba mediante razonamientos deductivos para intentar refutarlas. En la afirmación-dato de la tabla 7 reconocemos la postura racionalista en torno a la formulación de hipótesis.

Tabla 7.
Afirmaciones para el tópico de racionalidad

	<i>Teoría</i>	<i>Afirmaciones-puente</i>	<i>Dato</i>
<i>Corriente de la filosofía de la ciencia:</i> RC	La lógica deductiva solo permite refutar hipótesis, nunca confirmarlas, ni total ni parcialmente.	Los científicos inventan libre y creativamente hipótesis generales sobre el mundo y luego las someten a prueba mediante la lógica deductiva.	Cuando los científicos encuentran alguna respuesta a la cuestión que investigan, elaboran una hipótesis; es decir, un intento de explicación provisoria que sea eficiente en ese contexto [Ar33].

Dentro de la corriente visiones recientes y actuales se ubica, como se dijo, la concepción semántica de las teorías científicas, que hace hincapié en el significado y uso de las teorías y no tanto en su forma o estructura. Los planteamientos generados por el semanticismo apuntan a que la relación entre los fenómenos («realidad») y lo que decimos sobre ellos («representación») aparece mediada por los modelos científicos como representaciones abstractas del mundo (Adúriz-Bravo, 2013). También se resalta desde esta corriente que los aspectos «internos» de la construcción de conocimiento científico están fuertemente atravesados por valores epistémicos. En la tabla 8 presentamos una afirmación de uno de los libros de texto que creemos que se ubican en esta corriente.

Tabla 8.
Afirmaciones para el tópico de valores

	<i>Teoría</i>	<i>Afirmaciones puente</i>	<i>Dato</i>
<i>Corriente de la filosofía de la ciencia:</i> VRA	Los valores sociales de la ciencia están referidos desde los siguientes criterios axiológicos: – Los resultados de la actividad científica deben ser públicos como también comunicables y enseñables. – El saber científico debe ser accesible a cualquier ser humano, previa educación. – La ciencia debe ser objetiva. – En la medida de sus posibilidades, los científicos deben tratar de mejorar lo logrado por sus predecesores.	En la medida de sus posibilidades, los científicos deben tratar de mejorar lo logrado hasta el momento.	El conocimiento científico y las aplicaciones tecnológicas nos han proporcionado herramientas extraordinarias para cambiar el mundo que nos rodea. En general, estas transformaciones han servido para mejorar el nivel y la calidad de vida de la mayoría de los habitantes del planeta [Mx25].

Visión de conjunto: posiciones epistemológicas de los libros

En la figura 4 se presentaba el número de afirmaciones recogidas que se relacionan con las cinco corrientes de la filosofía de la ciencia, pero sin analizar lo que pasaba en cada libro por separado. Al tomar cada libro de texto como un caso, se vislumbra la existencia de una concepción general de NOS a la que el libro estaría adhiriendo (al menos en el primer capítulo, que trata explícitamente de estos asuntos). Para las concepciones generales de NOS (o «posiciones epistemológicas») reconocidas en los libros, proponemos las siguientes categorías:

1. Concepción de NOS positivista (CP)
2. Concepción de NOS positivista ampliada (CPA)
3. Concepción de NOS ecléctica (CE)

La concepción de NOS positivista (CP) es la que hallamos en los dos libros chilenos y en uno de los colombianos, que conciben la observación y la experimentación como las operaciones sobre las que se basa la formulación de las teorías científicas. Estos libros se adhieren a la existencia del «método científico», conformado por etapas que hay que seguir operativamente. También se reconoce en ellos lo que se llama «realismo icónico»: la idea de que las teorías científicas indican cómo es en realidad el mundo. La postura respecto del cambio científico es lineal y acumulacionista.

Hablamos de una concepción de NOS positivista ampliada (CPA) cuando la mayoría de las afirmaciones extraídas del libro presentan una correlación con los principios teóricos que adscribimos a las corrientes de positivismo lógico/concepción heredada y racionalismo crítico. A pesar de sus matices y diferencias, estas dos corrientes presentan un enfoque marcadamente científicista y primordialmente «sintáctico» (esto es, enfatizando los aspectos lógicos y lingüísticos para el análisis estructural del conocimiento científico).

Uno de los libros de texto argentinos, uno de los mexicanos y el segundo texto colombiano se ubicarían en esta concepción, pues suman, al tradicional énfasis en la experimentación y el método, el realismo icónico y el acumulacionismo, ciertas nociones más cercanas al hipotético-deductivismo y una mayor atención a la importancia de la *explicación científica*. En el libro mexicano, en particular, se expone la idea de que un experimento es significativo en la ciencia solo si a través de él se pone a prueba una teorización científica por medio de la lógica deductiva y buscando su refutación.

Por último, hablamos de una concepción ecléctica (CE) de la NOS cuando las afirmaciones en el texto correlacionan con variadas corrientes de la filosofía de la ciencia. Por ejemplo, el segundo libro de texto argentino se adhiere a muchas de las tesis del positivismo lógico/concepción heredada, pero al mismo tiempo presenta la idea de que las hipótesis científicas *afirman* relaciones de explicación entre hechos y modelos y también fomenta la noción de que los científicos, a través de consenso crítico, procuran mejorar el curso de la ciencia; esto se vincula con las visiones recientes y actuales.

En la concepción ecléctica se sitúa también el segundo libro de texto mexicano, que yuxtapone, al basamento positivista tradicional, algunas ideas más identificables con la corriente de nueva filosofía de la ciencia. Así, este libro plantea que la ciencia no avanza por la acumulación de descubrimientos e invenciones individuales, sino gracias a una acción colectiva llevada a cabo por las comunidades científicas según creencias, métodos, conceptos y valores compartidos.

Para ese mismo libro establecimos además vínculos entre alguna de sus afirmaciones y la corriente visiones recientes y actuales, que asume que la observación depende fuertemente de las teorías científicas y que por tanto el científico, más que un «buen observador», es un «buen decisor» que lee los experimentos, modifica las condiciones, distingue cuestiones fuera de lo común y repara en posibles «artefactos» del instrumental. Esta corriente de la filosofía de la ciencia propone que los valores sociales de la ciencia hacen parte constitutiva de la actividad científica y que los resultados de tal actividad han de ser públicos, comunicables y enseñables. El libro reconoce la afirmación de que el saber científico debería ser accesible a cualquier ser humano.

Por último, señalaremos brevemente la única idea relevada en los textos que hemos ubicado en la corriente de filosofía de la ciencia poskuhniana: la afirmación de que no existe el tan mentado método científico, pues no hay un conjunto único y fijo de normas que sean seguidas universalmente por los científicos en su labor.

CONCLUSIONES

Nuestra categorización de las concepciones de NOS en los libros de texto para la enseñanza de la química, aunque es original, «sintoniza» con reportes de varios autores que también reconocen posiciones epistemológicas *híbridas*, *intermedias* o *transicionales* en la educación científica (Acevedo-Díaz et al., 2007; Méheut, Larcher y Chomat, 1988; Perafán y Adúriz-Bravo, 2002; Silva y Martins, 2009). El valor añadido en nuestra investigación surgiría entonces del análisis exhaustivo de cuáles son las corrientes epistemológicas combinadas y en cuáles asuntos metacientíficos se evidencian sus teorizaciones. En este sentido, la utilización de diez tópicos *definidos desde la propia filosofía de la ciencia* nos aporta más y mejores evidencias de la constitución interna de la naturaleza de la ciencia circulante en la educación en ciencias.

En la misma línea, constatamos una vez más la omnipresencia del positivismo en la ciencia escolar, pero ahora, merced al marco teórico utilizado, podemos ver que las formulaciones de esta filosofía de la ciencia clásica siguen acantonadas fundamentalmente en las cuestiones en torno al método científico, la racionalidad inductiva y el realismo ingenuo.

Un resultado que aparece como bastante novedoso, en cambio, es nuestra identificación de algunas afirmaciones en los textos que pueden ser leídas desde las corrientes vigentes en la filosofía de la ciencia. La corriente que hemos llamado VRA parece fundamentar la comprensión educacional de aspectos de la actividad científica como los de contextos y valores. Esta evidencia abre la puerta a futuros trabajos de intervención en la línea de una renovación sustantiva de los libros de texto y de una «formación epistemológica» del profesorado de ciencias, en las que se tomen esas «puntas del ovillo» para construir a partir de ellas comprensiones más robustas de la NOS, como se demanda desde la didáctica de las ciencias.

Queda como aporte teórico las 50 enunciaciones formuladas al cruzar cada tópico de la filosofía de la ciencia con cada corriente. Creemos que allí hay potencial analítico, que vale la pena continuar investigando, para caracterizar más finamente las concepciones de NOS en los sujetos y objetos que se estudian desde nuestra disciplina. En este sentido, el marco teórico que hemos presentado aquí nos permite entender mejor qué son, filosóficamente hablando, las visiones de NOS «clásica/cientificista» y «renovada/constructivista» que se reportan, de manera no pocas veces dicotómica, en muchísimos trabajos anteriores. Estamos transparentando, por tanto, nuestra apuesta por la necesidad de análisis más sofisticados de la NOS que se apoyen en las teorizaciones de la filosofía de la ciencia mientras que reafirmamos nuestra creencia de que el aparato teórico que hemos puesto aquí a consideración de los lectores puede constituir un primer aporte en esta línea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd-El-Khalick, F., Waters, M. y Le, A. P. (2008). Representations of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(7), 835-855.
<https://doi.org/10.1002/tea.20226>
- Acevedo J. A., Vázquez A., Manassero M. A. y Acevedo P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), 42-66.
http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2007.v4.i1.04
- Adúriz-Bravo, A. (2005). ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias?: Una cuestión actual de la investigación didáctica. *Tecne, Episteme y Didaxis*, 23-33.
- Adúriz-Bravo, A. (2013). A 'Semantic' View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*, 22, 1593-1611.
<https://doi.org/10.1007/s11191-011-9431-7>
- Amador-Rodríguez, R. Y. (2018). *La Naturaleza de la Ciencia Representada en Libros de Texto de Química Latinoamericanos* (tesis doctoral). Neuquén: Universidad Nacional del Comahue.
- Amador-Rodríguez, R. Y. y Adúriz-Bravo, A. (2018). Consensus and Dissent Around the Concept of Nature of Science in the Ibero-American Community of Didactics of Science. En *Teaching Science with Context* (pp. 31-47). Cham: Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-74036-2_3
- Bliss, J., Ogborn, J. y Grize, F. (1979). The analysis of qualitative data. *European Journal of Science Education*, 1(4), 427-440.
<https://doi.org/10.1080/0140528790010406>
- Borges I., Pires D. y Delgado-Iglesias J. (2016) Las relaciones entre Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente, en los libros de texto de Educación Primaria: Un estudio comparativo entre Portugal y España, antes de las últimas reformas educativas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 54-68.
http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i1.05
- Chiappetta, E. L. y Fillman, D. A. (2007). Analysis of five high school biology textbooks used in the United States for inclusion of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 29(15), 1847-1868.
<https://doi.org/10.1080/09500690601159407>

- DiGiuseppe, M. (2014). Representing Nature of Science in a Science Textbook: Exploring author–editor–publisher interactions. *International Journal of Science Education*, 36(7), 1061-1082.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2013.840405>
- Gericke, N. y Hagberg, M. (2010). Conceptual variation in the depiction of Gene function in upper secondary school textbooks, *Science & Education*, 19(10), 963-994.
<https://doi.org/10.1007/s11191-010-9262-y>
- Guisasola, J., Almudí, J. M. y Furió, C. (2005). The nature of science and its implications for physics textbooks. *Science & Education*, 14(3-5), 321-328.
<https://doi.org/10.1007/s11191-004-7936-z>
- Irez, S. (2008). Nature of science as depicted in Turkish biology textbooks. *Science Education*, 93(3), 422-447.
<https://doi.org/10.1002/sce.20305>
- Irzik, G. y Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science for science education. *Science & Education*, 20(7-8), 591-607.
<https://doi.org/10.1007/s11191-010-9293-4>
- Izquierdo, M. (1999). *Memoria del proyecto docente e investigador*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Lederman, N. G. (2018). La siempre cambiante contextualización de la naturaleza de la ciencia: documentos recientes sobre la reforma de la educación científica en los Estados Unidos y su impacto en el logro de la alfabetización científica. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 36(2), 5-22.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2661>
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. y Schwartz, R. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 497-521.
<https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Lorenzano, P. (2001). La teorización filosófica sobre la ciencia en el siglo xx. *Boletín de la Biblioteca del Congreso de la Nación*, 121, 29-43.
- Martínez Díaz, A., García Rodríguez, M. S. y Suárez Menéndez, J. J. (2017). Análisis de las actividades de Química en los libros de texto de Física y Química de 1.º de Bachillerato desde una perspectiva de «Química en contexto», *Enseñanza & Teaching*, Salamanca, 35(2), 109-125.
<https://doi.org/10.14201/et2017352109125>
- Matthews, M. R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 3(11-12), 141-156.
- Matthews, M. R. (2012). Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS). En *Advances in nature of science research* (pp. 3-26). Países Bajos: Springer.
https://doi.org/10.1007/978-94-007-2457-0_1
- Maxwell, J. (1996). *Qualitative Research Design: An interactive approach*. Sage Publications.
- McComas, W. F. (2003). A textbook case of the nature of science: Laws and theories in the science of biology. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 1(2), pp. 141-155.
- McComas, W. F. (2008). Seeking historical examples to illustrate key aspects of nature of science. *Science and Education*, 17, 249-263.
<https://doi.org/10.1007/s11191-007-9081-y>
- Meheut, M., Larcher, C. y Chomat, A. (1988). Modelos de partículas en la iniciación a las ciencias físicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 6, 231-238.
- Mellado, V. y Carracedo, D. (1993). Contribuciones de la filosofía de la ciencia a la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), 331-339.

- Niaz, M. y Maza, A. (2011). Nature of science in general chemistry textbooks. *Nature of Science in General Chemistry Textbooks*, pp. 1-37. Países Bajos: Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-94-007-1920-0>
- Occelli, M. y Valeiras, N. (2013). Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 133-152.
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n2.761>
- Österlund, L., Berg, A. y Ekborg, M. (2010). Redox models in chemistry textbooks for the upper secondary school: friend or foe? *Chemistry Education Research and Practice*, 11(3), 182-192.
<https://doi.org/10.1039/C005467B>
- Perafán, G. A. y Adúriz-Bravo, A. (Comps.) (2002). *Pensamiento y conocimiento de los profesores. Debate y perspectivas internacionales* (pp. 127-139). Santafé de Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Pérez Rodríguez, U., Álvarez Lires, M. y Serrallé Marzoa, J. F. (2009). Los errores de los libros de texto de primer curso de ESO sobre la evaluación histórica del conocimiento del universo. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(1), 109-120.
- Raviolo, A. y Garritz, A. (2009). Analogies in the teaching of chemical equilibrium: a synthesis/analysis of the literature, *Chemistry Education Research and Practice*, 10(1), 5-13.
<https://doi.org/10.1039/B901455c>
- Rudolph, C. A., Maturano, C. I. y Soliveres, M. A. (2019). Los géneros en los textos de manuales escolares de Ciencias Naturales. *Revista Signos. Estudios de Lingüística*, 53(103).
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-09342020000200520>
- Silva, G. y Martins, C. A. (2009). Confiabilidade e a validação na investigação epistemológica do livro didático de química: um desenho metodológico. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*. Belo Horizonte, 11(2), dez. 2009.

ANEXO 1

<i>Formulaciones en torno al tópico de correspondencia para cada una de las cinco corrientes de la filosofía de la ciencia</i>	
PL/CH	El vínculo entre los conceptos teóricos y la experiencia se establece a través de enunciados que conectan términos teóricos con términos que refieren a entidades directamente observables.
RC	Las teorías científicas deben interpretarse como más o menos próximas a la verdad; se establece una correspondencia entre lo que dicen las teorías y lo que el mundo es.
NFC	Cada paradigma en la ciencia interpreta la experiencia de modo distinto, e incluso ve el mundo de modo distinto.
PK	Para que un problema en la ciencia lo sea no necesita describir con precisión un estado de cosas reales: todo lo que se requiere es que alguien piense que es un estado de cosas real.
VC	Una hipótesis teórica afirma la existencia de semejanza entre un cierto modelo teórico y un sistema real designado, pero dicha semejanza entre el modelo y el mundo se debe limitar a un conjunto de aspectos y grados.

<i>Formulaciones en torno al tópico de racionalidad para cada una de las cinco corrientes de la filosofía de la ciencia</i>	
PL/CH	Los únicos factores que se tienen en cuenta para la evaluación de las teorías son factores internos, es decir, factores que atañen solo al contenido de las teorías y a su relación con la evidencia empírica.
RC	La lógica deductiva solo permite refutar hipótesis, nunca confirmarlas, ni total ni parcialmente.
NFC	No se puede decir que un nuevo paradigma sea objetivamente mejor que el anterior porque resuelve más o mejores problemas; el cambio de paradigma implica no solo un cambio en las teorías, sino en las normas y en los métodos de investigación.
PK	Hacer elecciones racionales en la ciencia consiste simplemente en buscar incrementar la eficacia en la resolución de problemas de las teorías que aceptamos, sin presuponer nada sobre su verdad.
VC	La elección de un modelo sobre otro obedece a intereses humanos que trascienden el interés meramente epistémico, como intereses prácticos de diverso tipo (profesional, el social, etc.).

<i>Formulaciones en torno al tópico de representación para cada una de las cinco corrientes de la filosofía de la ciencia</i>	
PL/CH	Las teorías científicas están conformadas por un conjunto de afirmaciones lógicas que pretenden, una vez interpretadas, decir algo del mundo.
RC	Las teorías científicas son conjeturas arriesgadas que se aceptan provisionalmente en tanto no son refutadas.
NFC	Las teorías científicas son entidades estructuralmente complejas formadas por principios generales ubicados en un núcleo y con un conjunto de supuestos generales que se ponen a prueba empíricamente, localizados en un cinturón.
PK	La teoría científica es un conjunto relativamente específico de doctrinas, leyes, hipótesis o principios relacionados, que se usan para hacer predicciones experimentales u observacionales y ofrecer explicaciones de fenómenos naturales.
VC	Presentar una teoría no es presentar una clase de axiomas, las teorías no se identifican metateóricamente con conjuntos de enunciados; presentar una teoría es presentar una clase de modelos, las teorías se identifican metateóricamente como conjuntos de modelos.

Formulaciones en torno al tópico de lenguajes para cada una de las cinco corrientes de la filosofía de la ciencia

PL/CH	El vocabulario formal de una teoría es el vocabulario de apoyo que proporciona el lenguaje o instrumental formal y que en algunos casos puede incluir partes muy elevadas de la matemática; el vocabulario observacional refiere a entidades directamente observables y a propiedades y relaciones entre ellas directamente observables, y el vocabulario teórico refiere a entidades, propiedades y relaciones no directamente observables postuladas para dar cuenta de los fenómenos.
RC	Si las conclusiones deducidas de la teoría sometida a contrastación entran en conflicto con los enunciados básicos admitidos por la comunidad científica, entonces la teoría debe ser considerada errónea y, por tanto, queda refutada y debe ser sustituida por otra mejor.
NFC	Las leyes científicas son generalizaciones simbólicas que funcionan como expresiones que se dan dentro de un sistema matemático puro.
PK	Una teoría T ha resuelto un problema empírico, si T funciona (significativamente) en cualquier esquema de inferencia cuya conclusión es un enunciado del problema.
VC	Presentar una teoría es presentar una familia de modelos. Esta familia puede ser descrita de varios modos, mediante enunciados diferentes en lenguajes diferentes y ninguna formulación lingüística tiene estatuto privilegiado sobre las demás.

Formulaciones en torno al tópico de intervención para cada una de las cinco corrientes de la filosofía de la ciencia

PL/CH	La observación y la experimentación preceden a la formulación de teorías o modelos científicos.
RC	Un experimento es significativo solo si se pone a prueba una teoría o modelo científico.
NFC	Ninguna proposición basada en hechos puede ser probada por un experimento.
PK	La teoría está en todas partes, lo que indica que no tiene sentido hacer la distinción entre teoría y observación.
VC	Un experimentador debe ser un buen observador (sensible y alerta). Un buen observador puede llevar a cabo un experimento, modificarlo de la manera adecuada, distinguir si algo fuera de lo común es una clave de la naturaleza o si es un artefacto de la máquina. La observación depende de las teorías o modelos científicos.

Formulaciones en torno al tópico de método para cada una de las cinco corrientes de la filosofía de la ciencia

PL/CH	El método científico se identifica con el uso de inferencias inductivas en las que se pasa de las observaciones de hechos concretos al establecimiento de leyes generales.
RC	Conjeturamos, inventamos libre y creativamente hipótesis generales sobre el mundo, cuanto más arriesgadas mejor. Enseguida, sometemos las hipótesis a prueba mediante test severos. De nuestras hipótesis inferimos hechos particulares constatables mediante observación o experimentación.
NFC	La ciencia no se desarrolla mediante la acumulación de descubrimientos e inventos individuales, sino gracias a una acción colectiva llevada a cabo por las comunidades científicas en base a creencias, métodos, conceptos y valores compartidos.
PK	No existe el Método Científico, no hay un conjunto de normas que sean seguidas universalmente por los científicos para hacer ciencia.
VC	Una concepción moderada de la metodología de la ciencia pone el foco en la capacidad de pensar acerca del mundo con modelos teóricos, de generar lenguajes abstractos para crear y comunicar conocimiento y de intervenir transformadoramente sobre los fenómenos.

¿Qué naturaleza de la ciencia se presenta en los libros de química para la educación secundaria?

Formulaciones en torno al tópico de contextos para cada una de las cinco corrientes de la filosofía de la ciencia

PL/CH	No es importante cómo se descubren las teorías, en cambio, es importante evaluar los procedimientos mediante los cuales justifican los científicos las teorías que defienden, tarea en la que la lógica sí que tiene mucho que decir.
RC	Un modelo racionalista en el sentido de que los únicos factores que se tienen en cuenta para la evaluación de las teorías son factores internos, es decir, factores que atañen solo al contenido de las teorías y su relación con la evidencia empírica.
NFC	El contexto de descubrimiento y el de justificación no son pasos consecutivos, sino interactivos, por lo que no es admisible pensar que la fase de la resolución de problemas científicos pertenezca al contexto de justificación estudiado e investigado desde la lógica y el resto al contexto de descubrimiento.
PK	La actividad científica se da en dos contextos distintos: el de aceptación y el de prosecución. En el primero se acepta o se rechaza una tradición de investigación; en el segundo contexto (prosecución), se tiene en cuenta racionalmente, para la continuación y la exploración de las tradiciones de investigación.
VC	En la actividad científica se establecen cuatro contextos: educación, innovación, valoración y aplicación.

Formulaciones en torno al tópico de valores para cada una de las cinco corrientes de la filosofía de la ciencia

PL/CH	El científico ha de guiarse por un único valor epistémico: la verdad.
RC	La verdad se entiende como valor epistémico predominante de la actividad científica.
NFC	La actividad científica está regida por una pluralidad de valores como: la precisión, exactitud o aproximación; la coherencia o constancia; la universalidad, la generalidad o amplitud; la simplicidad o elegancia o belleza; la fecundidad o progresividad; el ajuste o adecuación a la naturaleza o a los datos y la utilidad social.
PK	Los criterios axiológicos a los que se acude para evaluar las teorías y los problemas en la actividad científica son los valores epistémicos como el de verdad, coherencia, simplicidad y fecundidad predictiva.
VC	Los valores sociales de la ciencia están referidos desde los siguientes criterios axiológicos: - Los resultados de la actividad científica deben ser públicos como también comunicables y enseñables. - El saber científico debe ser accesible a cualquier ser humano, previa educación. - La ciencia debe ser objetiva. - En la medida de sus posibilidades, los científicos deben tratar de mejorar lo logrado por sus predecesores.

Formulaciones en torno al tópico de evolución para cada una de las cinco corrientes de la filosofía de la ciencia

PL/CH	El desarrollo científico es un proceso acumulativo en el que va mejorándose el apoyo inductivo de las leyes y teorías, de modo que las que ya han logrado una confirmación suficientemente alta pasan a formar parte de un cuerpo de conocimientos bien establecido.
RC	La ciencia avanza porque las viejas teorías van quedando falsadas y son sustituidas por otras que las contradicen en muchos puntos.
NFC	Las revoluciones científicas son cambios en la visión del mundo; tras una revolución los científicos ven el mundo de una manera diferente, es decir, aunque el mundo no cambia con un cambio de paradigma, los científicos trabajan después en un mundo diferente.
PK	Cuando los cambios dentro de una tradición de investigación ya no son suficientes para resolver ciertos problemas, que sí son resueltos por una tradición rival, o no son suficientes para eliminar dificultades internas, la tradición es abandonada. Una tradición rival toma entonces su lugar.
VC	Los modelos por sí solos no muestran en qué consiste un parecido de familia. La única determinación posible es en términos sociológicos: nada en la estructura de los modelos mismos puede determinar que el parecido es suficiente para pertenecer a la familia. Esta cuestión es decidida exclusivamente por los juicios de los miembros de la comunidad científica en un momento.

<i>Formulaciones en torno al tópico de juicio para cada una de las cinco corrientes de la filosofía de la ciencia</i>	
PL/CH	En una ciencia madura, una teoría nueva no sustituye sin más a la anterior, sino que conserva lo que hay de verdad en ella, perfeccionándola, enriqueciéndola o extendiéndola.
RC	Entre dos teorías con diferente grado de corroboración debemos preferir la que tenga el grado más alto; el grado de corroboración es un informe evaluativo del rendimiento pasado de una teoría y no dice nada sobre su rendimiento futuro.
NFC	La aceptación de un nuevo paradigma se logra mediante técnicas de persuasión, argumentos o contraargumentos, en una situación en la que no puede haber «pruebas».
PK	Los científicos aceptan una teoría o tradición de investigación porque resuelva mejor los problemas empíricos y conceptuales.
VC	Hay modelos mejores que otros, pero eso no se puede especificar apelando exclusivamente al mundo. Nada en el propio mundo fija los aspectos que deben representarse, ni cuán buena es la representación. La especificación debe apelar necesariamente a intereses humanos, y no solo epistémicos o científicos, sino también a intereses prácticos de diverso tipo.

Which nature of science is presented in secondary chemistry textbooks in Latin America?

Rafael Amador-Rodríguez

Instituto de Estudios en Educación-IESE, Universidad del Norte, Área Metropolitana de Barranquilla, Colombia.
ryamador@uninorte.edu.co, <https://orcid.org/0000-0003-2182-6402>

Agustín Adúriz-Bravo

CeFIEC-Instituto de Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

aadurizbravo@cefiec.fcen.uba.ar, <https://orcid.org/0000-0002-8200-777X>

The main research question in this article revolves around the conceptions on the nature of science (NOS) that appear in secondary chemistry textbooks from Latin America. We analysed 8 recent textbooks published in 4 countries in the region (Argentina, Chile, Colombia and Mexico); we wanted to characterise the explicit NOS content included in the introductory chapters on what science/chemistry is. Our theoretic-methodological approach was based on the premise of mapping NOS content with the aid of 5 «schools» of the philosophy of science (logical positivism/received view, critical rationalism, new philosophy of science, post-Kuhnian philosophy of science and contemporary accounts) and 10 «topics» of the philosophy of science (correspondence, rationality, representation, languages, intervention, methodologies, contexts, values, evolution and judgement).

Steps for our characterisation of textbooks were:

1. Selecting all statements in the introductory chapter explicitly addressing NOS issues.
2. Relating the selected statements with the 10 topics of the philosophy of science.
3. Determining which schools of the philosophy of science were used to address the topic in the statement.
4. Ascertaining, through the set of statements and schools that are more frequent in the chapter, the general conception of NOS «promoted».

According to our question, aims and sample, the methodological approach was essentially qualitative; we chose to perform descriptive-interpretive content analysis. Our methodological tool to construct evidences for our arguments were the so-called systemic networks, a graphical instrument to exhibit the gradual transformation of raw data. Textual data directly obtained from the books becomes evidence for our characterisation of NOS when reconstructed through the lens of our framework of topics and schools. This is done through several steps where statements from the books get increasingly «theory-laden» and related to one another.

Our main findings are in general accordance with what is established in the literature, i. e., epistemological «polyphony» and absence of more recent philosophical formulations, but differ in one central aspect. In our sample, the «epistemological positions» in the books (defined by the main NOS formulations occurring in the chapters) are traditional but markedly hybrid, with identifiable contributions from different philosophical schools. We categorised books into three positions: 1. positivistic; 2. broadened positivistic; and 3. eclectic.

What we have called a «positivistic» conception of NOS conceives observation and experimentation as the privileged operations at the basis of the formulation of scientific theories. This conception supports the existence of a universal «scientific method» guiding the work of scientists. A more or less naive scientific realism is also assumed: scientific theories are thought to show the structure and behaviour of the real world. In our reconstruction, a «broadened positivistic» conception of NOS expands the foundational theses of the «received view» of 1950s and 1960s philosophy of science with insights from critical rationalism, especially with contributions by Karl Popper. Despite some nuances and corrections, this conception is still markedly scientific and pays attention to the «syntactic» aspects of scientific knowledge, giving emphasis to logical and linguistic aspects to analyse its structure and validity. An eclectic conception, in turn, occurs when a variety of philosophical schools are used to address the NOS topics; it is usually the case that evolution of scientific knowledge and values in science are discussed with conceptual tools from the new philosophy of science or from post-Kuhnian approaches.

The «added» value of our categorisation of NOS conceptions in textbooks arises then from a more detailed analysis of the philosophical topics and a more nuanced distinction of philosophical positions. This is the result of using theoretic-methodological tools that are more directly adapted from academic philosophy of science than in previous studies.



Análisis del determinismo en una tarea de genética sobre una enfermedad animal

The examination of determinism in a genetics activity about an animal disease

Noa Ageitos, Blanca Puig

Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidade de Santiago de Compostela, A Coruña, España
noa.ageitos@edu.xunta.es; blanca.puig@usc.es

RESUMEN • Este artículo presenta un estudio de caso de corte cualitativo con alumnado de secundaria en el desempeño de una tarea de uso de datos y evaluación de un modelo determinista de expresión de los genes para explicar una enfermedad animal. Las preguntas de investigación son: 1) ¿cómo son las posiciones del alumnado en el discurso escrito a la hora de aplicar y evaluar un modelo de expresión de los genes para explicar una enfermedad animal? y 2) ¿cuál es la capacidad crítica mostrada en el discurso oral del alumnado para evaluar un modelo determinista en este contexto? Los resultados muestran dificultades para evaluar críticamente un modelo determinista y cambios en las posiciones del alumnado respecto al determinismo a lo largo de la tarea. El desarrollo de explicaciones deterministas se relaciona con la capacidad crítica en este estudio, lo que plantea futuras líneas de investigación.

PALABRAS CLAVE: Aprendizaje de genética; Determinismo; Argumentación; Pensamiento crítico.

ABSTRACT • This article presents a qualitative case study with high school students involved in a task based on data and the evaluation of a deterministic model of gene expression to explain an animal disease. The research questions are: 1) How are students' positions in the written discourse when applying and evaluating a model of gene expression to explain an animal disease? and 2) what is the critical capacity shown in the oral discourse of the students to evaluate a deterministic model in this context? The results show students' difficulties to critically evaluate a deterministic model and changes in their positions regarding determinism throughout the task. Deterministic explanations are related to students' critical thinking in this study, which raises future lines of research.

KEYWORDS: Genetics education; Determinism; Argumentation; Critical thinking.

Recepción: mayo 2020 • Aceptación: noviembre 2020

Ageitos, N. y Puig, P. (2021). Análisis del determinismo en una tarea de genética sobre una enfermedad animal. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 33-50.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3315>

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas se han producido grandes avances conceptuales y tecnológicos en el campo de la genética que han permitido, por un lado, aumentar la comprensión sobre los patrones de herencia y el papel del ambiente en la expresión de los genes; y, por otro lado, la aplicación de tecnologías basadas en la genética como la terapia génica, la secuenciación del genoma, la medicina personalizada o el uso de perfiles genéticos. Siendo el objetivo de la enseñanza de las ciencias formar a la ciudadanía en conocimientos científicos, las implicaciones de las tecnologías genéticas y genómicas actuales en nuestras vidas deben ser abordadas en las aulas de ciencias.

La genética molecular constituye una parte central del currículum de secundaria en diferentes partes del mundo, cuya enseñanza y aprendizaje plantea dificultades (Kampourakis, 2017). El currículum estatal aboga por el desarrollo competencial, lo que implica, entre otros aspectos, la implicación del alumnado en tareas de toma de decisiones sobre dilemas en los que están involucrados conocimientos científicos (Sanmartí, Burgos y Nuño, 2011). No obstante, en España, al igual que en otros países, la enseñanza de genética se ha considerado un ámbito de estudio demasiado complejo como para poder introducirse en edades más tempranas a los 14-15 años, que sería cuando se produce el cambio de pensamiento concreto a abstracto según Piaget (Donovan y Venville, 2014). Los conceptos básicos de genética se abordan por primera vez en el currículo de la materia de Biología y Geología de 4.º curso de Enseñanza Secundaria Obligatoria (RD 1105/2014, de 26 de diciembre). Esta materia no es obligatoria, por lo que solo el alumnado que escoja un itinerario científico la cursará y, por lo tanto, dispondrá de herramientas para abordar problemas de genética que afectan a su vida. Según un estudio reciente (Chapman et al., 2019), los conocimientos de genética afectan a la actitud de la ciudadanía frente a esta y a la toma de decisiones en temas de salud. Temas que nos afectan directamente, como el tratamiento y la prevención de enfermedades, plantean dificultades al alumnado relacionadas con la comprensión de nociones básicas de genética (e. g. Lewis, Leach y Wood-Robinson, 2000; Harding, Egan, Kannu y MacKenzie, 2017) y la aparición de ideas deterministas al explicar fenómenos relacionados con la expresión de los genes (Puig y Jiménez-Aleixandre, 2011).

Este estudio forma parte de un proyecto orientado a mejorar la formación científica del alumnado para el abordaje de dilemas de genética relacionados con enfermedades con componente genético. A pesar de que la genética ha sido ampliamente estudiada y de que existen iniciativas para la mejora de la comprensión del modelo de expresión de los genes mediante tareas que impliquen la argumentación (Puig y Jiménez-Aleixandre, 2011), estos trabajos son poco concluyentes en cuanto a la capacidad del alumnado para evaluar y aplicar este modelo en contextos relativos a diversas enfermedades. La investigación realizada pretende contribuir a la mejora del conocimiento sobre contextos de aprendizaje y tareas que fomenten la construcción de argumentos según el modelo de expresión de los genes, así como la crítica de modelos deterministas mediante el uso de datos. Pretendemos avanzar en la investigación sobre la enseñanza y aprendizaje del modelo de expresión de los genes y el determinismo en las aulas de ciencias de secundaria.

DIFICULTADES Y RETOS EN LA ENSEÑANZA DE GENÉTICA. LA ARGUMENTACIÓN COMO HERRAMIENTA FACILITADORA

Las investigaciones que estudian las dificultades del alumnado en el aprendizaje de genética son numerosas y se remontan a la década de los ochenta (Ayuso y Banet, 2002). Duncan y Reiser (2007) proponen tres explicaciones que resumen los motivos por los que los fenómenos de genética molecular resultan difíciles de comprender para el alumnado. En primer lugar, la invisibilidad e inaccesibilidad de los fenómenos genéticos que involucran pequeñas entidades y procesos que no se pueden experimentar

directamente (Gilbert, Osborne y Fensham, 1982). En segundo lugar, la multiplicidad de niveles implicados en los procesos genéticos, que abarcan desde niveles de organización molecular (genes y moléculas) hasta niveles macroscópicos (organismo o población), pasando por el nivel micro (celular). El alumnado muestra dificultades para relacionar términos o entes moleculares involucrados en los procesos genéticos a la hora de moverse entre estos niveles (Marbach-Ad y Stavy, 2000; Knipples, 2002).

En tercer lugar, las diferencias ontológicas entre los niveles de fenómenos genéticos. Estos fenómenos son provocados por interacciones entre entidades formativas (genes) existentes en un nivel organizativo y entidades biofísicas (proteínas, células, tejidos, etc.) que existen en otros niveles organizativos. En relación con esto, existen trabajos que muestran dificultades por parte del alumnado a la hora de aplicar el modelo de expresión de los genes (Puig, Ageitos y Jiménez-Aleixandre, 2017) y localizar el material genético en la célula (Caballero Armenta, 2008). Otros se centran en problemas concretos a la hora de relacionar el ADN, ARN y proteínas, como el estudio de Marbach-Ad (2001). Relacionar genes y proteínas resulta una de las principales problemáticas descritas por la investigación (Freidenreich, Duncan y Shea, 2011), y de acuerdo con Gericke y Wahlberg (2013) impide una comprensión adecuada de los procesos de traducción y transcripción.

Otro de los aspectos que afecta a la enseñanza de genética hoy en día hace referencia al uso de conceptos de genética molecular. El alumnado tiende a utilizar explicaciones mendelianas con carácter determinista para interpretar la noción de fenotipo. No contemplan en la formación de un fenotipo el papel de varios genes y/o la influencia de factores ambientales (Dougherty, 2009). Las explicaciones deterministas son frecuentes entre el alumnado de secundaria (e.g. Castéra, Clément y Abrougui, 2008). Este trabajo entiende por determinismo la corriente que apoya que «los genes determinan invariablemente caracteres, de modo que los resultados son solo un poco o nada afectados por los cambios en el ambiente o por los diferentes ambientes en los que los individuos viven» (Kampourakis, 2017, p. 16). Es decir, la atribución de la formación de rasgos de los seres vivos a los genes exclusivamente (Carver et al, 2017).

El contenido de los libros de texto, así como la manera en la que se enseña la genética, no siempre facilitan la comprensión de las relaciones entre los elementos involucrados en la expresión de los genes (Martínez-Gracia, Gil-Quílez y Osada, 2006). Un análisis sobre el modelo de expresión de los genes en los libros de texto de secundaria muestra que la mayor parte de las tareas no involucran al alumnado en la aplicación de este modelo a distintos contextos, ni en la identificación de factores ambientales en la expresión de los genes. Esto podría influir en el desarrollo de posiciones deterministas por parte del alumnado (e.g., Gericke et al., 2014; Aivelo y Uitto, 2015), visión que se ha encontrado difícil de cambiar en el aula (Domènech-Casal, 2017). La perspectiva determinista atribuye a la herencia las diferencias sociales y económicas entre diferentes grupos humanos, considerando estas diferencias como distinciones innatas (Lewontin, 2000). El uso determinista del concepto de gen da lugar a errores como la identificación de enfermedades monogénicas como determinadas exclusivamente por un gen, sin contemplar la epigenética y el ambiente en su desarrollo (Kendler, 2005).

El determinismo no solo aparece en los textos y entre el alumnado (Reydon et al., 2012). Parte del profesorado presenta concepciones relacionadas con el determinismo genético (Castéra y Clément, 2014). Ante este escenario, son diversas las estrategias que surgen para ayudar al alumnado a superar esta visión. Duncan, Rogat y Yarden (2009) indican que existe un mayor riesgo de desarrollar visiones deterministas cuando el alumnado carece de mecanismos explicativos que le permitan relacionar los genes con rasgos en los seres vivos. Para enfrentarse a la dificultad de relacionar el genotipo con el fenotipo, autores como Todd y Kenyon (2016) proponen centrar la enseñanza en las proteínas y su papel en la expresión de los genes, o incluir la modelización como vía para relacionar los elementos involucrados en este proceso (Reinagel y Bray Speth, 2016; Puig et al., 2017). Lehrer y Schauble (2000) sugieren dar la oportunidad al alumnado de revisar y construir sus ideas de genética a lo largo del tiempo, línea

que ha dado lugar a las denominadas progresiones de aprendizaje (*learning progressions*). También, se ha propuesto el uso de contextos relacionados con temáticas sociocientíficas (Jiménez-Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000; Sadler y Fowler, 2006; Feinstein, Allen y Jenkins, 2013) con el fin de mejorar la capacidad argumentativa del alumnado, el aprendizaje de nociones de genética y el desarrollo de pensamiento crítico. Este trabajo sigue esta última propuesta y se enmarca en la noción de argumentación científica como una práctica social en la que los miembros de una comunidad buscan explicar los fenómenos estudiados evaluando, criticando y revisando las conclusiones a través del discurso (Berland y Reiser, 2011). Esta práctica involucra tanto la construcción como la crítica de enunciados basadas en pruebas (Ford, 2012; Jiménez-Aleixandre, 2010). Creemos importante que el alumnado participe en ambas, teniendo en cuenta que en las aulas de ciencias las oportunidades para la crítica son escasas (Henderson, MacPherson, Osborne y Wild, 2015), debido, entre otros motivos, a las dudas o el malestar que provoca el enfrentamiento (González-Howard y McNeill, 2017).

De acuerdo con Ford (2008), entendemos que la construcción de conocimientos se realiza de modo dialéctico entre las prácticas de construcción y la crítica de argumentos. Sin embargo, los estudios de argumentación en el contexto de aprendizaje de genética se han centrado mayoritariamente en las relaciones entre el dominio del conocimiento y la capacidad argumentativa (Zohar y Nemet, 2002) o en el uso de pruebas (Jiménez-Aleixandre et al., 2000; Duncan y Reiser, 2007). La mayoría de estos estudios implican el análisis de argumentos escritos y orales, con el propósito de comprobar la correspondencia entre ellos y la calidad de la argumentación, y no tanto la crítica. Este estudio entiende como necesario investigar ambos tipos de discursos para comprender mejor los procesos y las posiciones involucradas en el aprendizaje de la genética. La crítica de modelos mediante el uso de datos no ha sido investigada, hasta donde hemos podido saber; por lo tanto, esta es la principal contribución del trabajo, enmarcado en un proyecto más amplio sobre aprendizaje de genética y enfermedades mediante prácticas científicas.

METODOLOGÍA

La metodología empleada es cualitativa y se enmarca en el análisis del discurso (Gee, 2011), tanto oral como escrito. La investigación forma parte de un estudio de caso longitudinal llevado a cabo durante dos cursos académicos (2014-2016) con el mismo grupo de estudiantes en 4.º de ESO y 1.º de Bachillerato dentro de un proyecto de enseñanza de genética y evolución mediante la participación en las prácticas de argumentación y modelización. Durante el primer año del estudio el alumnado participó en cuatro tareas de genética y evolución diseñadas de menor a mayor grado de complejidad de contenidos y participación en prácticas científicas. La secuencia se inició con la elaboración de un modelo de expresión de los genes mediante un kit (Puig et al., 2017) que en las sucesivas tareas aplicaron a diferentes contextos relacionados con enfermedades humanas.

Diseño, contexto y participantes

Se trata de un diseño basado en la investigación en el que investigadoras y profesorado de ciencias de secundaria colaboran en el diseño e implementación de una secuencia sobre diversas enfermedades con componente genético (Ageitos, Puig y Calvo-Peña, 2017). En este artículo nos centramos en el análisis de una actividad implementada en el segundo año del estudio longitudinal, que requiere aplicar el modelo de expresión de los genes a una enfermedad animal. Los participantes (N = 21) son alumnado de 1.º de Bachillerato (16-17 años) de un centro público de una pequeña localidad del entorno rural de Galicia (España), cuyo docente, con más de quince años de experiencia en la enseñanza de Biología y Geología, participó en el diseño de esta y otras tareas, y en dos seminarios de modelización y argumen-

tación impartidos por las autoras. El profesor colabora con el grupo de investigación de forma regular y utiliza una metodología activa y constructivista donde el diálogo e interacción forman parte de la cultura del aula. Los estudiantes trabajaron en grupos reducidos (cuatro grupos de cuatro personas y un grupo de cinco personas). El rol del profesor consiste en guiar las tareas, dando apoyo al alumnado a la hora de resolver dudas, así como controlar los tiempos y la puesta en común en distintos momentos. Las investigadoras asisten a las sesiones como observadoras no participantes.

La tarea objeto de análisis ¿Por qué se mueren los cerdos de *Martíño*? presenta un problema auténtico que implica al alumnado en la práctica de argumentación y en la transferencia del modelo de expresión de los genes para explicar un fenómeno: la muerte de cerdos al ser transportados desde la granja de cría a la granja de cebo. La mortalidad está motivada por una enfermedad animal con componente genético, la «hipertermia maligna». La enfermedad se desencadena en animales con una mutación cuando sufren episodios de estrés y puede producir la muerte. Se eligió por dos motivos fundamentales: *a)* el entorno rural en el que se desarrolla el estudio cuenta con un gran número de granjas de cerdos; *b)* se trata de una enfermedad en la que resulta fácil identificar la influencia de factores ambientales, las situaciones de estrés y la componente genética.

La tarea se estructura en cuatro partes que implican el análisis de datos:

- *Parte 1. Formulación de hipótesis sobre la(s) causa(s) de la muerte de los cerdos:* se presenta información sobre las características de una supuesta granja de cría de cerdos, la granja de Martíño, y sobre la granja de cebo, a donde son transportados estos cerdos al poco de nacer. También se proporcionan datos sobre el proceso de transporte entre ambas granjas. La figura 1 resume la información presentada. Tras analizar los datos, se solicita a cada grupo que proponga una hipótesis acerca de la posible causa de las muertes.

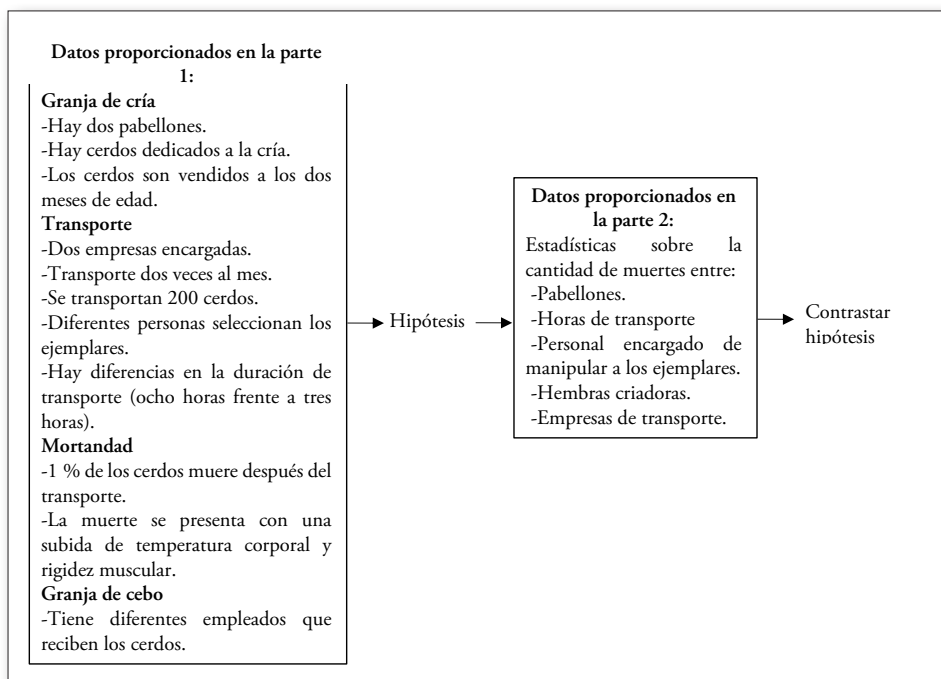


Fig. 1. Datos proporcionados en las partes 1 y 2 de la actividad.

- *Parte 2. Usar pruebas para contrastar las hipótesis:* se proporciona al alumnado nueva información (ver figura 1) con la que contrastar sus hipótesis iniciales. Se les solicita indicar por escrito qué datos utilizan y cuáles no para llegar a una conclusión. Posteriormente se realiza una puesta en común y se discuten las causas (genéticas y ambientales) que llevan a la expresión de la enfermedad.
- *Parte 3. Recomendar cómo reducir la mortalidad durante el transporte:* cada grupo ha de aconsejar a Martiño qué medidas tomar para reducir la mortalidad de los cerdos.
- *Parte 4. Revisar un modelo determinista de expresión de los genes para explicar la enfermedad:* se presenta un modelo determinista de expresión de los genes, presentado en la figura 2, en el que no se incluyen factores ambientales que intervienen en el desarrollo de la enfermedad. El alumnado ha de evaluar este modelo como adecuado o no para explicar el fenómeno de las muertes de los cerdos.

ADN → ARN → Proteína → Fenotipo

Fig. 2. Modelo determinista de expresión de los genes presentado.

Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación que orientan el trabajo son:

- P1: ¿Cómo son las posiciones del alumnado en el discurso escrito a la hora de aplicar y evaluar un modelo de expresión de los genes para explicar una enfermedad animal?
- P2: ¿Cuál es la capacidad crítica mostrada en el discurso oral del alumnado para evaluar un modelo determinista en este contexto?

Análisis de datos

El análisis de la primera pregunta de investigación conlleva, en primer lugar, la lectura intensiva, por parte de ambas autoras, de las respuestas escritas de los estudiantes a las dos preguntas de la actividad que requerían: *a)* recomendar acciones para disminuir la mortalidad y *b)* evaluar un modelo determinista presentado con relación a la enfermedad. En segundo lugar, se codifican las respuestas según si las explicaciones presentadas se sitúan más próximas a visiones deterministas o interaccionistas. Para ello adaptamos la rúbrica propuesta por Puig y Jiménez-Aleixandre (2011), que establece tres grandes categorías que separan las respuestas en no deterministas (o interaccionistas) de las deterministas, y estas últimas se diferencian de acuerdo con el grado de determinismo mostrado.

Categoría 1. Los genes son los únicos responsables del fenotipo: incluye las respuestas escritas que atribuyen a los genes exclusivamente el desarrollo de la enfermedad. Representada en la figura 3.

Genes → Fenotipo

Fig. 3. Representación de la categoría 1.

Categoría 2. Tanto los genes como el ambiente influyen en el fenotipo, pero los genes tienen un papel mayor: incluye las respuestas escritas que contemplan la influencia de factores ambientales, aunque otorgan un mayor peso a la genética. Mostrada en la figura 4.

Genes → Factores ambientales → Fenotipo

Fig. 4. Representación de la categoría 2.

Categoría 3. Los genes y el ambiente influyen igualmente en el fenotipo: incluye las respuestas escritas que hacen referencia a la influencia de ambos factores en el desarrollo de la enfermedad. Representación de la categoría en la figura 5.

Genes + Factores ambientales → Fenotipo

Fig. 5. Representación de la categoría 3.

La segunda pregunta de investigación, ¿cuál es la capacidad crítica mostrada en el discurso oral del alumnado para evaluar un modelo determinista en este contexto?, requiere centrarse en el análisis del discurso oral del alumnado en relación con las mismas cuestiones (partes 3 y 4) abordadas en la pregunta de investigación 1. Pretendemos comprobar las razones que motivan pasar de un modelo interaccionista a un modelo determinista al alumnado. Se analiza el contenido de las transcripciones (Gee, 2011), y el foco de atención es la aparición o no de operaciones de crítica u oposición al modelo determinista en el discurso oral de los grupos. Establecemos como operación *crítica* cuestionar o desafiar las ideas del modelo propuesto según pruebas; y como operación de *oposición* oponerse al modelo propuesto. La codificación del discurso tiene lugar en interacción con los datos y permite establecer dos grandes categorías:

1. *Oposición inicial al modelo determinista:* discurso oral en cuyas intervenciones se pone en cuestión el modelo determinista para explicar la enfermedad.
2. *No oposición al modelo determinista:* discurso oral en cuyas intervenciones no existen referencias que critiquen el modelo determinista o este se ponga en cuestión. Dentro de esta categoría se identifican dos subcategorías.
 - 2.1 *Adoptar el modelo sin cambios:* engloba las intervenciones en las que el alumnado aplica el modelo presentado y, por lo tanto, lo adopta como válido sin ningún cambio. La discusión se centra en los aspectos genéticos de la expresión de los genes y los factores ambientales no son mencionados.
 - 2.2 *Adoptar el modelo introduciendo cambios:* se relaciona con las intervenciones del alumnado que no cuestionan el modelo de forma explícita, asumiéndolo como válido. Hacen referencia a los factores ambientales, aunque de manera aislada, sin relacionarlos con la parte genética.

RESULTADOS

Resultados 1. Posiciones del alumnado respecto al modelo de expresión de los genes

Para abordar la primera pregunta de investigación el análisis se centra en las dos últimas partes de la actividad. Por un lado, en la recomendación que el alumnado ha de proponer para reducir la mortalidad de los cerdos (parte 3); y, por otro, en la evaluación de un modelo de expresión de los genes determinista para explicar la enfermedad (parte 4). La tabla 1 muestra los datos incorporados por los cinco grupos en sus respuestas escritas (manteniendo las expresiones utilizadas por el alumnado de forma literal) a la parte 3 de la tarea.

Tabla 1.
Datos utilizados por el alumnado en respuestas escritas

Recomendar a Martiño qué acciones llevar a cabo para disminuir la mortalidad		
	<i>Genética</i>	<i>Ambiente</i>
Grupo 1	Hembras criadoras	Menos cerdos durante el transporte Transporte más corto
Grupo 2	Hembras criadoras	Estrés debido a separación Transporte más corto
Grupo 3	Hembras criadoras	Evitar estrés en el transporte
Grupo 4	Portadores de genes	Mejor transporte
Grupo 5	Hembras criadoras	Transporte más corto Menos cerdos durante el transporte

Todos integran datos referidos a la genética y al ambiente y recomiendan mejorar las condiciones de transporte, además de seleccionar genéticamente a los progenitores, como medidas para reducir las muertes por la enfermedad. Los cinco grupos se sitúan dentro de la categoría 3 (los genes y el ambiente influyen igualmente en el fenotipo). Un ejemplo es la siguiente respuesta del grupo 3:

Grupo 3 (recomendación escrita): *Cambiar las hembras escogidas y procurar no producirle tanto estrés en el transporte. En cuanto a las hembras, las que contienen la enfermedad genética, recomendaríamos que las intentara cambiar por otras hembras que no la contengan. En cuanto al estrés en el transporte, podían no ir tan apretados y no hacer tantos traslados tan largos.*

Este grupo explica los factores ambientales que influyen en el desencadenamiento de la enfermedad y muerte de los cerdos, que relacionan con las características del transporte. Recomiendan reducir el número de individuos transportados para evitar el hacinamiento y reducir el tiempo en los traslados. Tanto este grupo como el resto utilizan información sobre los factores ambientales extraída directamente de la tarea. Además, indican la importancia de que las progenitoras no porten la mutación que hace más proclives a los cerdos a sufrir la enfermedad, indicando la necesidad de cambiar a las hembras portadoras por otras que no porten el gen de la enfermedad. Hay que destacar que todos los grupos, como se ve en este ejemplo, hacen referencia a las hembras progenitoras, pero no a los machos que contribuyen igualmente con la mitad de la información genética. Esto puede deberse a que la información proporcionada incluye la granja de cría donde conviven las hembras criadoras, que serían inseminadas artificialmente, con las crías y sus condiciones, sin mencionarse explícitamente a los progenitores masculinos.

El análisis de respuestas escritas de la parte de la actividad en la que el alumnado tenía que evaluar un modelo determinista y su posible validez a esta situación muestra diferencias en los resultados con respecto al contexto anterior. En este caso, no todos los grupos hacen referencia a los factores ambientales en sus explicaciones. Tres grupos (grupos 2, 3 y 4) identifican a los genes como únicos responsables, y un grupo, el 1, reconoce el papel del ambiente, haciendo referencia explícita a determinados factores ambientales, aunque destacando el papel de los genes y su mayor importancia. Un solo grupo, el 5, relaciona la aparición de la enfermedad con una combinación de factores ambientales y genéticos. Se muestran ejemplos de cada categoría.

Categoría 1. Los genes son los únicos responsables del fenotipo (grupos 2, 3, 4)

Grupo 4 (recomendación escrita): *El ADN es un ácido nucleico al igual que el ARN y es el encargado de formar las proteínas. Las proteínas tienen función estructural, lo que las relaciona con el fenotipo ya que este es lo que percibimos. Sí, sería aplicable para esta situación ya que la información genética, junto con sus posibles fallos o enfermedades, están relacionadas con el genotipo y no con el fenotipo; pero a través del fenotipo percibimos los síntomas de la enfermedad genética.*

Este grupo no relaciona la enfermedad con ningún factor ambiental y muestra dificultades para conectar el genotipo y el fenotipo. Identifican la enfermedad con el genotipo, pero de manera confusa, identificando el fenotipo como mecanismo para poder observar los síntomas.

Categoría 2. Tanto los genes como el ambiente influyen en el fenotipo, pero los genes tienen un papel mayor (grupo 1)

Grupo 1 (recomendación escrita): [...] *Las proteínas son las que intervienen en la expresión de los caracteres que determinarán el aspecto del individuo, es decir, su fenotipo. Además, puesto que es el proceso por el cual la información genética (en este caso una enfermedad que provoca la muerte de los cerdos) se expresa en cada uno de los individuos (es decir, en sus fenotipos). Además, los factores ambientales —a) largas horas de transporte y sol, b) gran cantidad de animales acumulados en el mismo transporte— influirán en que los cerdos más débiles genéticamente enfermen o sufran síndromes de estrés, lo que causará su muerte.*

La respuesta de este grupo se centra en explicar el papel de las proteínas en la expresión de los genes. Los estudiantes hacen referencia a factores ambientales relacionados con el transporte y a su influencia en los cerdos más «débiles genéticamente». Es decir, aquellos portadores de la mutación que favorece la aparición de la enfermedad. Identifican los factores ambientales y genéticos como causas de la aparición de la enfermedad, pero no son capaces de elaborar una explicación detallada de cómo interaccionan y enfatizan además el papel de los genes. Otro aspecto destacable es que identifican las mutaciones como una debilidad, un rasgo perjudicial.

Categoría 3. Los genes y el ambiente influyen igualmente en el fenotipo (grupo 5)

Grupo 5 (recomendación escrita): *Sí [puede ser aplicable a esta situación] porque algunas de las hembras progenitoras tienen un gen patógeno que provoca un defecto en la actividad muscular de los cerdos que, con el aporte del estrés en los viajes al criadero, provoca la muerte súbita.*

Este grupo es capaz de identificar la influencia del ambiente y los genes y explica las muertes de los cerdos según una interacción entre ambos factores.

Resultados 2. Crítica del alumnado a un modelo determinista

El análisis de la segunda pregunta atiende a las dos últimas partes de la actividad, pero en este caso nos centramos en el discurso oral de los cinco grupos. Pretendemos conocer en qué medida el alumnado se opone o critica el modelo determinista presentado, ya que en las respuestas escritas no nos permiten conocer este aspecto. El análisis muestra que cuatro de los cinco grupos no se oponen al modelo, frente a un único grupo que se opone a este (grupo 4). Se muestran ejemplos de las distintas categorías.

Oposición inicial al modelo: incluye la discusión del grupo 4, que se opone al modelo inicialmente, indicando de manera explícita que este no es válido para explicar la mortalidad de los cerdos. Sin embargo, al final del debate deciden adoptarlo como válido.

Grupo 4

Carla: Es que yo no le veo relación con el fenotipo [con la enfermedad], se la veo con el genotipo, pero con el fenotipo no.

Carme: Hombre, sí, porque cuanto más rubio o más oscuro.

Cosme: ¿Y eso qué tiene que ver?

Carla: Claro, ¿y eso qué tiene que ver con la enfermedad? El aspecto físico lo tienen igual.

Carme: Porque está más degradado.

Cosme: Lo que tiene que ver es el aspecto genético.

[...]

Carla: *No sería aplicable para esta situación*, ya que la información genética, junto con sus posibles fallos y enfermedades, pon aquí coma, coma, están relacionados con el genotipo y no con el fenotipo; pero a través del fenotipo percibimos los síntomas de la enfermedad genética. Y ya no sé qué más, así.

[...]

Carla: Si decimos que no [que el modelo no sería aplicable a esta situación] y después que sí...
Sí pon que sí.

En el ejemplo mostrado, vemos que Carla dice explícitamente que no pueden aplicar el modelo determinista a la situación de la alta mortandad de cerdos. Sin embargo, la justificación que construye muestra confusión a la hora de relacionar el genotipo con el fenotipo. Este grupo identifica que la enfermedad está en los genes, relacionándola con el genotipo. Identifican el fenotipo como el vehículo que les permite observar los síntomas de la enfermedad, de tal modo que finalmente adoptan el modelo como válido. De este modo, aunque la narrativa empezaba con un modelo interaccionista, termina con un modelo determinista, como muestra la respuesta final escrita recogida en la pregunta de investigación 1.

No oposición al modelo: incluye a los cuatro grupos restantes en cuya discusión se adopta el modelo determinista como válido, aunque con diferencias que se agrupan en las dos subcategorías presentadas a continuación.

«*Adoptar el modelo sin cambios*»: incluye los grupos 3 y 2. Aplican el modelo determinista sin oponerse ni introducir factores ambientales a la explicación sobre el desarrollo de la enfermedad.

Grupo 3

Berta: *Sí, sería aplicable porque, dependiendo de la información genética, un cerdo tendrá mayor o menor desarrollo muscular.*

En el ejemplo anterior, la alumna de este grupo afirma que el modelo sería aplicable y desarrolla una breve explicación.

Grupo 2

Carola: El ARN.

Carlos: Sí.

Carola: Hay diferentes.

Carlos: Transferente, traductor...

Carola: ¿Y qué más?

Carlos: Ribosómico.

Carola: Pero es que para poner que pasaría a los ribosomas que pasaría a las proteínas.

Carlos: ¿No dices que se transforma en ARN? El ADN se duplica en ARN... Ah, vale, ya lo has puesto.

Carola: ¿Que acabaría en los ribosomas dónde?

Carlos: Se convertiría en...

Carola: En proteínas.

Este grupo se centra en describir el modelo presentado incluyendo datos como los tipos de ARN que pueden estar relacionados con el proceso de expresión de los genes. No mencionan factores ambientales relacionados con el desarrollo de la enfermedad.

«Adoptar el modelo introduciendo cambios»: los grupos 1 y 5 introducen en su explicación información ambiental sin oponerse o contradecir el modelo determinista, como muestran los ejemplos que aparecen a continuación.

Grupo 1

Profesor: Se trata de relacionar esto con nuestra enfermedad, entonces... dónde está esa, dónde se sitúa, que moléculas dan esa enfermedad... que provoca tal...

Ana: Es que esto básicamente ya lo explicamos aquí, porque explicamos el proceso de paso de ADN.

Profesor: ¿Y la mortalidad está solamente influida genéticamente o también...?

Ana: Por las horas de transporte.

Anxo: Se ve incrementado con eso. Se ve incrementado el fenotipo por determinadas situaciones medioambientales.

Este grupo se centra en un principio en explicar el proceso molecular de expresión de los genes y, a continuación, introduce factores ambientales relacionados con el transporte. Para ellos el fenotipo «se ve incrementado» con estos factores, es decir, los síntomas de la enfermedad.

Grupo 5

Elías: Proceso de duplicación del ADN para la posterior formación de proteínas.

Esteban: Si el fenotipo es lo que no entiendo yo. ¿No era esto de los genes recesivos no recesivos?

Elías: No, eso era el fenotipo.

Esteban: Entonces, ¿el fenotipo qué era?

[...]

Esteban: En estas hembras puede ser que sea dominante el carácter, el gen.

Elías: Pero si estás considerando a todas las hembras ya no te sirve.

Esteban: Estamos considerando algunas de las hembras progenitoras.

Elías: Claro, lo haces en base a todo. ¿No?

Esteban: No, algunas, estamos considerando estas, que son las que tienen problemas genéticos; las otras no tienen problema genético.

Elías: Ponemos gen patógeno.

Esteban: Que provoca, eh, un defecto en la actividad muscular de los cerdos que, espera, déjame pensar, que con el aporte de estrés en los viajes al criadero provoca la muerte súbita.

El grupo 5 explica en un primer momento de forma breve el proceso de expresión de los genes. El análisis de las interacciones muestra que tienen dificultades para relacionar el genotipo con el fenotipo. Elías pregunta qué es el fenotipo y Esteban lo relaciona con la información genética, es decir, con el genotipo. La discusión no llega a una conclusión clara sobre el significado de fenotipo, que, en cualquier caso, no lo relacionan en ningún momento con la enfermedad. Finalmente, incorporan el dato del estrés a la explicación de cómo se desarrolla la enfermedad. Se centran en las hembras que tienen el «gen patógeno» y descartan incluir en la explicación al resto de hembras. Para ellos solo las hembras con el «gen patógeno» realizan la expresión de los genes, lo que muestra las dificultades para entender el concepto de gen con diferentes alelos y relacionar este con el fenotipo.

A modo de resumen, la tabla 2 muestra los resultados de ambas preguntas, donde se puede observar que al analizar el discurso oral y escrito encontramos que el grupo 4 durante el discurso es el único grupo que inicialmente se opone a él, pero termina por aceptarlo.

Tabla 2.
Comparación de los resultados de las dos preguntas de investigación

<i>Pregunta de investigación</i>	<i>Categoría</i>		<i>Grupos</i>
1 (Análisis del discurso escrito)	1 Los genes son los únicos responsables del fenotipo		2, 3, 4
	2 Tanto los genes como el ambiente influyen en el fenotipo, pero los genes tienen un papel mayor		1
	3 Los genes y el ambiente influyen igualmente en el fenotipo		5
2 (Análisis del discurso oral)	Oposición inicial al modelo		4
	No oposición al modelo	Adopción sin cambios	3, 2
		Adopción con cambios	1, 5

DISCUSIÓN E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

La tarea analizada en este artículo presenta un problema relacionado con una enfermedad animal con componente genético en cuyo desarrollo influyen factores ambientales fácilmente reconocibles para el alumnado. Se trata de un diseño que parte de investigaciones previas sobre el modelo de expresión de los genes, que ponen de relieve la necesidad de explorar nuevos contextos que faciliten la transferencia de este modelo y una mejor comprensión de las relaciones fenotipo-genotipo (Kampourakis, 2017; Jamieson y Radick, 2017), así como el abordaje explícito del determinismo (Jiménez-Aleixandre, 2014). El determinismo constituye un problema que afecta a la enseñanza de genética, con implicaciones éticas, políticas y sociales (Shostak, Freese, Link y Phelan, 2009). Los deterministas biológicos defienden la idea de que existen diferencias de aptitud no solo entre los individuos, sino también entre grupos humanos que explican su éxito o fracaso social y económico. En el ámbito de la salud, autores como Castéra, Bruguere y Clément (2008) destacan la presencia del determinismo en los libros de texto para explicar enfermedades con componente genético. El determinismo puede ser utilizado como justificación científica a la aparición de determinadas enfermedades, así como su relación con las «razas» (Puig y Jiménez Aleixandre, 2015). Un ejemplo son algunas manifestaciones y la difusión de noticias relacionadas con el origen de la actual pandemia por la COVID-19. Desde el ámbito político, algunos gobernantes atribuyeron la propagación de este virus a la población china, denominando el coronavirus «gripe china».

Este estudio nos ha permitido identificar las posiciones del alumnado y su capacidad crítica con relación al determinismo en el abordaje de una enfermedad animal. Los resultados de la primera pre-

gunta de investigación muestran que los estudiantes son capaces de elaborar una recomendación por escrito para disminuir la mortalidad de cerdos y que, en este contexto, los cinco grupos presentan una posición interaccionista. Todos basan sus recomendaciones en datos relacionados con los genes y el ambiente. Sin embargo, estas posiciones varían en algunos grupos al pedirles que evalúen un modelo determinista y su posible validez en este contexto. Tres grupos reflejan aquí una posición determinista frente a la enfermedad y hacen referencia exclusivamente a los factores genéticos para explicar su desarrollo; y un cuarto grupo atribuye mayor importancia a los genes frente a los factores ambientales. Entendemos que al alumnado le podría plantear más dificultades un contexto de evaluación y crítica que de construcción de argumentos, como señala Ford (2008), y que esto podría afectar a su vez a su posición frente al determinismo. El contexto de crítica o evaluación implica en algunos casos analizar datos o pruebas, así como relacionarlos con la teoría pertinente, mientras que la construcción de argumentos requiere coordinar los datos con las conclusiones (Jiménez Aleixandre, Bravo Torija y Puig, 2009). Siendo uno de los objetivos de la enseñanza de las ciencias la construcción del conocimiento, entendemos la crítica como la construcción de argumentos como prácticas necesarias. Los resultados de este estudio sugieren la necesidad de promover en el aula no solo la aplicación del modelo de expresión de los genes para explicar enfermedades con componente genético, sino también la evaluación de explicaciones deterministas que pretenden explicarlas. Identificar por qué un modelo determinista es incorrecto basándose en las pruebas podría resultar clave para vencer el determinismo en las aulas.

Los resultados de la segunda pregunta indican que los estudiantes no son capaces de criticar el modelo determinista presentado. Un grupo se opone inicialmente al modelo, sin embargo, a medida que avanzan en una explicación terminan aceptándolo. Los restantes cuatro grupos aceptan el modelo, aunque en las explicaciones de dos grupos se incorporan factores ambientales sin relacionarlos con los genes, lo que da cuenta de las dificultades para evaluar críticamente un modelo. Este resultado coincide con los de un estudio previo sobre el modelo de expresión de los genes (Puig et al., 2017), en el que comprobamos que las operaciones de oposición o crítica son menos frecuentes que otras operaciones de argumentación como la del uso de datos.

Además, el análisis de ambas preguntas de investigación permite detectar dificultades por parte del alumnado para relacionar el genotipo con el fenotipo, al igual que estudios de aula anteriores (Lewis y Kattmann, 2004). De acuerdo con Knippels (2002), establecer conexiones entre los diferentes niveles de organización biológica resulta de gran complejidad para el alumnado. Parte de los participantes de nuestro estudio entienden el fenotipo como el mecanismo que permite detectar los síntomas de la enfermedad, en lugar de su desarrollo. Al igual que en el trabajo de Marbach-Ad (2001), los estudiantes no son capaces de relacionar el genotipo con el fenotipo, es decir, el gen con la característica fenotípica cuando se les pide, en este caso explicar una enfermedad con componente genético. Además, tienen dificultades para relacionar los genes con las proteínas (Freidenreich et al., 2011; Gericke y Wahlberg, 2013). Los estudiantes son capaces de indicar diferentes tipos de ARN involucrados en la expresión de los genes, sin embargo, muestran cierta confusión acerca del papel que desempeña la proteína en el desarrollo de la enfermedad. Marbach-Ad y Stavy (2000) sugieren que el hecho de que la proteína sea una entidad que no se puede visualizar a simple vista puede dificultar la comprensión del papel que esta ejerce. Esta cuestión, junto con el hecho de que el fenotipo no sea fácilmente identificable, podría explicar los resultados obtenidos. Elegir una enfermedad con un fenotipo más reconocible sería recomendable en futuras implementaciones de cara a ayudar al alumnado a relacionar los diferentes niveles de organización biológica en la expresión de los genes. Además, de acuerdo con Duncan, Choi, Castro-Faix y Vaver (2017), sería importante hacer explícitos estos conocimientos para facilitar la comprensión de las relaciones entre el genotipo y el fenotipo.

El análisis de las posiciones frente al determinismo sugiere promover el uso de tareas basadas en el currículo Weldoniano, que se basa en introducir la genética con ideas de interacción entre genes y entre

genes y ambiente. Un estudio en el que se compara la implementación del currículum Weldoniano y Mendeliano muestra que el alumnado participante desarrolla, en el primer caso, menos explicaciones deterministas (Jamieson y Radick, 2017). Introducir tareas que impliquen el análisis de datos relacionados con factores ambientales y genéticos que den lugar a la construcción de explicaciones interaccionistas puede contribuir a disminuir la aparición de ideas deterministas. Además, es necesario generar contextos de evaluación del determinismo en el aula que permitan practicar la crítica argumentada (Ford, 2008). La enseñanza de genética en temas de salud se enfrenta a desafíos relativos a la era de la posverdad, como el auge de las noticias falsas que apoyan explicaciones deterministas (Keller, 2009) y el uso de pseudoterapias.

Existen una serie de limitaciones que deben considerarse. Al tratarse de un estudio de caso, los resultados obtenidos no son generalizables. Además, el propio diseño de la tarea limita la interpretación de los resultados. El contexto escogido es muy concreto y se centra en una única enfermedad con componente genético que no presenta un fenotipo visible. Proponer un fenotipo más fácilmente reconocible podría ayudar al alumnado a establecer una relación entre el fenotipo y el genotipo. Además, el desarrollo de explicaciones deterministas puede verse afectado por experiencias y valores personales (Castéra y Clément, 2014; Carver et al., 2017), por lo que, si se hubiera escogido otra característica fenotípica o contexto, el resultado podría haber sido diferente.

Estas limitaciones nos han llevado a seguir investigando sobre los procesos de evaluación y crítica en la era de la posverdad, y justifican la necesidad de realizar estudios que desvelen los principales problemas a los que enfrentarse en la enseñanza de genética y enfermedades en este nuevo contexto que se nos presenta.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por FEDER/Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades – Agencia Estatal de Investigación/ Proyecto ESPIGA («Promoviendo el Desarrollo del Pensamiento Crítico y de las dimensiones de Implicación Cognitiva y Emocional de los desempeños Epistémicos en las Clases de Ciencias en la Era de la Posverdad»), referencia PGC2018-096581-B-C22. A los revisores, al alumnado y al profesor participante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ageitos, N., Puig, B. y Calvo-Peña, X. (2017). Trabajar genética y enfermedades en secundaria integrando la modelización y la argumentación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 86-97.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i1.07
- Aivelo T. y Uitto, A. (2015). Genetic determinism in the Finnish upper secondary school biology textbooks. *Nordic Studies in Science Education*, 11(2), 139-152.
<https://doi.org/10.5617/nordina.2042>.
- Ayuso, G. E. y Banet, E. (2002). Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(1), 133-157.
- Berland, L. K. y Reiser, B. J. (2011). Classroom communities' adaptations of the practice of scientific argumentation. *Science Education*, 95(2), 191-216.
<https://doi.org/10.1002/sce.20420>
- Caballero Armenta, M. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), 227-244.

- Carver, R. B., Castéra J., Gericke, N., Evangelista, N. A. y El-Hani, C. N. (2017). Young Adults' belief in genetic determinism, and knowledge and attitudes towards modern genetics and genomics: the PUGGS questionnaire. *PLoS One*, 12(1).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169808>
- Castéra, J., Bruguier, C. y Clément, P. (2008). Genetic diseases and genetic determinism models in French secondary school biology textbooks. *Journal of Biological Education*, 42(2), 53-59.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2008.9656111>
- Castéra, J. y Clément, P. (2014). Teachers' conceptions about genetic determinism of human behaviour: a survey in 23 countries. *Science Education*, 23, 417-443.
<https://doi.org/10.1007/s11191-012-9494-0>
- Castéra, J., Clément, P. y Abrougui, M. (2008). Genetic determinism in school textbooks: A comparative study among sixteen countries. *Science Education International*, 19(2), 163-184.
- Chapman, R., Likhanov, M., Selita, F., Zakharov, I., Smith-Woolley, E. y Kovas, Y. (2019). New literacy challenge for the twenty-first century: genetic knowledge is poor even among well illustrated. *Journal of Community Genetics*, 10, 73-84.
<https://doi.org/10.1007/s12687-018-0363-7>
- Donovan, J. y Venville, G. (2014). Blood and Bones: The Influence of the Mass Media on Australian Primary School Children's Understandings of Genes and DNA. *Science & Education*, 23, 325-360.
<https://doi.org/10.1007/s11191-012-9491-3>
- Dougherty M. J. (2009). Closing the Gap: Inverting the Genetics Curriculum to Ensure an Informed Public. *The American Journal of Human Genetics*, 85(1), 6-12.
<https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2009.05.010>
- Duncan, R. G., Choi, J., Castro-Faix, M. y Vaver, V. L. (2017). A Study of Two Instructional Sequences Informed by Alternative Learning Progressions in Genetics. *Science & Education*, 26, 1115-1141.
<https://doi.org/10.1007/s11191-017-9932-0>
- Duncan, R. G. y Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 938-959.
<https://doi.org/10.1002/tea.20186>
- Duncan, R. G., Rogat, A. D. y Yarden, A. (2009). A Learning Progression for Deepening Students' Understandings of Modern Genetics Across the 5th-10th Grades. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 655-674.
<https://doi.org/10.1002/tea.20312>
- Feinstein, N. W., Allen, S. y Jenkins, E. (2013). Outside the pipeline: reimagining science education for nonscientists. *Science*, 340, 314-317.
<https://doi.org/10.1126/science.1230855>
- Ford, M. (2008). 'Grasp of Practice' as a Reasoning Resource for Inquiry and Nature of Science Understanding. *Science & Education*, 17, 147-177.
<https://doi.org/10.1007/s11191-006-9045-7>
- Ford, M. (2012). A dialogic account of sense-making in scientific argumentation and reasoning. *Cognition and Instruction*, 30(3), 207-245.
<https://doi.org/10.1080/07370008.2012.689383>
- Freidenreich, H. B., Duncan, R. G. y Shea, N. A. (2011). Exploring middle school students' understanding of three conceptual models in genetics. *International Journal of Science Education*, 33(17), 2323-2350.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2010.536997>

- Gee, J. P. (2011). *An introduction to discourse analyses. Theory and method*. UK: Routledge.
- Gericke N., Hagberg M., dos Santos V., Joaquim L. y El-Hani C. (2014). Conceptual Variation or Incoherence? Textbook Discourse on Genes in Six Countries. *Science & Education*, 23(2), 381-416. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9499-8>
- Gericke, N. y Wahlberg, S. (2013) Clusters of concepts in molecular genetics: a study of Swedish upper secondary science students understanding. *Journal of Biological Education*, 47(2), 73-83. <https://doi.org/10.1080/00219266.2012.716785>
- Gilbert, J. K., Osborne, R. J. y Fensham, P. J. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66, 623-633. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660412>
- González-Howard, M. y McNeill, K. L. (2017). Variation in how teachers support critique in argumentation discussions. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Antonio, TX.
- Harding, B., Egan, R., Kannu, P. y MacKenzie, J. (2017). Parents' understanding of genetics and heritability. *Journal of Genetic Counseling*, 26, 541-547. <https://doi.org/10.1007/s10897-016-0021-3>
- Henderson, J. B., MacPherson, A., Osborne, J. y Wild, A. (2015). Beyond construction: Five arguments for the role and value of critique in learning science. *International Journal of Science Education*, 37(10), 1668-1697. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1043598>
- Jamieson, A. y Radick, G. (2017). Genetic Determinism in the Genetics Curriculum. An Exploratory Study of the Effects of Mendelian and Weldonian Emphases. *Science & Education*, 26, 1261-1290. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9900-8>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). *10 ideas clave: Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2014). Determinism and Underdetermination in Genetics: Implications for Students' Engagement in Argumentation and Epistemic Practices. *Science & Education*, 23(2), 465-484. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1043598>
- Jiménez Aleixandre, M. P., Bravo Torija, B. y Puig, B. (2009). ¿Cómo aprende el alumnado a usar y evaluar pruebas? *Aula de Innovación Educativa*, 186, 10-12.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Bugallo, A. y Duschl, R. (2000). «Doing the Lesson» or «doing science» argument in high school genetics. *Science Education*, 84, 757-792. [https://doi.org/10.1002/1098-237X\(200011\)84:6<757::AID-SCE5>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1098-237X(200011)84:6<757::AID-SCE5>3.0.CO;2-F)
- Kampourakis, K. (2017). *Making Sense of Genes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Keller, E. F. (2009). *Century of the Gene*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kendler, K. S. (2005). A Gene for.: The Nature of Gene Action in Psychiatric Disorders. *American Journal of Psychiatry*, 162(7), 1243-1252. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.162.7.1243>
- Knippels, M. C. P. J. (2002). *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education: The yo-yo learning and teaching strategy*. Utrecht: CD-b Press.
- Lehrer R. y Schauble L. (2012). Seeding Evolutionary Thinking by engaging children in modeling its foundations. *Science Education*, 96, 701-704. <https://doi.org/10.1002/sce.20475>
- Lewis, J., Leach, J. y Wood-Robinson, C. (2000). Chromosomes: The missing link-young people's understanding of mitosis, meiosis and fertilization. *Journal of Biological Education*, 34(4), 189-199. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655717>

- Lewontin, R. (2000). *The Triple Helix: Gene, Organism, Environment*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Marbach-Ad G (2001). Attempting to break the code in student comprehension of genetic concepts. *Journal of Biology Education*, 35(4), 183-189.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2001.9655775>
- Marbach-Ad G. y Stavy R. (2000). Students cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biology Education*, 34(4), 200-205.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655718>
- Martínez-Gracia, M. V., Gil-Quílez, M. J. y Osada, J. (2006). Analysis of molecular genetics content in Spanish secondary school textbooks. *Journal of Biological Education*, 40(2), 53-60.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2006.9656014>
- Puig, B., Ageitos, N. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2017). Learning gene expression through modelling and argumentation. A study exploring the connections between the worlds of knowledge. *Science & Education*, 119-122.
<https://doi.org/10.1007/s11191-017-9943-x>
- Puig, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2011). Different music to the same score: teaching about genes, environment, and human performances. En T. D. Sadler (Ed.), *Socioscientific Issues in the Classroom. Teaching, Learning and Research* (pp. 201-238). Nueva York: Springer.
- Puig, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2015). El modelo de expresión de los genes y el determinismo en los libros de texto de ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 55-65. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.05<http://reure-dc.uca.es>
- Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Boletín Oficial del Estado, 3 de enero de 2015, 3, 169-546.
- Reinagel, A. y Bray Speth, E. (2016). Beyond the central dogma: model-based learning of how genes determine phenotypes. *CBE Life Science Education*, 15(1).
<https://doi.org/10.1187/cbe.15-04-0105>
- Sadler, T. D. y Fowler, S. R. (2006). A threshold model of content knowledge transfer for socioscientific argumentation. *Science Education*, 90, 986-1004.
<https://doi.org/10.1002/sce.20165>
- Sanmartí, N., Burgos, B. y Nuño, T. (2011). ¿Por qué el alumnado tiene dificultad para utilizar sus conocimientos científicos escolares en situaciones cotidianas? *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 67, 62-69.
- Shostak, S., Freese, J., Link, B. G. y Phelan, J. C. (2009). The politics of the gene: social status and beliefs about genetics for individual outcomes. *Social Psychology Quarterly*, 72(1), 77-93.
<https://doi.org/10.1177/019027250907200107>
- Todd, A. y Kenyon, L. (2016). Empirical refinements of a molecular genetics learning progression: the molecular constructs. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(9), 1385-1418.
<https://doi.org/10.1002/tea.21262>
- Zohar, A. y Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 35-62.
<https://doi.org/10.1002/tea.10008>

The examination of determinism in a genetics activity about an animal disease

Noa Ageitos, Blanca Puig

Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidade de Santiago de Compostela, A Coruña, España

noa.ageitos@edu.xunta.es; blanca.puig@usc.es

This study seeks to explore secondary students discourse while engaging in an argumentation task that requires using data and evaluating a deterministic model of gene expression. This paper aims to examine students written and oral arguments to identify their positions on the model of gene expression and their ability to critically evaluate a deterministic model. Two research questions drive this study: 1) How are the positions of the students in the written discourse when applying and evaluating a model of gene expression to explain an animal disease? and 2) what is the critical capacity shown in the oral discourse of the students to evaluate a deterministic model in this context? The methodological approach of this case study is qualitative and draws on discourse analysis. For the identification of students' views on the model of gene expression a rubric was adapted based on the categories proposed by Puig & Jiménez-Aleixandre (2011).

The results of the first research question show that students were capable of building an interactionist explanation to explain the development of an animal disease, but they had difficulties to critically assess a deterministic model. The analysis shows changes in students' positions regarding determinism throughout the task. Drawing from these results, an educational implication would be to further explore the relationships between deterministic positions and critical thinking in the biology classroom.



Análisis del uso de un simulador de colisiones para resolver un accidente de tráfico

Analysis of the use of a collision simulator to solve a traffic accident

Víctor López-Simó

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals (UAB)

David Ferrer Sánchez

INS Pius Font i Quer

RESUMEN • Analizamos el uso que dan estudiantes de 2.º de ESO a una simulación virtual sobre colisiones en un proyecto sobre física aplicada a accidentes de tráfico, donde los estudiantes actúan como peritos, abogados y jueces. Los resultados muestran que la simulación es el recurso más usado por los estudiantes en sus argumentaciones, en comparación con otros recursos como experimentos reales con coches de juguete y otros análisis cinemáticos como gráficas y cálculos. A su vez, observamos que estas argumentaciones a menudo son incompletas e incorporan concepciones erróneas sobre la naturaleza virtual e idealizada de la simulación. Identificamos, por tanto, la necesidad de abordar no solo la comprensión conceptual y procedimental de las simulaciones, sino también epistémicas, durante su proceso de enseñanza y aprendizaje.

PALABRAS CLAVE: Simulación; Modelo; Colisión; Física; Argumentación.

ABSTRACT • We analyse how secondary students use a collision simulator within an applied physics project about traffic accidents, in which students act as experts, lawyers and judges. The results show that this simulator is the most used resource by students in their arguments, compared to other resources such as real experiments with toy cars and other kinematic analyses such as graphs or calculations. We also note that these arguments are often incomplete, and they include misconceptions about the virtual and idealized nature of simulations. We identify, therefore, the need to address not only the conceptual and procedural understanding of simulations, but also its epistemology.

KEYWORDS: Simulation; Model; Collision; Physics; Argumentation.

Recepción: mayo 2020 • Aceptación: marzo 2021

López-Simó, V. y Ferrer Sánchez, D. (2021). Análisis del uso de un simulador de colisiones para resolver un accidente de tráfico. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 51-70.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3330>

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la escuela está viviendo la eclosión de enfoques didácticos que abogan por un papel más activo del alumnado en su proceso de aprendizaje y de unas prácticas educativas más significativas y vivenciales. La progresiva implantación del trabajo por proyectos (ABP) en muchos centros de nuestra geografía es una muestra de este momento de efervescencia (Márquez y Sanmartí, 2017), aunque hay que tener en cuenta que estas propuestas metodológicas no son una novedad en sí mismas, pues tienen su origen en las propuestas pedagógicas de Dewey o Kilpatrick en las primeras décadas del siglo XX (Hasni et al., 2016). En el ámbito STEM, se han identificado algunas tensiones que surgen a la hora de diseñar proyectos ABP, como la selección de qué reto se propone al alumnado, qué nivel de interacción entre diferentes disciplinas, qué grado de relevancia se da al fenómeno o contexto de estudio, o qué forma se da a la evaluación de aprendizaje del alumnado (Pérez et al., 2020).

El proyecto CRASH (Domènech-Casal et al., 2018) es un ejemplo de esta oleada de proyectos escolares, diseñado a través de la colaboración entre profesorado y llevado a la práctica en más de una veintena de centros de secundaria en los cuatro últimos cursos. En este proyecto se propone a los estudiantes la resolución de un caso ficticio, pero con una gran dosis de realismo: un accidente de tráfico con varios vehículos implicados, marcas en la carretera y declaraciones de testigos. A lo largo del proyecto el alumnado debe recopilar diferentes informaciones, simular cómo ha sido el accidente (mediante cálculos, estimaciones y experimentos reales y virtuales) y resolver el caso a través de una teatralización donde los propios estudiantes simulan ser las partes implicadas: abogados, peritos judiciales e incluso jueces. Esta teatralización en el marco de una narración ficticia es lo que se denomina juego de rol (Matas, 2003), una estrategia didáctica con múltiples potencialidades para el desarrollo de habilidades y actitudes en el ámbito científico (Blanco-López et al., 2017). Además, de este modo, el proyecto no solo promueve habilidades científicas, sino que incide en la educación vial del alumnado (Montané et al., 2007).

MARCO TEÓRICO

El desarrollo de prácticas científicas en el aula a través del estudio de casos, juegos de rol y argumentación

En esta eclosión de una enseñanza-aprendizaje significativa, enfocada hacia el desarrollo de competencias y con un papel más activo del estudiante, el marco de las prácticas científicas está generando una gran adhesión en el área de la didáctica de las ciencias. Este marco sugiere que la educación científica debe ofrecer al alumnado la experiencia de participar de unas prácticas científicas auténticas, genuinas y análogas a las de la ciencia real (Osborne, 2014). Esta manera de entender las clases de ciencia se refleja en el nuevo currículum de los Estados Unidos de América, donde la National Research Council concreta ocho prácticas científicas que promover en el aula: plantearse preguntas sobre fenómenos naturales relevantes para la ciencia; desarrollar y usar modelos científicos; planificar y llevar a cabo investigaciones; analizar e interpretar datos experimentales; usar pensamiento computacional y matemático; construir explicaciones y diseñar soluciones; argumentar científicamente basándose en pruebas; y comunicar a la comunidad los resultados de la actividad científica. Además, se trata de una propuesta coherente con el marco de las competencias científicas (Crujeiras y Jiménez-Aleixandre, 2012).

Así, las clases de ciencias no deben centrarse en la asimilación de contenidos que transmite el docente (las ideas o modelos científicos descritos en el libro de texto tradicional), sino en el proceso de construcción y refinamiento de las explicaciones o modelos que construyen progresivamente los estudiantes sobre los fenómenos del mundo natural a los que se enfrentan. Coincidiendo con la idea

de Izquierdo et al. (1999) según la cual el auténtico aprendizaje de la ciencia escolar es, en el fondo, el proceso de «pensar, hacer y hablar» ciencia, Osborne (2014) propone considerar tres esferas interrelacionadas de la práctica científica en el aula: modelización, indagación y argumentación (Couso et al., 2020). Así, la modelización puede entenderse como el proceso que implica desarrollar, evaluar y refinar explicaciones científicas sobre fenómenos naturales (Justi, 2006; Gutiérrez, 2004); la indagación es el proceso que conlleva diseñar y llevar a cabo experimentos y analizar e interpretar datos (Minner et al., 2010); y la argumentación puede entenderse como comunicar las ideas propias y las interpretaciones de los resultados para persuadir a los demás de su validez (Erduran y Jiménez-Aleixandre, 2007). Respecto a esta dimensión argumentativa, autores como Jiménez-Aleixandre et al. (2003) han analizado la calidad de las operaciones argumentativas del alumnado de afirmación y justificación, así como las operaciones epistémicas de construcción de explicaciones a través de datos.

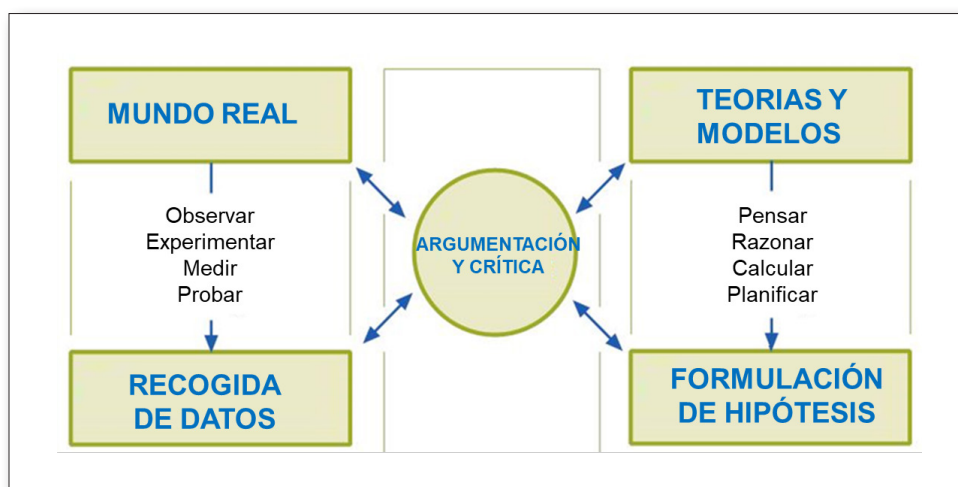


Fig. 1. Modelo de la actividad científica propuesto por Osborne (2014).

Las estrategias y enfoques para involucrar al alumnado en estas prácticas científicas son múltiples, híbridas y complementarias, y su caracterización exhaustiva escapa al alcance de este documento, pues va desde la ciencia presentada a través de contexto, la modelización basada en la indagación, las controversias sociocientíficas, el aprendizaje basado en proyectos, el juego de rol, etc. Dentro del ABP, Domenech-Casal (2019a), inspirado en prácticas educativas propias de otros ámbitos como la genética forense, propone el enfoque «Resolución de un caso», que incluye aspectos como una situación inicial contextualizada (real o verosímil), que a su vez contiene un problema para resolver a partir de la interpretación y ponderación de pruebas, el uso instrumental de modelos teóricos y dinámicas de discusión y argumentación. Según este autor, el método de caso dirigido es un tipo concreto de estudios de caso: se proporcionan al alumnado nuevas pruebas de forma paulatina (Glew, 2003; Herreid, 2003), se emula la forma en que en la ciencia aparecen las evidencias y esto provoca cambios en las conclusiones. En paralelo a la resolución del problema, los alumnos reciben clases teóricas sobre los modelos científicos implicados para que establezcan conexiones entre dichos modelos científicos y el contexto en que se ubica el problema que debe resolverse.

La resolución de un caso puede hacerse también a través de un juego de rol, es decir, una dinámica donde los estudiantes simulan ser un personaje ficticio dentro de una narrativa. El juego de rol ha sido una estrategia didáctica señalada en la literatura del ámbito de la enseñanza de las ciencias con múltiples potencialidades para el desarrollo de habilidades y actitudes. Blanco-López et al. (2017) señalan el juego de rol como una de las estrategias eficaces para promover el pensamiento crítico en el

ámbito científico, y Anta et al. (2019) añaden que también tiene potencial en la formación inicial de profesorado. González-Sánchez (2017) identifica una percepción positiva del alumnado de ESO de esta estrategia didáctica para mejorar las habilidades de argumentación y de hablar en público, para aprender a defender argumentos y discriminar información fiable; y Pons y de Soto (2020) identifican un impacto positivo en la motivación hacia las ciencias en bachillerato.

El papel de las simulaciones virtuales para el desarrollo de prácticas científicas en el aula

En consonancia con este planteamiento, que aboga por involucrar a los estudiantes en «hacer ciencia», el desarrollo de la tecnología digital ha permitido y facilitado el crecimiento de las simulaciones y laboratorios virtuales con finalidades educativas. Estos recursos se pueden definir como representaciones dinámicas generadas por computadora de modelos, procesos o fenómenos del mundo real (Smetana y Bell, 2012). Pueden identificarse como mediadores en la relación entre la realidad y los modelos o teorías científicas, y ofrecen posibles interacciones entre los modelos mentales de los estudiantes sobre un tema determinado y los modelos científicos subyacentes tras la simulación (Evagorou et al., 2009; Gutiérrez y Pintó, 2004). Se han hallado resultados sobre su eficiencia para representar fenómenos científicos complejos sin ningún tipo de riesgo experimental (Smetana y Bell, 2012), para ayudar al alumnado a comprender de conceptos científicos difíciles (Plass et al., 2012) y para fomentar la interactividad y el dinamismo (Ryoo y Linn, 2012), así como el compromiso y la motivación del alumnado (Honey y Hilton, 2011). Por otro lado, algunos riesgos de utilizar la simulación se han destacado en la literatura, como la falta de realismo en comparación con los escenarios reales basados en problemas (Byrne et al., 2010), dificultades para comprender las representaciones virtuales (López y Pintó, 2017) o puntos de vista parciales sobre los fenómenos naturales, causados por los resultados preprogramados excesivamente idealizados que muestran estas herramientas educativas (Vallverdú, 2014). En este sentido, Pessanha (2014) relacionó los obstáculos epistemológicos definidos por Bachelard en el uso de simulaciones de física en secundaria.

Otra cuestión particular que ha centrado parte del debate sobre el uso de estos recursos en el aula de ciencia, y que toma una gran relevancia en nuestro caso, es hasta qué punto las simulaciones y laboratorios virtuales pueden complementar o incluso sustituir los experimentos físicos realizados en laboratorios reales. La literatura no aporta una respuesta clara a esta cuestión. Klahr et al. (2006) compararon el efecto que tiene el soporte real (interactuar con objetos físicos) y virtual (interactuar mediante el ordenador) en el aprendizaje de estudiantes de escuela media que experimentaban con coches de juguete, pero no encontraron diferencias significativas. En investigaciones parecidas en el contexto de enseñanza de la electricidad (Zacharia, 2007), termodinámica (Zacharia et al., 2008) u óptica (Olympiou y Zacharia, 2012), se observó que la combinación de simulaciones y experimentos manipulativos mejoró la comprensión conceptual de los estudiantes más que el uso exclusivo del soporte manipulativo. Jong et al. (2013) afirman que los experimentos virtuales aportan un valor añadido para los experimentos reales cuando muestran a los estudiantes fenómenos no observables, se señala la información relevante y adaptada al estudiante y permite realizar múltiples experimentos en una pequeña cantidad de tiempo. Finalmente, para el caso concreto de la educación vial, Fernández, Ávila y Milanés (2017) han observado un impacto positivo de las animaciones 3D en el aprendizaje de la educación vial en educación secundaria.

La simulación Collision Lab

Una de las muchas simulaciones virtuales que existen disponibles para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias es la denominada *Collision Lab* (PhET, 2020). Se trata de una simulación computacional

elaborada por PhET de Colorado (Wieman et al., 2008) para reproducir colisiones entre dos cuerpos circulares. A partir de los parámetros iniciales de posición y velocidad definidos por el usuario, y en función de si se quiere reproducir un choque elástico o inelástico, en la simulación aparece representado el choque, que funciona a partir de las leyes dinámicas de conservación del momento lineal y, en caso de los choques elásticos, de la energía cinética del sistema. Así, cambiando los parámetros iniciales del choque, se puede reproducir tantos choques como desee el usuario. Por ejemplo, en la figura 2 se observan vectores que representan la dirección e intensidad de la velocidad en cada momento, y cómo después de la colisión el cambio de velocidad es mayor en el objeto 1, ya que su masa es mucho menor.

Hay que tener en cuenta que el conocimiento en profundidad y matematizado de estas leyes de conservación no son un objetivo de aprendizaje de la ESO (López et al., 2020), sino que se estudian en Física de Bachillerato, pero sí que es posible deducir algunas relaciones cualitativas en edades más tempranas, como por ejemplo la influencia de la masa y la velocidad de cada cuerpo circular en la colisión. Además, como ocurre con muchas simulaciones, ofrece un alto grado de interactividad inmediata que promueve y facilita su uso por parte del alumnado (Ryoo y Linn, 2012).

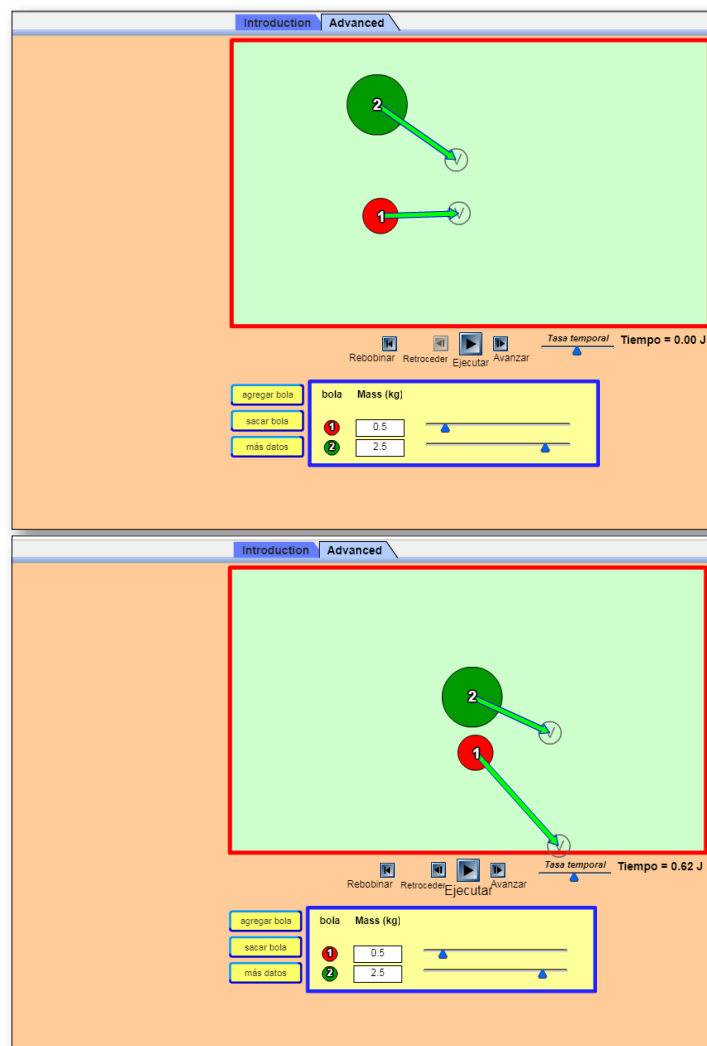


Fig. 2. Situación antes y después de la colisión de dos objetos circulares de masa distinta (0,5 y 2,5 kg).

OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación nos proponemos conocer cómo es el uso que hacen de la simulación *Collision Lab* los estudiantes de 2.º de ESO de dos centros públicos en Cataluña, en el marco de un juego de rol sobre resolución de un accidente de tráfico.

Para ello, planteamos dos preguntas de investigación:

- Pregunta de investigación 1: ¿Cómo de frecuente es *Collision Lab* como prueba para argumentar sobre un accidente de tráfico en comparación con otros tipos de prueba?
- Pregunta de investigación 2: ¿Cómo argumentan los estudiantes cuando usan la simulación *Collision Lab* para apoyar su versión del accidente de tráfico?

METODOLOGÍA

Contexto y participantes

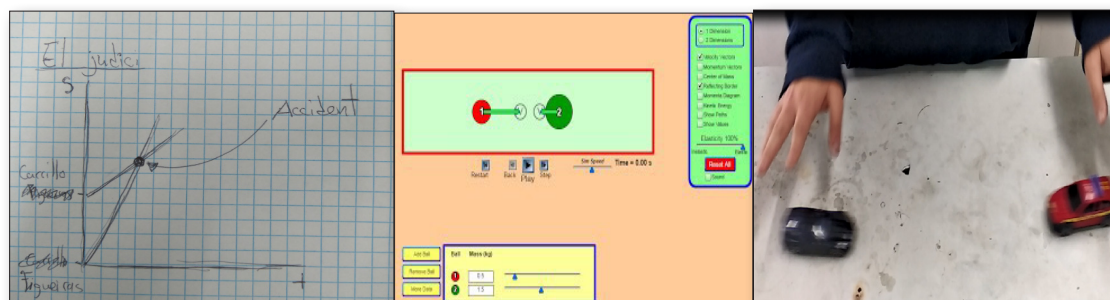
Durante el curso 2018-19 dos profesores de ciencias, autores de la publicación, implementamos el proyecto CRASH en la asignatura de Física y Química en dos centros públicos de secundaria en Cataluña: el INS Pau Vila, situado en la ciudad de Sabadell, y el INS Pius Font i Quer, situado en la ciudad de Manresa. En ambos casos involucramos a dos grupos clase de 2.º de ESO, todos ellos de entre 30 y 31 estudiantes. Los 4 grupos clase (2 en cada centro) eran grupos heterogéneos de alumnado, con un 50 % de chicos y un 50 % de chicas, y con un posicionamiento hacia el aprendizaje de las ciencias y un rendimiento académico muy variados. Ambos centros reciben alumnado de los barrios colindantes, con un el perfil socioeconómico medio y medio-alto.

En este proyecto se propone a los estudiantes la resolución de un caso ficticio, pero con una gran dosis de realismo: un accidente de tráfico con varios conductores implicados, marcas en la carretera y declaraciones de testigos (figura 3). Poniéndose en el papel de peritos judiciales, de abogados y de jueces, los estudiantes deben aprender conceptos básicos de física y, a la par, construir una reproducción lo más verosímil posible de qué responsabilidad tenían los conductores implicados (Domènech-Casal et al., 2018).

6. Caso Barrero contra Room.		
CODIGO DE SINISTRO: 030117-001		ESCENARIO
Testimonio 1:  E. Barrero	Conductor coche rojo. “Yo iba por el carril de la derecha dirigiéndome recto hacia el Carrer de la Pau. Ella se incorporó de donde estaba aparcada sin mirar y me golpeó el costado del coche. Iba más rápido que yo. Perdí el control y acabé chocando con el muro”.	Visitar Google Maps para analizar mejor la situación:  Coordenadas GPS: 41.740438, 1.836460
Testimonio 2:  F. Room	Conductora coche azul. “Estaba aparcada i me incorporé, no venia ningún coche por el carril de la derecha y, de golpe senti un impacto muy fuerte. No sé de dónde salió, iba más rápido que yo y me envié hacia los matorrales.”	
Testimonio 3:  C. Diez	Alumna saliendo del instituto: “No vi el accidente, pero sí a los dos coches antes de que se produjera. Eso sí, el coche rojo iba más rápido que el coche azul. No sé si iba por el carril de la derecha o el de la izquierda.”	
Características vehículos: Coche rojo: TARA: 1200 Kg. Coche azul: TARA: 1200 Kg.		Daños e impactos: Se ha roto el muro del instituto.

Fig. 3. Ficha de uno de los casos con datos relevantes del caso.

El desarrollo del proyecto incluye diferentes actividades (figura 4), en las que los estudiantes deben aprender, de forma progresiva, a representar e interpretar gráficos posición-tiempo, a distinguir entre movimientos uniformes y no uniformes, o a explicar la relación entre masa y cambio de velocidad (2.ª ley de Newton), entre otros.


Fig. 4. Tres ejemplos de actividades en las que se involucra el alumnado a lo largo del proyecto: elaboración de gráficos posición tiempo, simulación con *Collision Lab* y simulación con coches de juguete.

El proyecto CRASH termina con una resolución de un caso como el de la figura 3, en el que los estudiantes, en pequeños grupos (de 3 o 4 estudiantes), debían aportar una versión narrada de cómo ha sido alguno de los accidentes. Para ello, tenían que exponer oralmente delante del resto de la clase su versión de los hechos, durante un periodo corto de tiempo (unos 10 minutos). La narrativa para presentar esta versión del accidente difirió ligeramente en ambos centros. En el caso del INS Pau Vila, los estudiantes simulaban ser abogados de acusación, abogados de defensa y jueces, y celebraron un juicio oral en la que los jueces debían dirimir sobre la culpabilidad de los responsables implicados en el accidente de tráfico. El resto de los estudiantes del grupo clase hacían de público del juicio (ver figura 5). En cambio, en el INS Pius Font i Quer los estudiantes simulaban ser peritos judiciales que mostraban sus análisis y su versión de los hechos al juez (el profesor).

A pesar de esta diferencia en la forma de presentar las evidencias, en ambos casos los estudiantes debían ofrecer la versión más verosímil y consistente de cómo había sucedido el accidente del caso que se les había adjudicado, y para ello, durante su exposición oral, los estudiantes podían incluir en su elección cualquier tipo de prueba pericial para reforzar su versión de los hechos, a partir de las diferentes actividades realizadas a lo largo del proyecto: vídeos de experimentos con coches de juguetes, vídeos de experimentos con la simulación *Collision Lab*, cálculos y gráficos realizados por los propios estudiantes, etc. En ambos casos los jueces (en un caso los propios estudiantes y en el otro el profesor) eran los responsables de hacer preguntas para poner a prueba la solidez de los argumentos usados por las partes y los peritos.

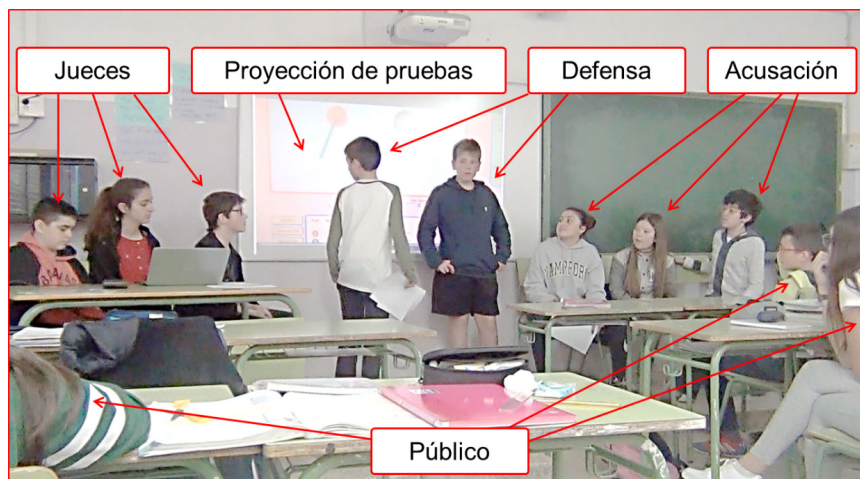


Fig. 5. Representación teatralizada de un juicio oral con jueces, defensa, acusación y público, celebrada en el INS Pau Vila. Todos los menores cuentan con un permiso para publicar sus imágenes.

El desarrollo de los argumentos presentados oralmente para exponer su versión de los hechos llevó a los autores del artículo a interesarnos por cuál era el uso que los estudiantes hacían de la simulación *Collision Lab*, cuyo uso, como ya hemos dicho, era opcional, pero resultó ser muy versátil. Por este motivo decidimos analizar cuál había sido su uso, a través de la investigación que aquí presentamos.

Recogida de datos

Ambos profesores recogimos datos durante las sesiones, en las que los estudiantes presentaban oralmente y en pequeños grupos los resultados de su estudio de caso. En total se registraron, a través de ví-

deo y de notas de campo, 8 presentaciones en cada uno de los dos institutos, de manera que se disponía de un total de 16 unidades de análisis. Esta recogida de datos se realizó entre febrero y abril de 2019.

Análisis de qué tipos de recursos usan en la resolución del caso

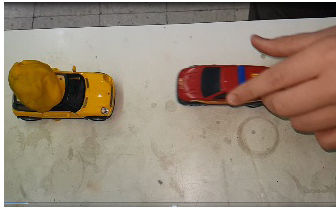
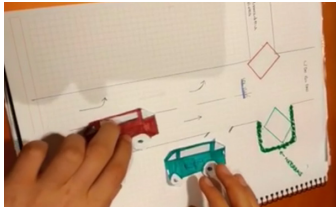
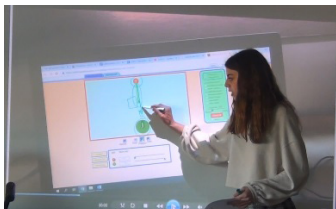
Así, para responder a la primera pregunta de investigación, cada profesor elaboró una tabla donde se recogieron las diferentes notas de campo que habíamos escrito durante la exposición de la resolución del caso en cada grupo. Posteriormente, cada tabla se complementó con nuevas notas obtenidas a partir del visionado posterior de los vídeos. Una vez hecho esto, ambos profesores pusimos en común ambas tablas, y acordamos generar un sistema de categorías para clasificar los recursos que habían usado los estudiantes que permitiera posteriormente hacer un recuento de la prevalencia de uso de estos recursos, para así poder compararlos entre ellos y responder a la pregunta de investigación 1.

De este modo, para establecer este sistema de categorías, en primer lugar, se descartaron todas las pruebas de carácter anecdótico o fantasioso, que no tenían relación con el contenido de física estudiado en clase. Así, se dejaron de lado las imágenes de cámaras de seguridad o los testigos inventados por los estudiantes, registros de llamadas de teléfono móvil, que demostraban que los conductores lo estaban usando en el momento del accidente, o normas de circulación inventadas. Una vez que nos quedamos solamente con las pruebas relacionadas con ideas de cinemática y dinámica (posición, velocidad, fuerzas, masa, trayectoria, impulso, etc.), agrupamos de forma inductiva las pruebas utilizadas en cada presentación, con lo que se obtuvo un sistema con 4 tipologías:

- Los *experimentos reales* realizados con coches de juguete. En este tipo de pruebas, los estudiantes lanzaban coches sobre una mesa, teniendo en cuenta la posición y la velocidad antes del choque, para determinar así la posición y velocidad después de la colisión. En algunos casos, los estudiantes ajustaban la masa de los vehículos añadiendo trozos de plastilina a los coches.
- Los *experimentos virtuales* realizados con *Collision Lab*. Igual que en las pruebas anteriores, los estudiantes determinaban la masa, la posición y la velocidad de cada vehículo antes del choque, y la propia simulación determinaba la posición y velocidad después de este.
- Las *animaciones manuales* realizadas con coches de juguete, con otros objetos físicos o con objetos virtuales con presentaciones PPT. A diferencia de los casos anteriores, no existe experimento en sí mismo, sino que los estudiantes narran mediante una animación con la que ellos deciden manualmente el comportamiento físico de cada vehículo durante la colisión.
- Los *gráficos cinemáticos* de posición-tiempo o velocidad-tiempo, así como *cálculos* usando las ecuaciones del MRU. Son reconstrucciones realizadas por los estudiantes sin un origen empírico o experimental, sino que son valores inventados por los estudiantes, a menudo para tratar de explicar lo que creen que ha pasado.

Estas 4 categorías, a su vez, pueden organizarse a través de 2 dimensiones, tal y como se muestra en la tabla 1. Por un lado, si las pruebas que presenta el alumnado operan con representaciones realistas (se asemejan visualmente a un vehículo) o abstractas (vectores y magnitudes cinemáticas). Por otro, si lleva asociada una práctica de exploración o de expresión. Así, mientras que en la columna de la izquierda el estudiante «explora» el posible fenómeno simulado (ya sea a través de una maqueta o una simulación computacional), en la de la derecha «expresa» su idea de cómo ha podido ser el accidente, pero no opera con datos que haya simulado.

Tabla 1. Clasificación propuesta de recursos utilizados por el alumnado para la resolución del caso de accidente de tráfico, usada para el análisis de qué tipos de recursos usan en la resolución del caso.

	Exploración (opera con datos simulados y los compara con los datos reales)	Expresión (intenta dar sentido a los datos reales sin usar datos simulados)
Se opera con representaciones realistas de los coches y su comportamiento	Experimento real 	Animación manual 
Se opera con representaciones abstractas de magnitudes físicas (vectores, magnitudes cinemáticas).	Experimento virtual 	Gráficos y cálculos cinemáticos 

Análisis de la argumentación que hacen cuando usan la simulación *Collision Lab*

A su vez, para responder a la segunda pregunta, se analizaron y compararon los distintos episodios en los que la discusión de los estudiantes giraba en torno al uso del *Collision Lab*. Al hacerlo, pudimos observar diferencias en la manera de relacionar los elementos y entidades del propio caso «real» (las marcas de la carretera o la posición final de los vehículos, como los presentados en la figura 1) y los elementos y entidades que aportaba la simulación (las trayectorias en un choque ideal, como en la figura 3), que son una representación externa del modelo subyacente tras la simulación (Evagorou et al., 2009). A partir de esta idea, e inspirándonos en el diagrama de Osborne (2014) presentado en la figura 1, propusimos concebir la argumentación del alumnado como la forma en la que estos relacionan las entidades del mundo real con las provenientes de teorías y modelos, tal y como expresamos en la figura 6.

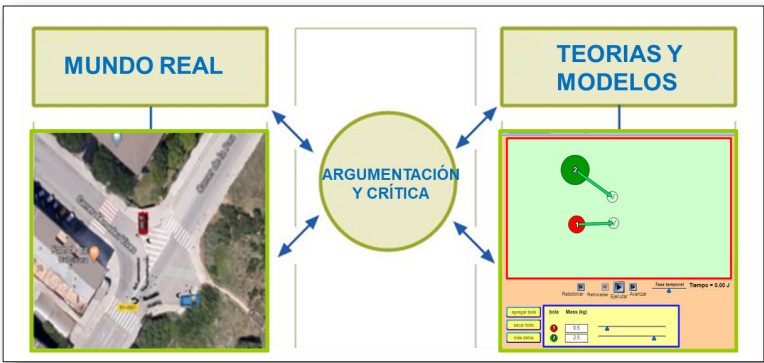


Fig. 6. Aplicación del diagrama de prácticas científicas (figura 1), donde los datos del caso (figura 3) se sitúan en «el mundo real», y la simulación del choque (figura 2) se sitúa en «teorías y modelos».

A su vez, a la hora de analizar los argumentos contruidos por los estudiantes, había que tener en cuenta si estaban hablando de lo que sucede antes del choque o después de este. Y es que las leyes físicas de una colisión que sirven para modelizar un accidente de tráfico como los planteados a los estudiantes son, en el fondo, la relación matematizada entre unos valores iniciales antes de la colisión (masa, velocidad, dirección, posición...) y unos valores finales resultantes de esta colisión (velocidad, dirección y posición después del choque). Así, si nos basamos en el diagrama de la figura 6 para clasificar qué elementos hablan los estudiantes, y añadimos la dimensión «antes/después de la colisión», podemos hablar de cuatro elementos de discusión, que hemos codificado como RA (real antes), RD (real después), VA (virtual antes) y VD (virtual después).

Tabla 2.
Taxonomía de los elementos de discusión
sobre la relación entre simulación y fenómeno real, usada para
el análisis cualitativo del uso de la simulación en la resolución de los casos.

	<i>Mundo Real</i>	<i>Teoría/modelo Virtual</i>
Movimiento Antes de la colisión	[RA] Es desconocido por el estudiante, aunque puede estar guiado por los testigos	[VA] Lo define el estudiante cuando introduce los parámetros de la colisión
Movimiento Después de la colisión	[RD] Se deduce de la ficha del caso, aunque con margen para la interpretación	[VD] Lo genera la simulación a partir de los parámetros antes de la colisión

Estos cuatro elementos serán los que servirán para definir las categorías del análisis cualitativo del uso de la simulación en la resolución de los casos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la pregunta de investigación 1: ¿Cómo de frecuente es Collision Lab como prueba para argumentar sobre un accidente de tráfico en comparación con otros tipos de prueba?

En la tabla 3 presentamos el número de estudiantes que, durante su exposición oral, eligieron usar cada tipo de pruebas, de acuerdo con la clasificación presentada anteriormente. Hay que tener en cuenta que la suma de los valores de las distintas filas de la tabla 3 no coincide con el número total de grupos (16 en cada centro), ya que algunos estudiantes presentaban más de una prueba y otros no presentaban ninguna prueba relevante desde el punto de vista físico.

Tabla 3.
Número de grupos de estudiantes que usan cada tipo de recurso.

	<i>INS Pau Vila</i> <i>N = 16 grupos</i>	<i>INS Pius Font i Quer</i> <i>N = 16 grupos</i>	<i>Total</i> <i>N = 32 grupos</i>
Experimento real (con coches de juguete)	5 (31 %)	1 (6 %)	6 (19 %)
Experimento virtual (con <i>Collision Lab</i>)	11 (69 %)	8 (50 %)	19 (59 %)
Animación manual (con coches de juguete o imágenes dinámicas)	2 (13 %)	5 (31 %)	7 (22 %)
Gráficos y cálculos cinemáticos	2 (13 %)	1 (6 %)	3 (9 %)

De acuerdo con los valores presentados en la tabla 3, se observa que las simulaciones con *Collision Lab* (clasificadas como experimento virtual en la tabla 1) son el tipo de pruebas más utilizadas en ambos centros, siendo usadas por el 69 y el 50 %, respectivamente. En segundo lugar, se encuentran las simulaciones con coches de juguete en el caso del INS Pau Vila (31 %), mientras que en el INS Pius Font i Quer el segundo recurso más usado son las animaciones manuales (31 %). A pesar de estas diferencias entre ambos centros, al usar la prueba Chi, estas resultan no ser estadísticamente significativas ($p = 0,24$), ya que se trata de una muestra muy pequeña.

Hay que tener en cuenta que en su momento no se preguntó explícitamente a los estudiantes el porqué de su elección, cosa que, visto en perspectiva, es una importante limitación, ya que no nos permite responder cuál fue el motivo de esta prevalencia de la simulación. No obstante, basándonos en la literatura, podemos identificar posibles causas, como la facilidad que ofrece *Collision Lab* para reproducir virtualmente el fenómeno en comparación con los coches de juguete reales (Klahr et al., 2006), o simplemente el hecho de que la simulación promueve una mayor motivación e interés en los estudiantes (Honey y Hilton, 2011). Otros posibles factores podrían ser la apariencia de rigor científico que ofrece la simulación frente a las demás representaciones, o incluso la predilección de los estudiantes por este tipo de representaciones debido a su cultura multimedia.

Para la pregunta de investigación 2: ¿Cómo argumentan los estudiantes cuando usan la simulación *Collision Lab* para apoyar su versión del accidente de tráfico?

Dentro de estos 19 grupos que optaron por usar la simulación como prueba pericial (un 59 % del total de grupos), se observaron diferencias en qué uso hicieron de esta, tanto si comparamos los grupos entre ellos como si comparamos los cambios en el discurso de un mismo grupo a lo largo de la presentación. Como se ha expuesto anteriormente, usar la simulación como prueba durante la reconstrucción de los hechos debía servir para discutir sobre la velocidad de los dos vehículos (usando expresiones como «los dos iban igual de rápido», «uno iba mucho más rápido que el otro», «el segundo vehículo estaba parado», etc.) y su posición relativa en el momento de la colisión («le golpeó por detrás», «le golpeó de lado», etc.). Para analizar esta cuestión, en la tabla 2 hemos propuesto una taxonomía de los elementos de discusión sobre la relación entre simulación y fenómeno real: RA (real antes), RD (real después), VA (virtual antes) y VD (virtual después).

Esta clasificación sobre los elementos de discusión permite analizar cómo los estudiantes construyen sus argumentos viendo la manera en la que conectan estos elementos entre ellos. Hemos definido tres niveles argumentativos, inspirándonos en el lenguaje de la lógica formal, que presentamos a continuación.

Nivel de argumentación 1: Si VA $\rightarrow$ demuestro RA

En sus presentaciones orales, algunos estudiantes usaban los valores de posición y velocidad que aparecían en la simulación antes del choque (VA), y que ellos mismos habían definido al usar la simulación, como si esto permitiera demostrar cuál había sido el movimiento real de alguno de los vehículos (RA). Es decir, que en su argumentación concebían la simulación como una evidencia en sí misma, sin necesidad de que tuviera relación con los datos a los que se enfrentaban.

En el siguiente ejemplo, se muestra un diálogo entre un chico que ejerce de acusación contra el conductor de un camión rojo (e intenta demostrar que este camión iba más rápido de la velocidad permitida) y una chica que ejerce de defensa del camión (e intenta convencer al juez que el camión conducía despacio):

Defensa: Un testigo dijo que el automóvil conducía por encima de la velocidad permitida y que el camión conducía más despacio.

Acusación: No. Como se indica aquí [señalando el vector velocidad del objeto que simula ser el camión en la simulación que el mismo aporta como prueba], el camión iba a más de 20 km/h, porque el automóvil conducía a 50 km/h, y puede ver que las dos velocidades eran muy similares. Eso explica por qué se produjo el accidente [señala los dos vectores a la vez, cuyo módulo es parecido].

Juez: Reproduzcamos el vídeo nuevamente [para ver si los dos vectores son iguales].

En esta discusión, se puede ver que para discutir qué pasó «de verdad» (RA) se usa la información de VA, cuando esta información ha sido directamente definida por la parte que pretende demostrar su versión de los hechos con la simulación.

Nivel de argumentación 2: Si $VD = RD \rightarrow demuestro RA = VA$

Otros estudiantes optaban por usar la simulación no como una evidencia en sí misma, como en el caso del nivel 1, sino como una evidencia en el caso que el resultado de la colisión virtual (VD), es decir, la posición y velocidad de los vehículos, coincidiera con los datos a los que se enfrentaban (RD). Es decir, usaron la similitud entre los resultados reales (de la ficha) y los virtuales (de la simulación) para justificar así su relato, pero sin contemplar la opción de otros relatos posibles. El objetivo de usar la simulación era, por tanto, validar un único relato.

Este es un extracto del relato de un estudiante que ejerce de acusación:

Acusación: Como podemos ver en esta simulación, el automóvil rojo corresponde a nuestra cliente, y el automóvil verde es el otro conductor. Podemos verificar que la versión de nuestra cliente era verdadera, porque su auto en la simulación termina en el mismo lugar donde ocurrió [en la realidad, según la ficha de su caso]. Podemos observar claramente que la responsabilidad del choque corresponde al auto verde, porque cambió de carril sin atención.

Es decir, como en la simulación los dos coches terminan en el mismo sitio que en la ficha del caso, esto lleva a que su versión sobre qué paso antes de la colisión sea la única versión posible.

Nivel de argumentación 3: Si $VD = RD \rightarrow quizás VA = RA$, pero también puede $VA' = RA'$

Finalmente, pudimos observar situaciones en la discusión entre las partes del juicio en las que se confrontaba más de un relato posible de la posición, la velocidad o la trayectoria de los vehículos implicados en el choque (RA, RA'...), todos ellos compatibles con una misma situación final (RD). La siguiente transcripción ejemplifica este tipo de discusiones, en la que una chica que hace de abogada de la defensa intenta demostrar que el coche verde fue arrollado por su cliente debido a que este vehículo iba más deprisa de lo normal, cosa que exculparía a su cliente. En cambio, la acusación usa otra simulación con *Collision Lab* donde el coche verde iba lento y, aun así, el conductor acusado lo arrolla:

Acusación: No podemos demostrar si su teoría [según la defensa, el coche verde iba demasiado rápido al incorporarse] es verdadera o falsa.

Defensa: ¡Mi cliente me lo dijo!

Juez: ¿Y cómo sabemos que su cliente dice la verdad?

Defensa: ¿Y cómo sabemos que ella [la acusación] dice la verdad?

(Ruido y risas)

Juez: [Al público] ¡Orden! [A la defensa] ¿Qué pruebas tienes?

Defensa: Con el *Collision Lab* realizamos una simulación del choque, introdujimos el peso correspondiente y la dirección de cada vehículo, definimos una velocidad más alta para este [vehículo verde], y los resultados coinciden con la posición final de los vehículos en las fotos.

Acusación: ¡Protesto, señoría! ¡Su vídeo termina casi igual que el nuestro! [una grabación de *Collision Lab* mostrada minutos antes donde el vehículo verde iba mucho más despacio y era arrollado igualmente].

Es decir, a diferencia de lo que ocurre en el nivel de argumentación 2, la coincidencia entre VD de la simulación y RD de la ficha del caso no implica demostrar una versión de RA, sino que puede ser compatible con varias versiones de RA, y por lo tanto solo se podrá usar la simulación como una prueba, si esta apoya una única versión del accidente, no varias.

A diferencia del análisis para la primera pregunta de investigación, para esta segunda cuestión no se ha podido realizar un recuento estadístico del uso de niveles, ya que el discurso de los estudiantes fue cambiando a lo largo de cada discusión, y porque al intervenir varios estudiantes a la vez en algunos casos los patrones se solapaban y evolucionaban de uno a otro. No obstante, como tendencia general, se observó una mayor frecuencia del uso de argumentos de nivel 2, ya que los estudiantes buscaban usar la simulación para que, si era coherente con los datos (RD), automáticamente demostrara su versión de los hechos. Los argumentos de nivel 1 fueron escasos, y a veces eran rebatidos durante el juicio por la otra parte, por los propios jueces (que eran alumnos en el caso del INS Pau Vila, y el profesor en el caso del INS Pius Font i Quer). Finalmente, los argumentos de nivel 3 fueron muy poco comunes al inicio de las presentaciones, pero a medida que la discusión avanzaba, especialmente en el INS Pau Vila, donde esta representaba la celebración de un juicio oral, su presencia fue creciendo en algunas de las discusiones donde se confrontaban versiones de los hechos contradictorias.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES DIDÁCTICAS

Este estudio ha permitido conocer, en primer lugar, que la simulación *Collision Lab* ha sido el recurso más elegido como prueba pericial por los estudiantes en ambos centros educativos, a pesar de que el profesorado de ambos centros en ningún momento condicionó su elección, sino que se fomentó que cada grupo de estudiantes eligiera de forma autónoma cómo querían presentar la reconstrucción de los hechos según su relato. Existen posibles causas específicas para esta prevalencia, asociadas a la interactividad y el interés que suscita este tipo de herramientas digitales (Klahr et al., 2006; Honey y Hilton, 2011; Widiyatmoko, 2018). Pero si bien es cierto que revisiones de la literatura como Rutten et al. (2012) señalan que las simulaciones de promedio suscitan una mayor motivación e interés en el alumnado en comparación con otros modos instruccionales, esta y otras revisiones, como las realizadas por Smetana y Bell (2011), ponen el énfasis en que las simulaciones, para mejorar su efectividad educativa, deben usarse para complementar, y no para suplantar otros formatos (como podría ser, en este caso, la experimentación con coches de juguete reales, la elaboración de animaciones manuales del accidente o la realización de gráficos), y también cuando se ofrece al alumnado andamiaje adecuado para su uso, del que hablamos en los siguientes párrafos. Además, este es un elemento para seguir investigando en futuras implementaciones del proyecto CRASH, ya que la mayoría de los estudios previos se han centrado en el uso de simulaciones desde una lógica de indagación y de modelización, y no como un elemento para la resolución de un caso realista como el que nos incumbe, donde lo importante es justamente cómo se conecta el mundo real con el que investigamos y el mundo de las teorías y modelos (Osborne, 2014). En este sentido, la doble naturaleza de las simulaciones propuesta por López et al. (2017) hace de estos instrumentos un recurso muy rico desde la perspectiva de la ciencia escolar, ya que a veces sirven para representar de forma realista el mundo real (actúan de versión de los fenómenos científicos escolares), otras para representar de forma abstracta las explicaciones que la ciencia hace del

mundo (actúan de versión de los modelos científicos escolares), y otras veces desempeñan un papel híbrido de conexión entre fenómeno y modelo.

En segundo lugar, el estudio ha permitido observar que, a pesar de elegir la simulación como prueba pericial, esta se concibe de distinta forma por parte del alumnado, y que la calidad de las operaciones argumentativas varía según el alumnado y evoluciona a lo largo de una discusión. Hemos visto casos en los que los estudiantes confunden los parámetros que ellos mismos han definido en la simulación con datos que puedan ser usados como prueba (nivel 1), lo que implica un importante error de razonamiento lógico. Otro tipo de argumento, más completo, considera la relación entre los datos reales y los virtuales para justificar su versión de los hechos, aunque sin contemplar más de una opción (nivel 2), que podríamos definir como una operación epistémica de poca calidad (Jiménez-Aleixandre et al., 2003). Finalmente, hemos hallado argumentos que incorporan la idea de grado de similitud entre lo real y lo virtual para argumentar sobre el grado de probabilidad de que una versión sea cierta (nivel 3), de mayor calidad que los anteriores. Los argumentos basados en la simulación dentro de una misma presentación oral son cambiantes, y hemos observado un efecto positivo de la discusión (tanto entre iguales como con el docente) en la evolución de estos argumentos. Por este motivo, consideramos de gran utilidad las guías y andamiajes para promover la discusión crítica de los resultados, como los que apuntan Domènech-Casal et al. (2018), y consideramos que será necesario en el futuro profundizar más en esta cuestión, analizando con mayor detalle la influencia de este andamiaje en la mejora de la calidad de las operaciones argumentativas del alumnado. Hemos podido ver cómo involucrar a los estudiantes en un juego de rol puede promover su participación en prácticas de argumentación, tal como se apunta en la literatura (Casas-Quiroga y Crujeiras-Pérez, 2020), y cómo esto, debidamente aprovechado y con una mayor competencia docente para promoverlo, puede ofrecer una oportunidad para mejorar las habilidades argumentativas del alumnado (Driver et al., 2000).

La pandemia de los últimos tiempos, que se suma a otras importantes crisis ecológicas y climáticas, así como el aumento de todo tipo de movimientos negacionistas y conspirativos que arremeten contra las bases de la comunidad científica, hacen más importante que nunca dotar al alumnado de una capacidad de comprender y construir argumentos científicos, no solo desde las certezas absolutas que la ciencia nos puede dar, sino también lidiando con la incertidumbre (Feinstein y Waddington, 2020; Erduran, 2020). A través de instrumentos didácticos como la escala de certidumbres (Domènech-Casal, 2019b), se podría involucrar al alumnado, no solo en la resolución de un caso como los que se han presentado en este artículo, sino hacerlo partícipe de una discusión más profunda sobre cómo la ciencia muchas veces debe operar con estas incertidumbres, sin llegar a conocer cuál fue «la verdad». Además, el umbral cada vez más confuso e híbrido entre aquello real y aquello virtual (Cook et al., 2020) también nos lleva a seguir preguntando cómo podemos contribuir, desde de la enseñanza de las ciencias (en este caso, de la física), a una mejora de la competencia de los estudiantes para comprender este diálogo entre lo virtual que se simula a través de ordenador y lo que opera en el mundo real. Entender el papel de las simulaciones desde el punto de vista epistémico es clave para la mejora de esta competencia científica.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (PGC2018-096581-B-C21) y llevada a cabo dentro del grupo de investigación ACELEC (2017SGR1399).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anta, E. Z., de Barrón, I. C. O., Isasti, L. M. Z. y Escudero, I. E. (2019). Juego de rol para el desarrollo del pensamiento crítico en la formación inicial del profesorado. *Revista Complutense de Educación*, 30(3), 729.
<http://dx.doi.org/10.5209/RCED.58884>
- Blanco-López, Á., España-Ramos, E. y Franco-Mariscal, A. J. (2017). Estrategias didácticas para el desarrollo del pensamiento crítico en el aula de ciencias. *Apice*, 1(1), 107-115.
<https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2004>
- Byrne, J., Heavey, C. y Byrne, P. J. (2010). A review of Web-based simulation and supporting tools. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(3), 253-276.
<https://doi.org/10.1016/j.simpat.2009.09.013>
- Casas-Quiroga, L. y Crujeiras-Pérez, B. (2020). Epistemic operations performed by high school students in an argumentation and decision-making context: Setrocia's alimentary emergency. *International Journal of Science Education*, 42(16), 2653-2673.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1824300>
- Cook, J., Mor, Y. y Santos, P. (2020). Three cases of hybridity in learning spaces: Towards a design for a Zone of Possibility. *British Journal of Educational Technology*, 51(4), 1155-1167.
<https://doi.org/10.1111/bjet.12945>
- Couso, D., Jimenez-Liso, M. R., Refojo, C. y Sacristán, J. A. (Coords.) (2020). *Enseñando Ciencia con Ciencia*. FECYT y Fundacion Lilly. Madrid: Penguin Random House.
- Crujeiras, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2012). Participar en las prácticas científicas: aprender sobre la ciencia diseñando un experimento sobre pastas de dientes. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 72, 12-19.
- De Jong, T., Linn, M. y Zacharias, Z. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305-308.
<https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Domènech-Casal, J. (2019a). *Aprenentatge basat en projectes, treballs pràctics i controvèrsies. 28 propostes i reflexions per a ensenyar Ciències*. Barcelona: Rosa Sensat.
- Domènech-Casal, J. (2019b). Escalas de certidumbre y balanzas de argumentos: una experiencia de construcción de marcos epistemológicos para el trabajo con Pseudociencias en secundaria. *Ápice*, 3(2), 37-53.
<https://doi.org/10.17979/arec.2019.3.2.4930>
- Domènech-Casal, J., Gasco, J., Royo, P. y Vilches, S. (2018). Proyecto CRASH: enseñando cinemática y dinámica en el contexto del análisis pericial de accidentes. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 210301-210317. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i2.2103
- Driver, R., Newton, P. y Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A)
- Evagorou, M., Korfiatis, K., Nicolaou, C. y Constantinou, C. (2009). An investigation of the potential of interactive simulations for developing system thinking skills in elementary school: A case study with fifth-graders and sixth-graders. *International Journal of Science Education*, 31(5), 655-674.
<https://doi.org/10.1080/09500690701749313>
- Erduran, S. (2020). Science Education in the Era of a Pandemic. *Science & Education*, 29(2), 233-235.
<https://doi.org/10.1007/s11191-020-00122-w>

- Feinstein, N. y Waddington, D. (2020) Individual truth judgments or purposeful, collective sense-making? Rethinking science education's response to the post-truth era. *Educational Psychologist*, 55(3), 155-166.
<https://doi.org/10.1080/00461520.2020.1780130>
- Fernández, J. E., Ávila, A. M. y Milanés, R. (2017). La Educación vial asistida por tecnología 3D: un modelo de su enseñanza-aprendizaje. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(3), 130-134.
- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of «context» in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976.
<https://doi.org/10.1080/09500690600702470>
- Glew, R. H. (2003). The problem with problem-based medical school education: Promises not kept. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 31, 52-56.
<https://doi.org/10.1002/bmb.2003.494031010158>
- González-Sánchez, E. (2017). Contribución del juego de rol al desarrollo de la competencia científica en educación secundaria. Percepciones del alumnado participante en una experiencia de juego de rol y dramatización sobre energías alternativas. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra X Congreso, 4769-4774.
- Gutiérrez, R. (2004). Epistemological and ontological aspects in Science Teacher Education. *Quality Development in Teacher Education and Training*, 48.
- Gutiérrez, R. y Pintó, R. (2005). Relaciones entre simulaciones y modelos: análisis de simulaciones científicas didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VII Congreso, 1-5.
- Hasni, A., Bousadra, F., Belletête, V., Benabdallah, A., Nicole, M. C. y Dumais, N. (2016). Trends in research on project-based science and technology teaching and learning at K-12 levels: a systematic review. *Studies in Science Education*, 52(2), 199-231.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1226573>
- Herreid C. F. (2003) The death of problem-based learning? *Journal of College Science Teaching*, 32(6), 364-366.
- Honey, M. A. y Hilton, M. (2011). Learning science through computer games and simulations. *National Academies Press*.
- Izquierdo, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol, R. M. y Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Erduran, S. (2007). Argumentation in science education: An overview. En *Argumentation in Science Education* (pp. 3-27). Dordrecht: Springer.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Reigosa-Castro, C. C. y De Díaz, B. J. (2003). Discourse in the laboratory: quality in argumentative and epistemic operations. In *Science Education Research in the Knowledge-Based Society* (pp. 249-257). Dordrecht: Springer.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Klahr, D., Triona, L. M. y Williams, C. (2007). Hands on what? The relative effectiveness of physical versus virtual materials in an engineering design project by middle school children. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(1), 183-203.
<https://doi.org/10.1002/tea.20152>
- López, V., Couso, D. y Hernández, M. I. (2020). Nuevas miradas sobre el currículo de Física. *Alambique*, 100, 16-22.
- López, V., Couso, D., Simarro, C., Garrido, A., Grimalt, C., Hernández, M. I. y Pintó, R. (2017). El papel de las TIC en la enseñanza de las ciencias en secundaria desde la perspectiva de la práctica científica. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra X Congreso, 691-698.

- López, V. y Pinto, R. (2017). Identifying secondary-school students' difficulties when reading visual representations displayed in physics simulations. *International Journal of Science Education*, 39(10), 1353-1380.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1332441>
- Matas, A. (2003). Los juegos de rol como recurso formativo. Una aplicación en educación ambiental. *Bordón. Revista de Pedagogía*, 55(2), 281-291.
https://doi.org/10.25267/Rev_educ_ambient_sostenibilidad.2020.v2.i1.1302
- Minner, D. D., Levy, A. J. y Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction—what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496.
<https://doi.org/10.1002/tea.20347>
- Montané, J., Jariot, M. y Rodríguez, M. (2007). *Actitudes, cambio de actitudes y conducción segura. Un enfoque crítico aplicado a la reducción de los accidentes de tráfico*. Barcelona: Laertes
- Olympiou, G. y Zacharias Z. (2012) Blending physical and virtual manipulatives: An effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation. *Science Education*, 96(1), 21-47.
<https://doi.org/10.1002/tea.20347>
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196.
<https://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>
- Pérez, M., Couso, D. y Márquez, C. (2020). ¿Cómo diseñar un buen proyecto STEM? Identificación de tensiones en la co-construcción de una rúbrica para su mejora. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1301.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1301
- Pessanha, M. C. R. (2014). *Estrutura da matéria na educação secundária: obstáculos de aprendizagem e o uso de simulações computacionais* (tesis doctoral). Universidade de São Paulo (Brasil).
- PhET (2020). *Collision Lab*. <https://phet.colorado.edu/es/simulation/collision-lab>
- Plass, J. L., Milne, C., Homer, B. D., Schwartz, R. N., Hayward, E. O., Jordan, T., Verkullen, J., Ng, F., Wang, Y. y Barrientos, J. (2012). Investigating the effectiveness of computer simulations for chemistry learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(3), 394-419.
<https://doi.org/10.1002/tea.21008>
- Pons García, L. y de Soto García, I. S. (2020). Evaluación de una propuesta de aprendizaje basado en juegos de rol llevada a cabo en la asignatura de Cultura Científica de Bachillerato. *Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, 19(39), 123-144. <http://dx.doi.org/10.21703/rexe.20201939pons7>
- Rutten, N., van Joolingen, W. y van der Veen, J. (2012) The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Ryoo, K. y Linn, M. C. (2012). Can dynamic visualizations improve middle school students' understanding of energy in photosynthesis? *Journal of Research in Science Teaching*, 49(2), 218-243.
<https://doi.org/10.1002/tea.21003>
- Sanmartí, N. y Márquez, C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Apice*, 1(1), 3-16.
<https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>
- Simonneaux, L. (2001). Role-play or debate to promote students' argumentation and justification on an issue in animal transgenesis. *International Journal of Science Education*, 23(9), 903-927.
<https://doi.org/10.1080/09500690010016076>

- Smetana, L. K. y Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337-1370. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182>
- Vallverdú, J. (2014). What are simulations? An epistemological approach. *Procedia Technology*, 13, 6-15. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.02.003>
- Widiyatmoko, A. (2018). The Effectiveness of Simulation in Science Learning on Conceptual Understanding: A Literature Review. *Journal of International Development and Cooperation*, 24(1) 35-43.
- Wieman, C., Adams, W. y Perkins, K. (2008). PhET: simulations that enhance learning. *Science*, 322(5902), 682-683. <https://doi.org/10.1126/science.1161948>
- Zacharia, Z. (2007). Combining real and virtual laboratory experimentation: An effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23, 120-132. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2006.00215.x>
- Zacharia, Z., Olympou, G. y Papaevripidou, M. (2008). Effects of Experimenting with Physical and Virtual Manipulatives on Students' Conceptual Understanding in Heat and Temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 1021-1035. <https://doi.org/10.1002/tea.20260>

Analysis of the use of a collision simulator to solve a traffic accident

Víctor López-Simó

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals (UAB)

David Ferrer Sánchez

INS Pius Font i Quer

The CRASH project is a PBL in which students are engaged in a case study about traffic accidents. Students receive some information about what happened in a realistic accident, including data such as the final position of the vehicles, the tire tracks, or the declaration of the involved drivers and other witness. With all this information, students must carry out their own inquiries to decide who were the responsible of the crash. At the end of the project students must solve their case in an oral exposition simulating a trial.

In this context, we analyse how these students use a collision simulator called Collision Lab, provided by the PhET Colorado simulation platform. The research questions are: (a) How much is Collision Lab used as an evidence to argue about traffic accidents, in comparison with other types of evidence offered to students?; and (b) which kind of arguments do students make when using the Collision Lab simulation to support their interpretation of the crash?

The results show that Collision Lab is the most used resource by students in their arguments, compared to other resources such as real experiments with toy cars, and much more used than other kinematic analyses such as graphs or calculations made based on the data given to students. However, we have observed that the arguments given by students when using the simulation are often incomplete, and they include misconceptions about the virtual and idealized nature of simulations. Some students use the settings of the simulation (for example, the initial velocity given to the objects to be collided) as if they were real data to justify their point of view. In parallel, some students confuse the fact of «being supportive with a hypothesis» and «demonstrate a hypothesis». Therefore, we discuss the need to address not only the conceptual and procedural understanding of simulations, but also its epistemology.



Mecanismo mental de síntesis en el aprendizaje del triángulo de Sierpinski como totalidad

Mental mechanism of synthesis in the learning of the Sierpinski triangle as a totality

Ximena Gutiérrez Figueroa

Centro de Estudios y Desarrollo de Educación Continua para el Magisterio, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
ximenagutierrez@u.uchile.cl

Marcela Parraguez González

Instituto de Matemáticas, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile.
marcela.parraguez@pucv.cl

RESUMEN • La geometría fractal constituye un ámbito de estudio que integra varios conceptos de la matemática escolar, entre ellos, el perímetro, el área, la autosemejanza, la iteración, la sucesión, las funciones y el infinito. Así, se elige el fractal triángulo de Sierpinski con el objetivo de proponer un modelo cognitivo para su aprendizaje. Siguiendo la teoría APOE (*acción, proceso, objeto y esquema*), se describen estructuras y mecanismos mentales que pueden ser construidos por estudiantes de secundaria que desarrollan una secuencia de actividades escritas. Los resultados empíricos reportan que el fractal en estudio se construye como una *totalidad* a partir de un mecanismo mental que se ha denominado *síntesis*, mecanismo que podría abrir nuevas oportunidades de desarrollo para la teoría APOE.

PALABRAS CLAVE: Matemática escolar; Triángulo de Sierpinski; Teoría APOE; Totalidad; Mecanismo de síntesis.

ABSTRACT • Fractal geometry constitutes a field of study that integrates several concepts of school mathematics, among them, perimeter, area, self-similarity, iteration, succession, functions and infinity. Thus, the fractal Sierpinski triangle is chosen with the aim of proposing a cognitive model for its learning. Based on the APOS theory (*action, process, object and scheme*), mental structures and mechanisms that can be constructed by high school students who develop a sequence of written activities are described. The empirical results report that the fractal under study is built as a totality from a mental mechanism that has been called synthesis, a mechanism that could open new development opportunities for the APOS theory.

KEYWORDS: Educational Mathematics; Sierpinski triangle; APOS theory; Totality; Synthesis mechanism.

Recepción: febrero 2019 • Aceptación: marzo 2021

Gutiérrez Figueroa, X. y Parraguez González, M. (2021). Mecanismo mental de síntesis en el aprendizaje del triángulo de Sierpinski como totalidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 71-92.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2908>

INTRODUCCIÓN

Hacia la mitad del siglo xx, Klein (1924) destaca la necesidad de equilibrar aspectos formales e intuitivos en la enseñanza de la matemática para evitar la atomización de los conocimientos y favorecer su articulación. Actualmente, estas ideas continúan vigentes en investigaciones de interés didáctico que refuerzan la necesidad de promover la conexión de conceptos matemáticos que benefician el aprendizaje (Alsina, 2009; Arcavi, 2018; Garbin y Azcárate, 2002; Godino, Batanero y Font, 2008).

En este contexto, se proponen los fractales geométricos como objetos de estudio por dar cabida al enfoque anteriormente expuesto, ya que poseen la particularidad de ser articuladores de variados tópicos matemáticos del currículo escolar, como lo demuestran Apkarian, Tabach, Dreyfus y Rasmussen (2019).

La investigación sobre fractales a nivel escolar es exigua. Estudios específicos, como el de Adams y Russ (1992), reportan que las estructuras autosimilares (parte semejante al todo), propias de la geometría fractal, son más adecuadas para describir la realidad que los modelos de la geometría euclidiana. En Karakus (2015), estudiantes turcos que construyen fractales geométricos evidencian la importancia de relacionar la figura geométrica base para generar el fractal (iniciador), la regla que define su construcción (generador) y la acción de iterar o repetir dicha regla sobre cada nuevo elemento emergente.

Desde una perspectiva cognitiva, los estudios son aún más escasos; por ejemplo, a nivel universitario, Garbin (2007) destaca que la noción de fractal geométrico está estrechamente ligada a coordinar la autosimilitud con el proceso iterativo de su construcción; en ella también intervendrían aspectos como la intuición y la visualización.

Si bien los antecedentes coinciden en la importancia de la iteración y autosimilitud en la geometría fractal, no se han encontrado estudios empíricos que propongan cómo estas y otras nociones podrían ser consideradas para el aprendizaje de fractales geométricos en el contexto escolar.

Bajo estas condiciones, y con base en la teoría APOE, el objetivo de nuestra investigación es dual: por un lado, nos interesa identificar, describir y fundamentar, desde un punto de vista cognitivo, las estructuras y los mecanismos mentales necesarios para la construcción del triángulo de Sierpinski (TS) en el contexto escolar. Y, por otro lado, avanzar y contribuir en la reflexión teórica de la construcción de la totalidad a partir de un mecanismo de síntesis para la teoría APOE.

TEORÍA APOE

La teoría APOE, desarrollada por Dubinsky (1991) y otros investigadores (Arnon et al., 2014), se fundamenta en la noción de abstracción reflexiva propuesta por Piaget (2000) para describir la construcción de estructuras lógico-matemáticas durante el desarrollo cognitivo de un individuo. *Acciones, procesos, objetos y esquemas* son estructuras mentales propiciadas por los mecanismos de *interiorización, coordinación, encapsulación, desencapsulación y tematización*, los que a continuación pasaremos a revisar.

Según Arnon et al. (2014), para que emerja un *objeto* matemático nuevo es necesario realizar transformaciones sobre *objetos* previos. Así, un estudiante inicia la construcción de un nuevo *objeto* realizando *acciones* que se manifiestan como transformaciones de uno preexistente a partir de estímulos externos, de tal manera que cada paso de la transformación debe explicitarse sin omitir ninguno de ellos. Cuando en el estudiante se produce un dominio interno de las *acciones*, los pasos que antes eran explícitos son realizados mentalmente, por lo que se puede prescindir de alguno de ellos o revertirlos; entonces se dice que las *acciones* se han *interiorizado* en un *proceso* mental. La *coordinación* es otro mecanismo que puede conducir a la construcción de nuevos *procesos*. Para Arnon et al. (2014), la forma en la que se produce este mecanismo tiene que seguir estudiándose para describirlo a cabalidad. La *encapsulación* de un *proceso* en un *objeto* se produce cuando un individuo concibe el *proceso* como un

todo estático sobre el cual puede realizar *acciones* o nuevas transformaciones. Según la actividad matemática, un *objeto* podría *desencapsularse* en el *proceso* que lo originó para construir nuevas estructuras. A su vez, un *esquema* de cierto fragmento de la matemática es una colección de *acciones*, *procesos*, *objetos* y otros *esquemas* en una estructura mental que se activa para abordar un problema matemático. La *tematización* es un mecanismo que permite considerar el *esquema* como un *objeto* sobre el cual pueden realizarse nuevas *acciones*.

Las estructuras y mecanismos mentales son propuestos en un modelo cognitivo denominado descomposición genética (DG), que describe cómo se construye cierto fragmento del conocimiento matemático, y esta DG adquiere el carácter de hipótesis de investigación. Como señalan sus principales investigadores (Arnon et al., 2014; Brown, McDonald y Weller, 2008; Dubinsky, Arnon y Weller, 2013), la teoría APOE sigue en constante evolución, respondiendo principalmente a cuestiones sobre el aprendizaje de *objetos* matemáticos.

La *totalidad* como estructura en la construcción de tópicos específicos

Arnon et al. (2014) presentan de manera provisional una estructura intermedia entre *proceso* y *objeto*: la *totalidad*. Este carácter temporal de la *totalidad*, como parte del *esquema*, se debe a la escasa investigación desarrollada específicamente sobre esta estructura. Quienes plantean por primera vez la *totalidad* como una posible estructura entre *proceso* y *objeto* (Dubinsky et al., 2013), lo hacen sobre el estudio de decimales periódicos y las dificultades de los individuos para construir este tipo de decimales como *objeto*. Dubinsky et al. (2013) consideran que imaginar todos los 9 de 0,9 presentes de una sola vez evidencia una transformación significativa sobre 0,9 lo que permite considerar esa percepción como un indicador de la *totalidad*. La relevancia de esta transformación radica en la complejidad que presentaron los estudiantes en el tránsito entre *proceso* y *objeto*, complejidad inherente a los *objetos* ligados a *procesos* infinitos. Para los autores, las dificultades se evidenciaron cuando solo 15 de los 47 participantes lograron la construcción del *objeto*, mientras que los otros 32 presentaron diferencias en esta transición. El análisis de este tránsito dio cabida a la propuesta de la *totalidad* como estructura por sí misma (Dubinsky et al., 2013). A partir de lo anterior, concebir todos los 9 de 0,9 al mismo tiempo es señal del proceso concebido como una estructura mental estática que contiene todos los 9 de la expansión decimal periódica.

De acuerdo con la evolución de la teoría APOE, hasta el año 2013 la construcción de *objetos* se caracterizaba por dos aspectos esenciales: a) concebir un *proceso* como una *totalidad* y b) poder realizar *acciones* sobre esa *totalidad* (Arnon et al., 2014; Weller, Arnon y Dubinsky, 2011), donde la *totalidad* es parte del *objeto*. Con Dubinsky et al. (2013) se abre la posibilidad de que, en la construcción de ciertos *objetos* matemáticos, se requiera la *totalidad* como una estructura en sí misma, lo que permite interpretar con mayor detalle cómo se produce el aprendizaje de tópicos específicos de la matemática, especialmente los que involucran *procesos* infinitos, dejando abierto el mecanismo mental que permite el desarrollo de tal estructura.

La síntesis: un mecanismo mental para construir el TS como una *totalidad*

Estudios realizados por investigadores contemporáneos a Dubinsky (1991) sobre el desarrollo de la abstracción en situaciones de enseñanza de la matemática (Dreyfus, 1991, 2015; Hershkowitz, Hadas, Dreyfus y Schwarz, 2007; Mason, 1989; Thurston, 1990; Tsamir y Dreyfus, 2002) establecieron las bases para proponer un mecanismo que responda a la construcción del TS como una *totalidad*. Entre estos estudios, el de Gray y Tall (2007) y el de Thurston (1990) aluden a las matemáticas compresibles, como la capacidad de poder crear un dispositivo mental que recoge, en un todo, distintos enfoques con

los cuales se ha trabajado en una idea matemática, pasando desde objetos percibidos a manipulables hasta concebirlos como estructuras formales. También se halla lo propuesto por Dreyfus (1991), quien describe la capacidad de sintetizar como la de fusionar características, propiedades, procesos y objetos de conceptos subyacentes al mismo concepto en una sola imagen, donde todos ellos están comprendidos e interrelacionados. Si bien varios de los términos usados por estos investigadores son idénticos a los que conforman la teoría APOE, el sentido con que son empleados puede tener matices, ya que se proponen desde otros marcos conceptuales.

Otras investigaciones que se han desarrollado con base en APOE, como la de Dubinsky, Weller, Stenger y Vidakovic (2008), confirman la complejidad de construir una *totalidad* para los procesos involucrados en un *proceso iterativo bidimensional*. Además, proponen que posiblemente basta que solo uno de ellos sea concebido como una *totalidad* para imaginar el *proceso iterativo bidimensional* como un todo. Estudios similares desarrollados por Brown et al. (2008) proponen que un *proceso iterativo infinito* podría encapsularse en un *objeto* promoviendo una actividad de evaluación sobre dicho *proceso*. Recordemos que hasta ese entonces la *totalidad* era contemplada como parte del *objeto*. Stenger, Weller, Arnon, Dubinsky y Vidakovic (2008) van más allá, distinguen dos tipos de evaluación sobre este tipo de *procesos*: la dada por acumulación, al tratar de concebir qué se tiene al final del *proceso*, y la dada por extensión, al tratar de imaginar qué viene después de finalizado el *proceso*.

La construcción de la *totalidad* como una estructura mental debe relacionarse con un mecanismo que conduzca a su formación. Dubinsky et al. (2013), quienes presentan por primera vez la *totalidad* como una estructura en sí misma, denominan *destemporalización* al posible mecanismo que facilitaría la construcción de *objetos trascendentes*, pero no presentan una descripción sobre dicho constructo. En este punto podemos agregar que para Brown et al. (2008) un *objeto trascendente* no se genera de manera directa del *proceso iterativo infinito* que lo precede, sino que trasciende al *proceso*. La idea de desligarse de lo temporal fue desarrollada por Piaget (citado en Barrio, 1989) como caracterización de la transformación de procesos cognitivos en objetos mentales. Otros constructos que han aportado a nuestro estudio provienen de Garbin (2005a, 2005b), con las ideas «de totalidad, de completos [sic] y de unidad» (pp. 65 y 174), y de Villabona y Roa (2016) con el mecanismo de «completez» (p. 31), ligado a conceptos previos de la teoría de los cardinales. Si bien ambos constructos hacen alusión a la construcción del infinito actual, estos son propuestos desde distintos marcos teóricos. No ha de extrañar que emerjan distintas denominaciones en los estudios sobre el infinito a partir de APOE, ya que según Piaget (citado en Dubinsky et al., 2013) las estructuras son invariables en la teoría general y los niveles proporcionan mecanismos para la construcción de estas, además, los niveles dependen del concepto en estudio. Así, es posible proponer mecanismos distintos a los habituales que atiendan a la naturaleza y especificidad de un concepto y a los propósitos didácticos que se persiguen.

De esta forma, se propone un mecanismo mental que denominamos *síntesis* como el medio para considerar el *proceso iterativo infinito tridimensional* del TS (que hasta Dubinsky et al., 2008, era bidimensional para otro concepto) como una *totalidad*: estructura estática entre *proceso* y *objeto* que fusiona las características analíticas y geométricas del TS en una sola entidad. Esta *síntesis* puede ser generada por una acción de evaluación, en este caso de acumulación (Stenger et al., 2008), sobre uno de los *procesos* que componen el *proceso iterativo infinito tridimensional*, lo que permite que este último deje su dinamismo para ser concebido como una entidad estática.

DISEÑO METODOLÓGICO

Para abordar en profundidad el conocimiento del TS, se optó por un enfoque cualitativo de corte interpretativo. Con base en Echeverría (1997), el escenario escolar donde se desarrolla la investigación es relevante en este diseño, porque las evidencias generadas tienen un sentido en el contexto del cual son parte.

Bajo este paradigma, se siguió el ciclo de investigación propio de APOE. Se comenzó con un análisis teórico de los fractales geométricos, lo que permitió proponer una DG para el TS que incorporara la *totalidad* como estructura, mediada por la *síntesis* como mecanismo. Los resultados del análisis teórico ponen de manifiesto la complementariedad de contextos analíticos, geométricos y experimentales implicados en la construcción de estos objetos (Chabert, 1990; Peitgen, Jürgen y Saupe, 2004) y coinciden en la relevancia de la iteración y la autosimilitud como conceptos intrínsecos de la construcción de fractales geométricos. En un segundo momento, se diseñó una secuencia de actividades escritas, con base en la DG, las que fueron desarrolladas por nueve estudiantes (mujeres y hombres) –etiquetados como E1, E2, ..., E9– que cursaban el último ciclo de educación secundaria (de 16 a 18 años) en un colegio chileno subvencionado por el Estado. En el tercer momento de análisis de datos se contrastaron las respuestas de los estudiantes con la DG.

Los criterios de selección obedecieron a consideraciones teóricas necesarias para desarrollar un estudio en profundidad (Stake, 2010): *a)* cursar los últimos dos años de educación secundaria; *b)* mostrar interés por la matemática; *c)* haber elegido el plan electivo de matemática, plan al que se opta voluntariamente, y *d)* accesibilidad de las investigadoras. Los resultados académicos no fueron considerados en función de recoger datos para comprender mejor la complejidad del fenómeno en estudio. Por otro lado, se consideró la posibilidad de que la secuencia de actividades fuese implementada por el docente a cargo del curso en un contexto habitual de enseñanza, para que no haya intervención de terceros en la toma de datos.

Descomposición genética del TS para el contexto escolar

La definición del TS que se elaboró no es neutra, fue influenciada por Sabogal y Arenas (2011) y Sierpinski (1915) y se propuso desde un ámbito geométrico, por la dificultad que impone el estudio de los fractales geométricos en un currículo escolar que no los contempla. Optamos por un triángulo como iniciador, por ser una figura ampliamente considerada en el currículo escolar. De esta forma, el TS se presenta como la figura a la que tiende la sucesión que se obtiene de repetir el siguiente algoritmo sobre un triángulo equilátero, incluidos sus puntos interiores: se unen los puntos medios de los lados obteniéndose cuatro triángulos, y se elimina el interior del triángulo central; en los tres triángulos restantes se opera nuevamente con la misma regla, y así sucesivamente con cada nuevo triángulo (figura 1).

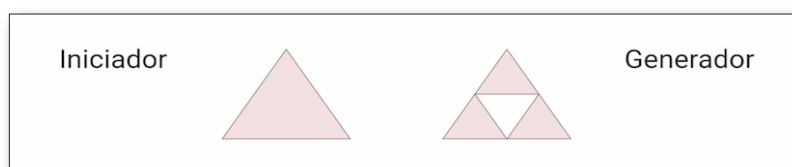


Fig. 1. Algoritmo fractal del TS.

En la tabla 1 se presenta la DG para promover el aprendizaje del TS como una *totalidad*.

Tabla 1.
Descomposición genética del TS para el nivel escolar

<i>Acciones sobre objetos de esquemas previos</i>	C1. <i>Acciones</i> sobre el triángulo equilátero, sus medianas, perímetro y área con base en el <i>esquema</i> de triángulos
	C2. <i>Acciones</i> sobre patrones geométricos y numéricos con base en el <i>esquema</i> de patrones
	C3. <i>Acciones</i> sobre potencias de base y exponente natural, con base en el <i>esquema</i> de potencias
<i>Características intrínsecas del TS como procesos</i>	C4. La iteración como <i>proceso</i> : por medio de la <i>interiorización</i> de <i>acciones</i> sobre el triángulo equilátero promovidas por el algoritmo fractal y la actividad matemática que promueve la recurrencia de una <i>acción</i> que realizar
	C5. La autosimilitud como <i>proceso</i> : por medio de la <i>interiorización</i> de <i>acciones</i> sobre patrones geométricos y numéricos promovidas por el algoritmo fractal y la actividad matemática que promueve la construcción de imágenes y su caracterización
	C6. El patrón de conteo (N_i) como <i>proceso</i> por medio de la <i>interiorización</i> de <i>acciones</i> sobre las potencias de base y exponente natural promovidas por la actividad matemática de contar los triángulos que componen una imagen
<i>Imágenes y medidas fractales como procesos</i>	C7. Las imágenes fractales (Δ_i) como <i>procesos</i> : por medio de la <i>coordinación</i> entre la autosimilitud y la iteración promovida por la actividad matemática centrada en las modificaciones geométricas que se producen en una etapa cualquiera
	C8. Las medidas fractales (M_i) como <i>procesos</i> : por medio de la <i>coordinación</i> entre el patrón de conteo y la autosimilitud promovidas por la actividad matemática de calcular perímetros y área en una etapa cualquiera
<i>Sucesiones como procesos iterativos infinitos y proceso iterativo infinito tridimensional</i>	C9. El orden como <i>proceso infinito</i> : por medio de la <i>desencapsulación</i> del orden en $\mathbb{N}$ promovida por la actividad matemática que hace corresponder un número natural, $(1, 2, 3, \dots, i \dots n)$, para identificar etapas, usarlos como exponentes de potencias, elementos de expresiones analíticas o identificar posiciones de imágenes fractales
	C10. Las sucesiones N_n, M_n y Δ_n y como <i>procesos iterativos infinitos</i> : por medio de la <i>coordinación</i> de cada uno de los <i>procesos</i> N_i, M_i y Δ_i con el orden como <i>proceso</i> (iteración a través de promovidas por actividades centradas en construir las siguientes correspondencias: $n \rightarrow N_n; n \rightarrow M_n$ y $n \rightarrow \Delta_n$)
	C11. La sucesión de ternas fractales del TS como un solo <i>proceso iterativo infinito tridimensional</i> : por medio de la <i>coordinación</i> de la terna fractal (N_n, M_n, Δ_n) con el orden como <i>proceso</i> (iteración a través de $\mathbb{N}$) promovida por la actividad centrada en construir la correspondencia: $n \rightarrow (N_n, M_n, \Delta_n)$
<i>TS como totalidad</i>	C12. El TS como <i>totalidad</i> : por medio de la <i>síntesis</i> del <i>proceso iterativo infinito</i> tridimensional, ternas fractales, promovida por una actividad de evaluación sobre el <i>proceso iterativo infinito</i> (N_n) que lo compone

Con base en la DG, se diseñaron indicadores empíricos para el análisis de los datos (tabla 2).

Tabla 2.
Indicadores empíricos de las estructuras de la DG

$C1$	(i)	Dibuja triángulos equiláteros y traza sus medianas
	(ii)	Determina perímetros y áreas de triángulos
$C2$	(iii)	Sombrea triángulos siguiendo una regularidad geométrica
	(iv)	Produce figuras por triángulos semejantes
$C3$	(v)	Distingue una regularidad numérica como resultado del conteo de triángulos que componen las figuras, deduciendo que el resultado se puede expresar mediante una potencia
$C4$	(vi)	Representa pasos o etapas (i) que se repiten y son secuenciales y que puede imaginar omitiendo algunos de los pasos

C5	(vii)	Presenta explícita o implícitamente la razón de semejanza (2:1) como característica geométrica o analítica de las imágenes que construyen en un intervalo cualquiera de la secuencia
C6	(viii)	Produce el patrón de conteo 3^i para expresar la cantidad de triángulos que conforman la imagen fractal en una etapa i cualquiera
C7	(ix)	Reconoce o produce imágenes fractales (características de ellas), sin tener que representar explícitamente toda la secuencia
C8	(x)	Determina perímetros y áreas fractales para una imagen fractal i sin tener que calcular explícitamente toda la secuencia
C9	(xi)	Usa los números naturales (1, 2, 3, ..., n) para identificar, ordenar o caracterizar geométrica o analíticamente una imagen fractal correspondiente a una etapa n cualquiera
C10	(xii)	Expresa en función de n la posición de imágenes, la cantidad de partes o una medida fractal de la imagen n -ésima
C11	(xiii)	Relaciona posiciones, cantidad de partes, medidas fractales como expresiones de una única imagen fractal en función de una etapa cualquiera, entre ellas la n -ésima
C12	(xiv)	Construye una representación geométrica o analítica producto de la actividad de evaluación sobre el proceso iterativo infinito N_n , cuyo resultado puede ser expresado como: 3^n o 3^∞

A partir de la DG descrita se diseñó una secuencia de actividades escritas que pudiesen ser desarrolladas de manera individual y autónoma por parte de los estudiantes. Lo anterior se proyecta sin la intervención del profesor para facilitar la activación de *esquemas* previos y estrategias propias de los estudiantes que pudiesen reflejar con mayor claridad las estructuras cognitivas que pondrían en juego. La secuencia consta de 21 actividades, las que se dividieron en los formularios A y B (véase apéndice), considerando su extensión y los tiempos disponibles de la clase (90 min). Por otra parte, dicha secuencia incluyó más de una actividad destinada a recoger evidencia sobre la presencia de una misma estructura propuesta en la DG. Para validar las actividades se consultó a un grupo de expertos conformado por docentes universitarios con formación en matemática superior y profesores de matemática con experiencia en aula de secundaria, todos ellos con estudios en didáctica de la matemática. El enunciado principal que encabeza la secuencia (véase apéndice) contempló una explicación escrita que explicita el algoritmo fractal y dos láminas que representan el iniciador y el generador del TS.

RESULTADOS

Los resultados proceden del análisis de los datos donde se identificaron las estructuras y los mecanismos mentales a través de los argumentos observables presentes en las estrategias empleadas por los estudiantes. En lo que sigue, se hará énfasis en los resultados de tres de ellos, E1, E7 y E8, quienes muestran construcciones que sustentan o bien que se alejan de la hipótesis teórica. Finalmente, se proporciona un resumen en cada sección con los resultados generales de los nueve estudiantes.

Características intrínsecas del TS, como *procesos*

En las actividades 1a) y 1b), que consisten en dibujar las imágenes Δ_2 y Δ_3 tras aplicar el algoritmo fractal (véase apéndice), los tres estudiantes muestran evidencias de los indicadores (i), (iii) y (iv). Además, E7 relaciona las primeras *acciones* con potencias de base tres, evidenciando el indicador (v). Ejemplo de esta construcción se muestra en la figura 2. Por otra parte, los tres estudiantes presentan (figura 2) el indicador (vii) en sus respuestas a las actividades 2d) y 2e), ya que se muestra implícitamente la razón de semejanza al trazar las medianas de los triángulos, como se observa en lo desarrollado por E7 y E1, o completar la imagen con tres triángulos aparentemente congruentes, como lo hizo E8.

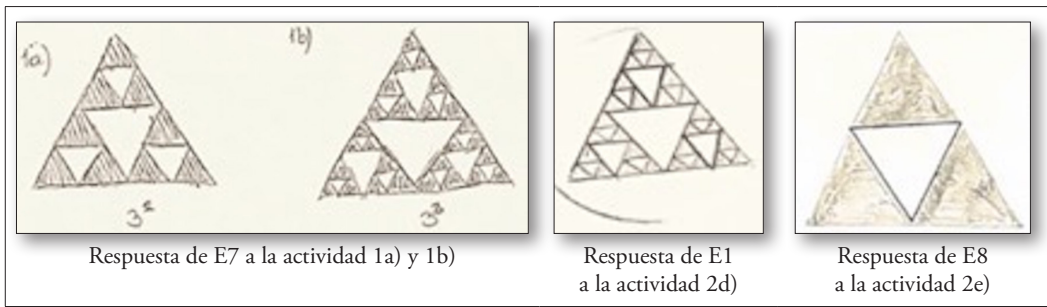


Fig. 2. Construcción geométrica de la iteración y la autosimilitud.

La actividad matemática propuesta en la actividad 3a) contempla determinar la cantidad de triángulos que forman parte de la imagen fractal para la cuarta y la décima iteración. Al analizar las respuestas (tabla 3) y estrategias (figura 3) de E1, se verifica un cálculo recursivo que da cuenta del conteo de los triángulos extraídos en cada figura y no del conteo de los sombreados, que son los que forman parte de la imagen fractal. Hasta aquí, E1 no ha construido el patrón de conteo.

Tabla 3.
Construcción del patrón de conteo

Cantidad de procesos aplicados	Cantidad de triángulos que componen la imagen				
	Respuesta de E1	Respuesta de E7	Respuesta de E8		
4 veces	121 triángulos	81	161 en total	40 blancos	81 negros
10 veces	88.573 triángulos	59.049	118.097 en total	29.524 blancos	59.049 negros

En la figura 3 se observa que E1 elabora un algoritmo para calcular una cantidad que incluye todas las superficies triangulares, sombreadas y no sombreadas. Por su parte, E7 comienza a consolidar el patrón de conteo, indicador (viii), que ya aparecía en respuestas anteriores. En cambio, E8 suma las regiones triangulares sombreadas, las no sombreadas y aquellas que contienen combinaciones de ambos tipos en su interior.

N° de triángulos 4 13 40 121 364 1093 (N°Δ-3)+1	aplicación (1) (2) (3) (4) (5) (6)	3° 3 3 3 3 3 3 3 3 9 9 9 9 9 9 9 9 81 81 81 81 6561 6561 59049	Δ 5 17 53 161 485 3 1 4 13 40 121 364 1093 3280 9841 29524 N 3 9 27 81 243 729 2187 6561 19683 59049	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 485 118097
Respuesta de E1		Respuesta de E7	Respuesta de E8	

Fig. 3. Estrategias de conteo en la actividad 3a).

Por otra parte, de forma incipiente, tanto E1 como E8 están recurriendo a los números naturales para identificar las primeras etapas de la secuencia y organizar sus cálculos; estos son indicios del indicador (xi). En la tabla 4 se presentan los indicadores empíricos que se observaron en las respuestas a las demás actividades del formulario A.

Tabla 4.
Construcción de la iteración y la autosimilitud

<i>Estudiante</i>	<i>Respuestas literales de los estudiantes</i>	<i>Indicadores (tabla 2)</i>
E1	1c) Comprender el ejercicio y saber qué se debe dibujar 1d) Dibujar los triángulos de la actividad 1b) sobre la base de la actividad 1a) 2a) Se va repitiendo el mismo patrón de dividir el triángulo en cuatro triángulos más pequeños 2b) Los espacios en blanco van aumentando y los triángulos son cada vez más pequeños 2c) La imagen tendría mayormente triángulos blancos y los triángulos pintados serían casi invisibles 3b) El lado del triángulo queda dividido en 32 partes iguales 3c) Ya que al sacar los triángulos da un número impar	(nd) (vi) (iii), (vi) (iii) (iii) (iii) (nd)
E7	1c) El que no hay que hacer cálculos complejos, ni es necesario pensar demasiado. Es fácil llegar a la respuesta correcta 1d) El hecho de posicionar correctamente los agujeros y las partes restantes de la lámina y el que cada vez hay que hacer triángulos más pequeños 2a) Tendría el mismo patrón y la misma forma 2b) La quinta vez que se aplica el <i>proceso</i> causa que la lámina, en comparación con la lámina B, tenga cada vez más agujeros 2c) Un triángulo grande compuesto de triángulos cada vez más pequeños con la punta hacia arriba y agujeros con forma de triángulos con la punta hacia abajo 3b) $3^5 = 81 \cdot 3 = 243$ $243 : 2 = 121,5$ 3c) La cantidad de triángulos es muy grande y la de agujeros también, por lo cual la superficie restante de la lámina se acerca casi a 0, o sea, en ese momento no quedaría papel para representar la figura, esto se representa como la fracción $\frac{1}{3^{1024}}$	(nd) (vi) (iii) (iii) (iii) (viii) (nd)
E8	1c) Entender y llevar a cabo el procedimiento según las instrucciones 1d) Dibujar y pintar los pequeños triángulos que se forman 2a) Un triángulo en común que es el grande, que abarca toda la figura. También se aprecia que la lámina B se repite 3^5 , es decir, 243 veces en la 5.ª vez 2b) Tiene o triángulos blancos o negros. También está fraccionado en más partes. La lámina B es 3^1 y la quinta vez es 3^5 2c) La imagen estaría dividida en muchas partes pequeñas, pero siempre siguiendo el mismo patrón, es decir, habría 3^{100} triángulos negros y 3^{100} láminas B 3b) Queda dividido en 2^5 partes iguales, es decir, 32 partes iguales 3c) Porque 1024 no es una potencia de 3	(nd) (iii) (iii) (viii) (viii) (viii) (viii)

Nota: *nd* = respuestas que no reflejaron de forma evidente alguno de los indicadores de la tabla 2 o preguntas que no fueron respondidas por los estudiantes.

Las respuestas de los nueve estudiantes a las actividades del formulario A reflejan en su gran mayoría la construcción de las características intrínsecas del TS: iteración, autosimilitud y patrón de conteo como *procesos*. E2 es el único estudiante cuyo dato diverge del resto del grupo (figura 4).

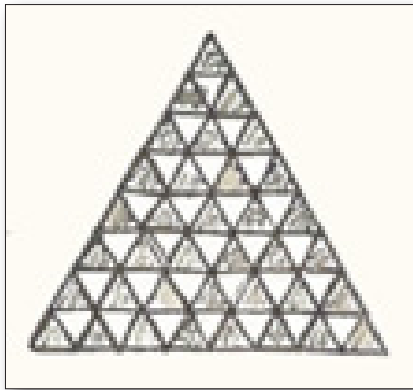


Fig.4. Respuesta de E2 a la actividad 1b).

A continuación, se presentan los resultados de las actividades del formulario B.

Imágenes y medidas fractales como *procesos*

En la actividad 4a), E1, E7 y E8 construyen la imagen esperada Δ_4 (figura 5) sin registro de haber dibujado las imágenes previas. A este tipo de respuesta se le asignó el indicador (ix). La actividad 4b) complementa lo anterior a través de las justificaciones que expresan la construcción mental que hacen estos estudiantes sobre las características de las figuras fractales (tabla 5).

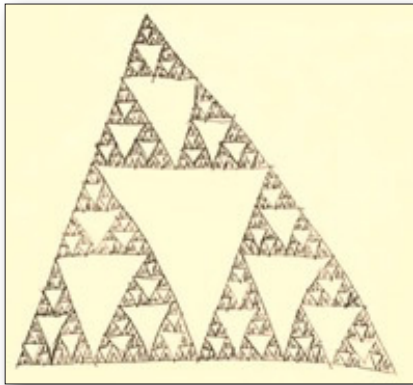


Fig. 5. Respuesta de E7 a la actividad 4a).

Tabla 5.
Construcción mental de imágenes fractales

Estudiante	Respuestas literales de los estudiantes	Indicadores (tabla 2)
E1	4b) Porque no es una figura a la que se le aplica el <i>proceso</i> varias veces sino una figura a la que se le aplicó una vez y se puso junto a otras figuras iguales.	(iii), (vi), (ix)
E7	4b) Está mal aplicado el método, de haberlo aplicado bien poseería un agujero del porte de $\frac{1}{4}$ de la lámina inicial en el centro del triángulo grande	(vii), (ix)
E8	4b) Porque de la figura grande no está extraído el triángulo del medio	(iii), (ix)

La construcción de medidas fractales es promovida por la actividad 5a), donde podemos observar que E1 no evidencia dichas estructuras como *procesos*. El perímetro que presenta considera que el lado de cada triángulo sombreado mide 1 (tabla 6). Esto se contrapone a lo expuesto por E1 en la actividad 2c) del formulario A, siendo indicio del tránsito hacia la iteración como *proceso*. La construcción de estas medidas fue lograda por E7 y E8. Cabe señalar que un error en el uso de la coma decimal en el paso final del cálculo desarrollado por E8 fue desestimado por no tener incidencia en el objetivo teórico de la actividad.

Tabla 6.
Construcción de medidas fractales

Actividad 5a)	Respuesta de E1		Respuesta de E7		Respuesta de E8	
	Perímetro de la imagen	Área de la imagen	Perímetro de la imagen	Área de la imagen	Perímetro de la imagen	Área de la imagen
Imagen conformada por 9 triángulos	6,561	$\frac{27\sqrt{3}}{2^{20}}$	$\frac{27}{4}$	$\frac{\sqrt{3}}{16}$	6,75	$1,40625\sqrt{3}$
Imagen obtenida al aplicar 4 veces el proceso	81	$\frac{12\sqrt{3}}{2^{10}}$	$\frac{243}{16}$	$\frac{81\sqrt{3}}{1.024}$	15,1875	$81\left(\frac{0,00625\sqrt{3}}{4}\right)$
	27	$\frac{6\sqrt{3}}{2^8}$	$\frac{27}{4}$	$\frac{\sqrt{3}}{16}$	6,75	$1,4065\sqrt{3}$

Las imágenes fractales fueron construidas como *proceso* por los nueve estudiantes y seis de ellos evidenciaron las medidas fractales como *proceso*. Aquellos que no logran esta transformación –de *acción* a *proceso*– en las medidas fractales, muestran distintas dificultades, por ejemplo, E1 no ha construido la autosimilitud, mientras que E2 y E5 no muestran evidencias suficientes que permitan interpretar sus datos.

Sucesiones N_n , M_n y Δ_n como *procesos iterativos infinitos* y *proceso iterativo infinito tridimensional*

Por medio de la actividad 6a), E7 y E8 transforman los *procesos* de la tabla 8 en sucesiones como *procesos iterativos infinitos*. Estas sucesiones se evidencian por la construcción de expresiones analíticas que iteran a través del $\mathbb{N}$ (tabla 7). En cambio, E1 parece haber construido el conteo, pero no así la razón de semejanza, lo que se observa en el perímetro asignado a la imagen correspondiente a $n=3$. Las respuestas de E7 y E8 son consistentes con los indicadores (xi) y (xii), reflejo de la construcción de las sucesiones N_i y M_i como *procesos iterativos infinitos*.

Tabla 7.
Construcción de las sucesiones N_i y M_i como *procesos iterativos infinitos*

Número de veces que se aplicó el proceso			Número de triángulos que componen la imagen			Perímetro			Área		
E1	E7	E8	E1	E7	E8	E1	E7	E8	E1	E7	E8
3	3	2	27	3^3	3^2	81	$\frac{3^4}{2^3}$	$\frac{1}{2^2} \cdot (3^2 \cdot 3)$	$\frac{9\sqrt{3}}{2^8}$	$\frac{3^2\sqrt{3}}{2^6 \cdot 4}$	$3^2 \left(\frac{\frac{1}{2^2}\sqrt{3}}{4} \right)$
5	4	10	243	3^4	3^{10}	729	$\frac{3^5}{2^4}$	$\frac{1}{2^{10}} \cdot (3^{10} \cdot 3)$	$\frac{15\sqrt{3}}{2^{12}}$	$\frac{3^4\sqrt{3}}{2^8 \cdot 4}$	$3^{10} \left(\frac{\frac{1}{2^{10}}\sqrt{3}}{4} \right)$
4	5	4	81	3^5	3^4	243	$\frac{3^6}{2^5}$	$\frac{1}{2^4} \cdot (3^4 \cdot 3)$	$\frac{12\sqrt{2}}{2^{10}}$	$\frac{3^5\sqrt{3}}{2^{10} \cdot 4}$	$3^4 \left(\frac{\frac{1}{2^4}\sqrt{3}}{4} \right)$

A partir de la actividad 7 se muestra la construcción de la sucesión como *proceso iterativo infinito* (tabla 8). Si bien E1 en la actividad 7a), destinada a determinar cuántas imágenes faltan por ubicar entre otras dos que son dadas, no expresa claramente dicha construcción, en 7b) explicita mejor su idea.

Tabla 8.
Construcción de la sucesión Δ_i como *proceso iterativo infinito*

Estudiante	Respuestas literales de los estudiantes	Indicadores (tabla 2)
E1	7a) Faltan dos imágenes más 7b) Ya que la primera imagen se le debe aplicar el <i>proceso</i> dos veces más para que dé la segunda	(nd) (vi), (xii)
E7	7a) Falta una imagen 7b) Triángulos en un lado = 2^x , $x = N.º$ de <i>procesos</i> $\Delta_1 \Rightarrow 2^x = 4$, $x = 2$, $\Delta_2 \Rightarrow 2^x = 16$, $x = 4$	(xii) (xii)
E8	7a) Falta una imagen para llegar a la segunda imagen 7b) Se encuentra la tercera imagen 3^3 triángulos	(xii) (xii)

Nota: *nd* = respuestas que no reflejaron de forma evidente alguno de los indicadores de la tabla 2 o preguntas que no fueron respondidas por los estudiantes.

En este momento de la secuencia de actividades se observa que, entre los nueve estudiantes, E3, E4, E7 y E8 construyen los *procesos iterativos infinitos* N_n , M_n , y todos construyen el proceso iterativo infinito Δ_n .

A partir de los datos que nos entrega la actividad 8a), cuyo objetivo es propiciar la construcción de ternas fractales como un *proceso iterativo infinito tridimensional*, se muestra (tabla 9) que E1 presenta el patrón de conteo, pero no logra determinar las expresiones que definen a las medidas fractales. Si bien E1 ha hecho el intento de usar n como parte de dichas expresiones, no ha logrado construir las expresiones adecuadas para el área, el perímetro y la longitud del lado de cada triángulo que compone la imagen. En cambio, E7 y E8 reflejan lo que se ha definido en el indicador (xiii) por medio de

expresiones analíticas que generalizan las fórmulas para el perímetro y áreas fractales a través del uso de n , lo que evidencia su correspondencia con la etapa n -ésima y conforma lo que hemos denominado ternas fractales.

Tabla 9.
Construcción de ternas fractales como un *proceso iterativo infinito tridimensional*

<i>Estudiante</i>	<i>Número de veces que se aplicó el proceso</i>	<i>Lugar que ocupa la imagen entre las imágenes que se van construyendo</i>	<i>Número de triángulos que componen la imagen</i>	<i>Longitud del lado de cada triángulo que compone la imagen</i>	<i>Perímetro de la imagen</i>	<i>Área de la imagen</i>
E1	n	$n+1$	3^n	2^n	9^n	$3 \frac{n\sqrt{2}}{2^{2n+2}}$
E7	n	$n+1$	3^n	$\frac{1}{2^n}$	$\frac{3^{n+1}}{2^n}$	$\frac{3^n \sqrt{3}}{2^{2n} \cdot 4}$
E8	n	$n+1$	3^n	$\frac{1}{2^n}$	$\frac{1}{2^n}(3^n \cdot 3)$	$3^n \left(\frac{1 \cdot \sqrt{3}}{2^n \cdot 4} \right)$

Construcción de la *totalidad*

Las producciones de los tres estudiantes relativas a la actividad 8b) reflejan dos tipos de respuesta de evaluación acumulativa: E1 responde que el número de triángulos es 3^n , mientras que para E7 y E8 este resultado es 3^∞ (tabla 10).

Tabla 10.
Construcción del TS como *totalidad*

<i>Estudiante</i>	<i>Respuestas literales de los estudiantes</i>	<i>Indicadores (tabla 2)</i>
E1	8b) El número de triángulos será el número de triángulos al aplicar el <i>proceso</i> una vez (3) elevado al número de veces que se aplique el <i>proceso</i> : 3^n	(xiv)
E7	8b) La imagen se compondría de 3^∞ número de triángulos, lo cual sería un número infinito	(xiv)
E8	8b) 3^∞ porque en 3^∞ , n es el número de <i>procesos</i> aplicados	(xiv)

Hacia el final de las actividades se observa que en el grupo de nueve estudiantes E1, E3, E4, E6, E7, E8, E9 se logró la construcción de N_n , cuatro de ellos construyen M_n y todos ellos construyen Δ_n . El *proceso iterativo infinito tridimensional*, es decir, las ternas fractales, son evidenciadas en los trabajos de E3, E4, E7 y E8. Como respuesta a la evaluación promovida en la actividad 8b), se observa la respuesta 3^n en los trabajos de E1 y E2, mientras que para E3, E4, E6, E7, E8 y E9 esa cantidad es 3^∞ y E5 no responde.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación avalan la *totalidad* como una estructura para APOE. En el contexto del TS la *totalidad* consiste en concebir el TS como un todo a través de tres procesos iterativos infinitos, N_n , M_n y Δ_n (en el caso de Δ_n como una imagen mental), que se coordinan para construir un solo *proceso iterativo infinito tridimensional* que, producto de la actividad de una evaluación acumulativa, sobre uno de sus *procesos* subyacentes, es concebido como una estructura que ha dejado de ser dinámica. A diferencia de Dubinsky et al. (2013), nuestro estudio incluyó una actividad de evaluación que propició que estudiantes de educación secundaria, sin conocimientos sobre límites, construyeran respuestas como: 3^n o 3^∞ , lo que los condujo a imaginar que la cantidad de triángulos, en el caso de que el proceso continuase indefinidamente, había finalizado. La actividad de evaluación sobre N_n propicia dos tipos de resultados: 3^n y 3^∞ , y ambos han sido considerados en nuestro estudio como «dispositivos» (Thurston, 1990, p. 5) que reflejan la estabilidad de un *proceso iterativo tridimensional* que hemos denominado ternas fractales $n \rightarrow (N_n, M_n, \Delta_n)$, y así fusionan las características analíticas y geométricas del TS. Esta forma de concebir dicha estructura mental se relaciona en parte con lo propuesto por Dubinsky et al. (2013), que consiste en la capacidad de imaginar todos los 9 a la vez (en $0, \bar{9}$). En efecto, los estudiantes que presentan 3^n y 3^∞ pueden imaginar tener todos los triángulos que componen la imagen del fractal TS, independientemente de si usan n o ∞ . El hecho de que los estados construidos en el infinito 3^n y 3^∞ hereden propiedades de los estados previamente construidos en el proceso que lo origina, podría significar la imposibilidad de construir un objeto trascendente (Dubinsky et al., 2008); sin embargo, la DG del TS fue diseñada considerando el contexto escolar en el que se inscribe esta investigación y con otros objetivos teóricos y didácticos.

Brown et al. (2008) definieron en su DG del Conjunto Potencia de $\mathbb{N}$ la *totalidad* como una sola operación mental que asocia un objeto con cada número natural basado en un *proceso iterativo infinito* que itera a través de $\mathbb{N}$. A diferencia de lo anterior, nuestro *proceso iterativo infinito* para el TS es tridimensional y produce ternas fractales como elementos de la sucesión: $n \rightarrow (N_n, M_n, \Delta_n)$, y no como los *objetos* que se habían declarado en Brown et al. (2008). Coincidimos con Dubinsky et al. (2008) en que el intento de evaluación propiciado sobre solo uno de los *procesos iterativos* que componen la terna fractal, en este caso sobre $n \rightarrow (N_n)$, simplificó el tránsito hacia la *totalidad* y hacia la imaginación del *proceso iterativo tridimensional* como estático.

El mecanismo de *síntesis* definido en esta investigación es un medio por el cual se construye el TS como una estructura mental estática, comprendida entre *proceso* y *objeto*, que fusiona las diversas características del fractal consideradas en este estudio.

La *totalidad* es especialmente necesaria en el contexto escolar y proyecta un currículo que favorezca la integración o conexión de los temas (Alsina, 2009; Arcavi, 2018; Garbin y Azcárate, 2002; Godino et al., 2008), considerando que varios de ellos no se pueden etiquetar como *objetos* propiamente debido al nivel de abstracción o complejidad estructural que estos comportan.

A modo de conclusión, podemos señalar que las evidencias indican que la hipótesis teórica DG propuesta podría ser refinada en algunos de sus componentes. Como la teoría APOE lo ha planteado, las estructuras pueden avanzar en más de una dimensión de la DG. Lo anterior fue evidente en algunas de las primeras producciones de los estudiantes (figura 2), que reflejaban la construcción del patrón de conteo y la necesidad de recurrir al orden de $\mathbb{N}$ para organizar y apoyar las *acciones* sobre *esquemas* analíticos y geométricos previos. Esto nos lleva a replantear la posibilidad de ajustar la DG, modificando el orden en que se evidencian algunas de dichas estructuras. Otros elementos teóricos que deben profundizarse son los *procesos* intrínsecos del TS, ya que los resultados desvelan que no basta con construir la iteración y la autosimilitud. La comprensión de la estructura fractal requiere focalizar la atención en aquellos elementos que forman parte de cada estructura individual, y en esto es clave el

conteo de los triángulos sombreados. Un aspecto ligado a lo anterior y abordado someramente en la DG de este estudio fue la longitud de los lados de cada triángulo que forman la imagen fractal. Esta característica debe ser estudiada más en profundidad para evaluar implicancias en un modelo teórico refinado. Las adecuaciones a la DG son una proyección de nuestro trabajo de investigación hacia otros fractales geométricos.

En el contexto de la educación escolar, aún es necesario seguir investigando sobre los conocimientos implicados en la construcción del TS, así como de otros fractales geométricos. En este sentido, consideramos que los resultados son auspiciosos, pues estudiantes sin conocer el tema y sin la intervención docente fueron capaces de mostrar que la secuencia de actividades contribuye a la construcción de estructuras relevantes del fractal geométrico.

De forma más general, podemos decir que la *síntesis* se propone como un mecanismo mental que propicia la integración de varios *procesos*, los que comportan diversas características, propiedades y relaciones de una porción del conocimiento matemático, en una estructura mental estática. Los atributos de dichos procesos se fusionan y generan un dispositivo que facilita su comprensión o uso del conocimiento en un contexto matemático dado. Este mecanismo podría proyectarse como un aporte a la teoría (figura 6) en el contexto de los fractales geométricos.

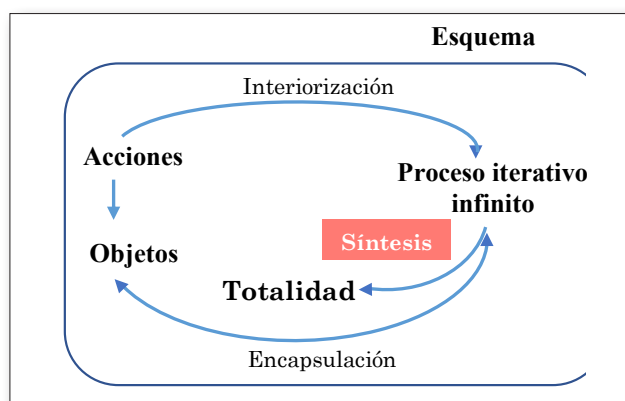


Fig. 6. La síntesis como mecanismo mental en el contexto del TS.

Cabe señalar que la evidencia mostrada para el TS es un primer paso para llegar a sustentar la *síntesis* como un mecanismo mental para APTOE (*acción, proceso, totalidad, objeto y esquema*). Resulta imperativo investigar con otros tópicos matemáticos y con un número mayor de datos, con la finalidad de tener evidencia que respalde la *síntesis* como un nuevo mecanismo mental en el contexto de una familia de fractales geométricos y otros fragmentos de las matemáticas.

AGRADECIMIENTOS

A la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile, mediante el Programa de Capital Humano Avanzado N.º 21161593/2016 y el proyecto FONDECYT N.º 1180468. Agradecemos a los participantes por la buena disposición en la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, H. y Russ, J. (1992). Chaos in the classroom: Exposing gifted elementary school children to chaos and fractals. *Journal of Science Education and Technology*, 1(3), 191-209.
<https://doi.org/10.1007/BF00701363>

- Alsina, A. (2009). El aprendizaje realista: una contribución de la investigación en Educación Matemática a la formación del profesorado. En M. J. González, M. T. González y J. Murillo (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XIII* (pp. 119-127). Santander: SEIEM.
- Apkarian, N., Tabach, M., Dreyfus, T. y Rasmussen, C. (2019). The Sierpinski smoothie: blending area and perimeter. *Educational Studies in Mathematics*, 101, 19-34.
<https://doi.org/10.1007/s10649-019-09889-4>
- Arcavi, A. (2018). Hacia una visión integradora de la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas. *Educación Matemática*, 30(2), 33-48.
<https://doi.org/10.24844/EM3002.02>
- Arnon, I., Cottril, J., Dubinsky, E., Oktaç, A., Roa, S., Trigueros, M. y Weller, K. (2014). *APOS Theory. A framework for research and curriculum development in mathematics education*. Nueva York: Springer-Verlag.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7966-6>
- Barrio, J. (1989). El grupo de las transformaciones de Piaget. *Revista Española de Pedagogía*, 47(183), 205-243. <https://www.jstor.org/stable/23763768>
- Brown, A., McDonald, M. y Weller, K. (2008). Step by step: Infinite iterative processes and actual infinity. En F. Hitt, D. Holton y P. Thompson (Eds.), *CBMS Issues in Mathematics Education: Vol. 16. Research in Collegiate Mathematics Education VII* (pp. 115-142). Washington, DC: The American Mathematical Society.
<https://doi.org/10.1090/cbmath/016>
- Chabert, J.-L. (1990). Un demi-siècle de fractales: 1870-1920. *Historia Mathematica*, 17(4), 339-365.
[https://doi.org/10.1016/0315-0860\(90\)90026-A](https://doi.org/10.1016/0315-0860(90)90026-A)
- Dreyfus, T. (1991). Advanced mathematical thinking processes. En D. Tall (Ed.), *Advanced Mathematical Thinking* (pp. 25-41).
<https://doi.org/10.1007/0-306-47203-1>
- Dreyfus, T. (2015). Constructing abstract mathematical knowledge in context. En S. J. Cho (Ed.), *Selected Regular lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education* (pp. 115-133).
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-17187-6>
- Dubinsky, E. (1991). Reflective abstraction in advanced mathematical thinking. En D. Tall (Ed.), *Advanced Mathematical Thinking* (pp. 95-123). Dordrecht: Kluwer.
https://doi.org/10.1007/0-306-47203-1_7
- Dubinsky, E., Arnon, I. y Weller, K. (2013). Preservice teachers' understanding of the relation between a fraction or integer and its decimal expansion: The case of 0.999 and 1. *Canadian Journal of Science, Mathematics, and Technology Education*, 13(3), 232-258.
<https://doi.org/10.1080/14926156.2013.816389>
- Dubinsky, E., Weller, K., Stenger, C. y Vidakovic, D. (2008). Infinite iterative processes: The tennis ball problem. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, 1(1), 99-121. <https://www.ejpam.com/index.php/ejpam/article/view/48/17>
- Echeverría, R. (1997). *El búho de Minerva*. Santiago, Chile: Dolmen Ediciones.
- Garbin, S. (2005a). Ideas del infinito, percepciones y conexiones en distintos contextos: El caso de estudiantes con conocimientos previos de cálculo. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 61-80. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/22005>
- Garbin, S. (2005b). ¿Cómo piensan los alumnos entre 16 y 20 años el infinito? La influencia de los modelos, las representaciones y los lenguajes matemáticos. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 8(2), 169-193. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33580205>
- Garbin, S. (2007). La problemática fractal: un punto de vista cognitivo con interés didáctico. *Paradigma*, 2, 79-80. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1011-22512007000200004&lng=es&tlng=pt

- Garbin, S. y Azcárate, C. (2002). Infinito actual e inconsistencias: Acerca de las incoherencias en los esquemas conceptuales de alumnos de 16-17 años. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(1), 87-113. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21786>
- Godino, J., Batanero, C. y Font, V. (2008). Un enfoque ontosemiótico del conocimiento y la instrucción matemática. *Acta Scientiae. Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 10, 7-37. http://www.ugr.es/~jgodino/funciones-semioticas/sintesis_eos_10marzo08.pdf
- Gray, E. y Tall, D. (2007). Abstraction as a natural process of mental compression. *Mathematics Education Research Journal*, 19(2), 23-40. <https://doi.org/10.1007/BF03217454>
- Hershkowitz, R., Hadas, N., Dreyfus, T. y Schwarz, B. (2007). Abstracting processes, from individual's construction of knowledge to a group's «shared knowledge». *Mathematics Education Research Journal*, 19(2), 41-68. <https://doi.org/10.1007/BF03217455>
- Karakus, F. (2015). Investigation into how 8th grade students define fractals. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 15(3), 825-836. <https://doi.org/10.12738/estp.2015.3.2429>
- Klein, F. (1924). *Elementary mathematics from an advanced standpoint: arithmetic, algebra, analysis*. Nueva York: Dover.
- Mason, J. (1989). Mathematical abstraction as the result of a delicate shift of attention. *For the Learning of Mathematics*, 9(2), 2-9. <https://www.jstor.org/stable/40247947>
- Peitgen, H., Jürgen, H. y Saupe, D. (2004). *Chaos and Fractals*. Nueva York: Springer. <https://doi.org/10.1007/b97624>
- Piaget, J. (2000). *El nacimiento de la inteligencia en el niño*. Barcelona: Crítica.
- Sabogal, S. y Arenas, G. (2011). *Una introducción a la geometría fractal*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Sierpinski, W. (1915). Sur une courbe dont tout point est un point de ramification. En *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences* (pp. 302-305). París: Gauthier Villars et compagnie, Imprimeurs Libraires.
- Stake, R. E. (2010). *Investigación con estudio de casos*. Barcelona: Labor.
- Stenger, C., Weller, K., Arnon, I., Dubinsky, E. y Vidakovic, D. (2008). A Search for a Constructivist Approach for Understanding the Uncountable Set. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 11(1), 93-125. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-24362008000100004&lng=es&tlng=
- Thurston, W. (1990). Mathematical education. *Notices of the AMS*, 37, 844-850. <https://arxiv.org/pdf/math/0503081v1.pdf>
- Tsamir, P. y Dreyfus, T. (2002). Comparing infinite sets – a process of abstraction. The case of Ben. *Journal of Mathematical Behavior*, 21, 1-23. [https://doi.org/10.1016/S0732-3123\(02\)00100-1](https://doi.org/10.1016/S0732-3123(02)00100-1)
- Villabona, D. y Roa, S. (2016). Procesos iterativos infinitos y objetos trascendentes: un modelo de construcción del infinito matemático desde la teoría APOE. *Educación Matemática*, 28(2), 119-150. <https://doi.org/10.24844/EM2802.05>
- Weller, K., Arnon, I. y Dubinsky, E. (2011). Preservice teachers' understanding of the relation between a fraction or integer and its decimal expansion: Strength and stability of belief. *Canadian Journal of Science, Mathematics, and Technology Education*, 11, 129-159. <https://doi.org/10.1080/14926156.2011.570612>

APÉNDICE

Secuencia completa de actividades

Formulario A

Existe una figura especial que se va construyendo de la siguiente manera:

- Se inicia con un triángulo equilátero (lámina A).
- Luego se va aplicando el proceso que se indica a continuación: Dibujamos los segmentos que unen los puntos medios de los lados obteniendo cuatro triángulos y quitamos el triángulo central (lámina B).
- A cada uno de los tres triángulos de la imagen construida se le aplica el mismo proceso anterior, y así sucesivamente.



Actividad 1

- 1a) Dibuja la imagen que se observaría al aplicar nuevamente el proceso a la imagen de la lámina B.
- 1b) Dibuja la imagen que se observaría si se aplica nuevamente el proceso a la imagen obtenida en 1a).
- 1c) ¿Qué es lo más fácil de esta actividad?
- 1d) ¿Qué es lo más difícil de esta actividad?

Actividad 2

- 2a) ¿Qué semejanzas con la imagen de la lámina B tiene la imagen obtenida al aplicar el procedimiento por quinta vez?
- 2b) ¿Qué diferencias con la imagen de la lámina B tiene la imagen obtenida al aplicar el procedimiento por quinta vez?
- 2c) ¿Cómo te imaginas la imagen al aplicar 10 veces el proceso? Explícalo en palabras.
- 2d) Al acercar una lupa a uno de los vértices de la imagen obtenida al aplicar 100 veces el proceso, ¿qué se observa a través de la lupa?



- 2e) En la lámina C se ha dibujado el espacio en blanco que queda más cerca del vértice superior de la imagen construida al aplicar 200 veces el proceso. Dibuja solo las figuras que comparten un lado con este espacio.



Actividad 3

- 3a) Completa la tabla A1 (puedes desarrollar la actividad en las hojas de atrás, indicando el número de la pregunta, y luego traspasar los resultados a la tabla).

Tabla A1

<i>Cantidad de procesos aplicados</i>	<i>Cantidad de triángulos que componen la imagen</i>
4 veces	
10 veces	

- 3b) Al aplicar una vez el proceso, cada lado de la imagen queda dividido en dos partes iguales (lámina D). ¿En cuántas partes queda dividido cada lado de la imagen obtenida al aplicar 5 veces el proceso?



- 3c) ¿Por qué no existe una imagen compuesta por 1024 triángulos al construir esta figura especial?

Formulario B

Existe una figura especial que se va construyendo de la siguiente manera:

- Se inicia con un triángulo equilátero (lámina A).
- Luego se va aplicando el proceso que se indica a continuación: dibujamos los segmentos que unen los puntos medios de los lados obteniendo cuatro triángulos y quitamos el triángulo central (lámina B).
- A cada uno de los 3 triángulos de la imagen construida se le aplica el mismo proceso anterior, y así sucesivamente.

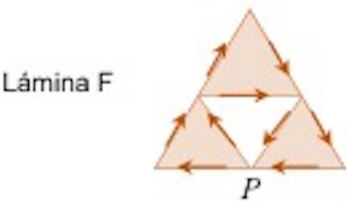
Actividad 4

- 4a) Dibuja la imagen que se obtendría al aplicar el proceso cinco veces.
4b) Explica por qué lo que se muestra en la lámina E no puede ser una imagen de la figura especial.
Escribe tu respuesta.



Actividad 5

Cada imagen que se forma al aplicar el proceso posee un perímetro y un área según se indica a continuación. Perímetro: En la lámina F, las flechas señalan un camino que parte en P (punto medio de uno de los lados del triángulo inicial), y que se puede seguir para pasar una sola vez por cada segmento. A la longitud de todo el camino lo denominaremos Perímetro de la imagen. Área: El área es la suma de las áreas solo de los triángulos que componen la imagen.



- 5a) Completa la tabla A2. Considera que el proceso se inició con un triángulo equilátero de lado 1. (Puedes desarrollar la actividad en las hojas de atrás, colocando el número de la actividad y luego traspasar los resultados a la tabla).

Tabla A2

<i>Tipo de imagen</i>	<i>Perímetro de la imagen</i>	<i>Área de la imagen</i>
Imagen conformada por 9 triángulos		
Imagen obtenida al aplicar 4 veces el proceso		

Actividad 6

- 6a) Completa la tabla A3 considerando que el proceso se inició con un triángulo equilátero de lado 1. En la columna 1 puedes elegir el número de veces que se aplicó el proceso (elige tres casos distintos). Puedes realizar los cálculos en las hojas de atrás colocando el número de la actividad y luego traspasar los resultados a la tabla.

Tabla A3

<i>Número de veces que se aplicó el proceso</i>	<i>Número de triángulos que componen la imagen</i>	<i>Perímetro</i>	<i>Área</i>

Actividad 7

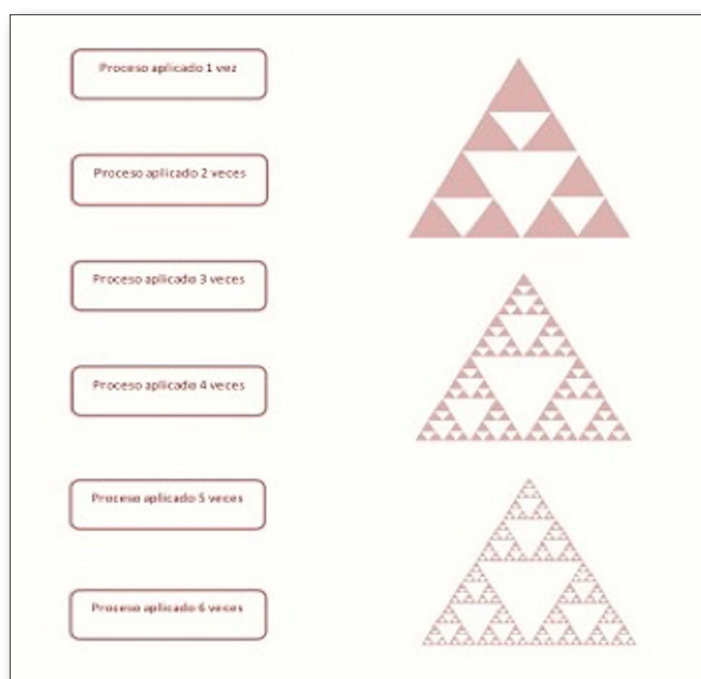
Al aplicar el proceso una y otra vez aparecen distintas imágenes de la figura especial.

7a) ¿Cuántas imágenes faltan por ubicar entre las dos que se muestran a continuación cuando el proceso se aplica una y otra vez en forma consecutiva?



7b) Justifica la respuesta anterior.

7c) Une con una flecha lo que corresponda:



Actividad 8

8a) Completa la tabla A4 considerando que se comienza de un triángulo equilátero de lado 1.

Tabla A4

Número de veces que se aplicó el proceso	Lugar que ocupa la imagen entre las imágenes que se van construyendo	Número de triángulos que componen la imagen	Longitud del lado de cada triángulo que compone la imagen	Perímetro de la imagen	Área de la imagen

8b) Considera que este proceso de construcción continúa indefinidamente, ¿cuántos triángulos componen la imagen en ese estado?

Mental mechanism of synthesis in the learning of the Sierpinski triangle as a totality

Ximena Gutiérrez Figueroa

Centro de Estudios y Desarrollo de Educación Continua para el Magisterio, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
ximenagutierrez@u.uchile.cl

Marcela Parraguez González

Instituto de Matemáticas, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile.
marcela.parraguez@pucv.cl

Various research studies of didactic interest consider the importance of promoting the integration of concepts in the teaching of mathematics. Part of the theoretical inquiry developed in the context of this research reveals that the concept integration approach has been considered by different researchers under different names. Hence concepts such as organic bonding, compressible mathematics, principle of interconnection and fusion of knowledge propose a certain common episteme, in response to the complexity of the teaching of mathematics, which in this study we have called «knowledge integration approach». The geometric fractals favour the approach indicated, and among their exponents the Sierpinski triangle was chosen as the object of study. Geometric fractals are not part of the compulsory Chilean school curriculum, so we place ourselves in the qualitative paradigm to understand in depth how such knowledge can be learned at the secondary level. Under these conditions, and under the wing of the APOS theory, we set out to identify, describe and base, from this cognitive framework, how the Sierpinski triangle is constructed and also contribute to the theoretical reflection on the construction of the totality as a mental structure facilitated by the mechanism of synthesis.

Considering the methodological framework of APOS, three moments were selected to carry out the experiment. The first moment, of theoretical analysis, gave rise to a cognitive model for learning the Sierpinski triangle, where iteration and self-similarity were identified as intrinsic mental structures for its construction. This model recognizes the recurrence of constructed concepts as analytical and geometric processes that are coordinated to give rise to a three-dimensional infinite iterative process. Based on the scientific literature on the totality in the field of APOS and in specialized studies that address the concept integration approach, the construction of the fractal under study was established as a totality facilitated by the synthesis mechanism. In a second phase, a sequence of activities was designed to promote the mental constructions described in the model, which were developed by nine secondary school students individually and without the intervention of the teacher in charge of the class. Finally, the data were analyzed using the cognitive model generated by the theoretical analysis.

The results have a double dimension: on the one hand, in the construction of the Sierpinski triangle, analytic and geometric characteristics are identified, represented by various themes included in the school curriculum. As an example, at least: arithmetic and geometric patterns emerge; polygons, medians, perimeters and areas; similarity; powers, natural numbers and their order; and successions, which were described as distinct mental structures based on the theoretical analysis developed. On the other hand, the theoretical analysis also allowed to delve into the importance of the «totality» structure in the learning of the Sierpinski triangle facilitated by the proposed synthesis mechanism, by which the fractal is placed between process and object when conceived as a static whole that integrates the geometric and analytical characteristics described in the cognitive model.

By way of discussion and considering that there are concepts in the school curriculum that require knowledge which is treated at higher levels of education to be constructed as objects, we believe that the whole structure can be propitiated for several of these concepts. This requires further progress in the study of new mechanisms specific to these concepts, so that school knowledge schemes continue to be reconstructed and to mobilize increasing levels of abstraction without neglecting contexts and functionalities in the real world.



Funcionalidad de las relaciones entre conceptos en la resolución de problemas

Functionality of relationships among concepts for problem solving

Carlos Emilio Reigosa Castro
IES Lucus Augusti y Facultad de Formación del Profesorado (Lugo, España)
carlosreigosa@edu.xunta.gal

RESUMEN • En este trabajo se analiza la evolución de las relaciones semánticas entre conceptos desarrolladas por un grupo de estudiantes de secundaria cuando se enfrentan en el laboratorio de Física a tareas prácticas concebidas como problemas. Los resultados indican que el proceso de desarrollar las relaciones semánticas para resolver las tareas fue un proceso laborioso en el que dichas relaciones van atravesando fases de distinta funcionalidad hasta llegar a ser herramientas útiles para la planificación de acciones, aunque en las tareas analizadas no se sigue siempre el mismo camino. Además, a la hora de que los estudiantes sean capaces de resolver una tarea, hemos visto que se superponen otros aspectos, como la presencia de eventuales dificultades epistemológicas y procedimentales.

PALABRAS CLAVE: Relaciones semánticas; Prácticas contextualizadoras; Laboratorio de física; Problemas abiertos; Indagación científica.

ABSTRACT • The evolution of the semantic relationships among concepts developed by a group of high school students while facing practical tasks conceived as problems in the Physics laboratory is analyzed in this paper. The results point that the process of developing the semantic relationships to solve the tasks was a laborious process in which the semantic relationships go through phases of different functionality until becoming useful tools for planning actions, although different paths were followed in the different analyzed tasks. Moreover, to get the students to be able to solve a task, we see that other aspects overlap, such as the presence of eventual epistemological and procedural difficulties.

KEYWORDS: Semantic relationships; Contextualizing practices; Physics laboratory; Open problems; Scientific research.

Recepción: abril 2020 • Aceptación: abril 2021

Reigosa Castro, C. E. (2021). Funcionalidad de las relaciones entre conceptos en la resolución de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 93-111.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3294>

INTRODUCCIÓN: OBJETIVOS Y FUNDAMENTACIÓN DEL TRABAJO

La comprensión de la naturaleza de la actividad científica es un objetivo fundamental de la enseñanza de las ciencias, y, en lo que a esto respecta, es importante tener en cuenta que, como Wells (1999) indica, comprender las formas de actuar de una comunidad no puede ser independiente de la participación en las prácticas sociales en las que cobran sentido. Brown, Collins y Duguid (1989) consideran que el aprendizaje es un proceso de enculturación que se logra mediante la implicación progresiva en actividades similares a aquellas en las que participan los verdaderos miembros de la comunidad. Concretando para la comunidad científica, sus actividades tienen poco de aplicación mecánica de instrucciones y, de hecho, los científicos aprenden la cultura de la ciencia mediante la práctica y la inmersión en tareas complejas (Barab y Hay, 2001). A pesar de esto, en la enseñanza de las ciencias no procede excluir la importancia de la reflexión explícita sobre las prácticas científicas.

Puede parecer difícil que los estudiantes comprendan la naturaleza de la actividad científica (Bell, 2003), pero, por ejemplo, Metz (2004) muestra que los estudiantes pueden tener un éxito reseñable al ejecutar tareas científicas, aunque estas sean de cierta complejidad, y Stake y Mares (2001) aportan pruebas que indican que la implicación de los estudiantes en tareas de indagación científica hace mejorar su actitud ante la ciencia. Además, la indagación científica facilita el desarrollo de formas de pensar más sofisticadas (Charney et al., 2007), lo que aumenta sus habilidades de manejo de hipótesis, modelos, argumentos y conceptos. Kuhn et al. (2017) muestran que la implicación del alumnado en actividades científicas favorece las destrezas de investigación, análisis y argumentación, y para Richmond (1998) la inmersión en la cultura de la ciencia proporciona las oportunidades necesarias para ser testigos y participantes de la ciencia como actividad humana.

Un aspecto importante que hay que tener en cuenta a la hora de ayudar a los estudiantes a desarrollar una visión satisfactoria de la actividad científica es que los miembros de las comunidades se diferencian por las tareas que realizan y por las prácticas y recursos que ponen en juego, siendo centrales las prácticas discursivas (Roth y Bowen, 1995). En relación con esto, Cazden (1988) indica que toda institución social es un sistema de comunicación. El discurso ha sido definido como el lenguaje en uso en una comunidad (Lemke, 1997), de modo que la enculturación científica implica la apropiación del lenguaje de la ciencia. Apropiarse de ese lenguaje conlleva desarrollar un uso competente de sus recursos para crear significados, es decir, implica no solo un aprendizaje de su léxico o sintaxis, sino desarrollar un dominio de este en términos de sistema semiótico, por lo que los estudiantes deberían implicarse en procesos discursivos propios de la ciencia (Bjørkvold y Blikstad-Balas, 2018), perspectiva que asumimos en este estudio, teniendo en cuenta la relación básica entre discurso y acción.

El análisis que se muestra en este trabajo acerca de la creación de significados se realiza usando la noción de prácticas contextualizadoras de Lemke (1997). Para este autor, el significado de las palabras y acciones no está fijado unívocamente en estas, sino que es construido interaccionalmente por las personas. Las prácticas por medio de las cuales se llevan a cabo acciones o manifestaciones que tienen sentido para la comunidad son las prácticas de creación de significados o semióticas. Lemke (1997) considera que las acciones cobran significado al conectarlas a contextos. Los contextos sociales asociados con una acción en una comunidad particular son los contextos indexicales, término usado, por ejemplo, por Godino et al. (2012) para analizar la visualización en la educación matemática. Lo importante en la contextualización indexical son las pautas de acciones, las relaciones sistemáticas de acciones, que cobran sentido en relación con los contextos externos a los que hacen referencia. Un caso especial de contexto indexical son los contextos o patrones temáticos, referidos a cómo se habla en una comunidad determinada acerca de un tema concreto. En los contextos temáticos, las relaciones semánticas entre los conceptos son reconstruidas continuamente.

Analizar la evolución de los patrones temáticos de los estudiantes durante la resolución de problemas experimentales en el laboratorio es útil para poder tener la información necesaria para prestar a los estudiantes ayuda útil durante esas tareas, si bien otras líneas de investigación, como la relacionada con la *modelización* (Oliva, 2019), también serían útiles para ello. En concreto, en este estudio nos planteamos analizar la evolución de las relaciones semánticas entre conceptos para dos tareas a las que los estudiantes se enfrentaron en el laboratorio. Estas relaciones se refieren a la conexión de los conceptos con el significado de otros conceptos, y también a su relación con pautas de acción inteligibles y con otros contextos; exploramos en ellas hasta qué punto les resultan funcionales a los estudiantes para implementar pautas de acción útiles para abordar las tareas.

La pregunta de investigación que guía este estudio es: «¿Cómo construyen los estudiantes relaciones semánticas entre conceptos transformándolos en herramientas funcionales para enfrentarse a tareas abiertas en el laboratorio?».

CONTEXTO Y METODOLOGÍA

Los participantes en las dos tareas cuyo análisis mostramos en este estudio fueron un grupo de cuatro estudiantes de 4.º de ESO (15-16 años), junto a su profesor (el autor del trabajo), en un instituto público de una ciudad pequeña de España. La clase tenía 22 estudiantes, que fueron divididos en grupos de tres o cuatro. Las tareas analizadas, «Tipo de movimiento en un carril» (TMC) y «Medida de la masa con resortes» (MMR), ocuparon tres sesiones cada una.

Cabe indicar que, en la tarea MMR, hubo algunas modificaciones en los participantes. En la segunda sesión de las dedicadas a ella, tres miembros del grupo no acudieron, cuyo lugar fue ocupado por tres chicas de otro grupo, mientras que en la tercera sesión hubo una fase de intercambio con dos miembros de otro grupo (tabla 1).

Tabla 1.
Participantes en la tarea MMR

<i>Sesión 1</i>	<i>Sesión 2</i>	<i>Sesión 3</i>
Susana	Susana	Susana
Sergio	Hilaria	Sergio
Santiago	Herminia	Santiago/Ramón
Simeón	Higinia	Simeón/Ricardo

Se procuró que las tareas fueran compatibles con aquellas a las que habitualmente se enfrentan los científicos. Para ello, eran abiertas (en el sentido de tener distintos caminos posibles para llegar a una solución), constituían un problema para los estudiantes, implicaban la necesidad de tomar decisiones metodológicas y epistemológicas y conllevaban también la necesidad de diseñar y llevar a cabo experimentos. Así se pretendía conectar un contexto de ciencia escolar con el de la ciencia real.

En la tarea TMC, los estudiantes debían decidir qué tipo de movimiento sigue una bola moviéndose por un carril en posición horizontal y en posición inclinada. Por su parte, el problema de la tarea MMR consistía en responder a la pregunta de si es posible sustituir una balanza por un resorte a la hora de medir masas, para lo que disponían de dos muelles distintos y una goma. Esta tarea ya había sido puesta anteriormente en práctica con otro grupo de alumnos (Reigosa y Jiménez, 2000). Con ambas tareas se les proporcionaba un guion que establecía el problema que debía resolverse, pero en el que no se les daban instrucciones en forma de pasos concretos.

El planteamiento de la intervención docente era ayudar a los estudiantes a mejorar la calidad del proceso de resolución de las tareas, no a ayudarles a llegar a toda costa a un resultado determinado. La actividad de los estudiantes fue observada por el profesor, lo que le permitió constatar las dificultades que impedían su progreso en la resolución de la tarea y darles una asistencia orientada a superarlas. La asistencia se concibió en términos de andamiaje, en el sentido de que estaba orientada a ayudar a los estudiantes a progresar en su nivel de competencia autónoma (Mercer y Fischer, 1992). En la interacción profesor-estudiantes se pretendió evitar dar instrucciones de pasos concretos para asegurarse de que habían sido ellas y ellos los que habían dado una solución al problema, lo cual implica necesariamente el desarrollo de las destrezas requeridas para ello.

Los datos analizados en este estudio consisten en las grabaciones de audio y vídeo de los participantes. Esas grabaciones fueron transcritas por el autor y fueron analizadas de forma orientada a la construcción de interpretaciones a partir de los datos, no a apoyar o a refutar hipótesis apriorísticas (Lincoln y Guba, 1985). Para realizar dichas interpretaciones, a la vista de los datos, se optó por una teoría útil para comprenderlos, pareciéndonos adecuada la noción de prácticas contextualizadoras. Las transcripciones fueron revisadas repetidas veces, de manera que se identificaron eventos y regularidades relacionadas con la pregunta de investigación y se formularon interpretaciones que fueron refinadas mediante la revisión continuada y cíclica (McKernan, 1999). El objetivo era llegar a un conocimiento detallado de cómo los diálogos permitieron a los participantes hacer progresar su discurso y sus prácticas.

En el apartado de resultados de este trabajo, se muestran ejemplos que ilustran los aspectos analizados. En ellos, la numeración de las sesiones se corresponde con las dedicadas a cada tarea y la numeración de las intervenciones de los estudiantes, con el total correspondiente a cada sesión. Las manifestaciones orales de los participantes se muestran en letra normal, las acciones físicas en *cursiva* y los comentarios introducidos por el autor en *courier*. En los fragmentos de transcripción mostrados se han omitido algunos turnos para reducir la longitud, eliminando aquellos que no contenían informaciones relevantes para los objetivos del trabajo. Algunas intervenciones han sido traducidas del gallego.

RESULTADOS

Tarea TMC

Los estudiantes primero abordaron la situación del carril horizontal, y una de las primeras cosas que hacen es medir el tiempo que tarda la bola en recorrer el carril:

Sesión 1 - TMC

78	Susana	Dale, venga
83	Susana	Di ya
92	Susana	Vale, venga. Vuelve a tirar. Dale
94	Simeón	Cuidado que no lo tienes recto eso. Se te va a caer por un lado (<i>refiriéndose a una rampa pequeña de la que disponían para darle a la bola un impulso inicial para moverla por el carril horizontal</i>)
96	Susana	Luego te digo «ya» cuando llegue aquí, ¿vale?
103	Sergio	O sea, que esa velocidad... eso es el tiempo, ¿no? Sí. Calcula la velocidad. Es la misma.

Aunque Sergio (línea 103) dice que van a calcular la velocidad, después no saben qué hacer con el tiempo que han determinado.

Sesión 1 - TMC

112	Susana	Bien. Entonces y... ¿qué nos dice con este tiempo?
113	Sergio	El tiempo, pues, para llegar allí.
115	Susana	Vale. Hay que mirar tipo de movimiento que sigue la bola por el carril, eeeh... pues...

En ese momento, no usan los conceptos de tiempo, velocidad y espacio conectados dentro de un patrón temático coherente y útil para resolver la tarea, sino que se trata de conceptos desconectados. Sin embargo, poco después, se produce un importante avance en la resolución de la tarea:

Sesión 1 - TMC

122	Susana	Ah, la posición. La posición, pues medimos esto con el rollo este, y que se cumple.
140	Susana	Con la fórmula aplicamos... aquí sí sabemos la posición... $s = s_0 + v t$... entonces sabemos que... que 70 (centímetros) es igual a $0 + v \times 1,80$... 1,82 (segundos).
147	Simeón	Y esa velocidad la volvemos a calcular abajo.

Primero conectan los conceptos a través de una fórmula (línea 140) y después los usan para tomar decisiones (línea 147), siendo capaces de proponer una metodología útil para resolver el problema: medir la velocidad en dos sitios. Así tienen dos valores que pueden comparar para ver si el movimiento es uniforme o no.

Sin embargo, se les plantea una dificultad relacionada con el papel de una rampa pequeña en forma de cuña que les había sido proporcionada con la idea de que la usaran para darle un impulso inicial a la bola cuando esta se moviera por el carril en posición horizontal (figura 1). Interpretamos que identifican movimiento uniforme con la ausencia de una causa que produzca aceleración, lo cual los lleva a la conclusión de que no pueden usar la rampa pequeña (líneas 156-159).

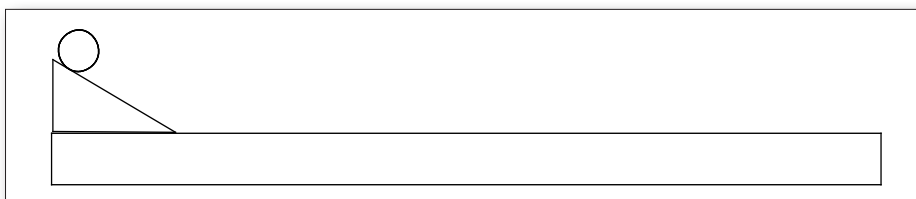


Fig. 1. Movimiento de la bola por el carril horizontal.

Sesión 1- TMC

149	Susana	Pero es que ¿cómo vamos a saber si es uniformemente acelerado o uniforme simplemente? Yo creo que es, tiene que ser uniforme.
154	Simeón	Es que no hay nada que lo acelere.
157	Susana	Sí lo acelera, lo acelera la rampilla
158	Simeón	... pero entonces no podemos utilizar la rampilla... porque...
159	Susana	Claro, es que si es uniforme tiene que ser sin rampa... tiene que ser el recorrido del rel... de, de la bola, por el carril este, no por este carril... por este carril es, es que acelera, pumba.

En este momento se encuentran en un callejón sin salida, puesto que, por una parte, son conscientes de que la rampilla afecta al movimiento de la bola, y no saben cómo tener en cuenta ese efecto, y, por otra, también se dan cuenta de que, sin ella, la bola no se mueve. Da la impresión de que no se plantean la posibilidad de estudiar un fenómeno (el movimiento de la bola en el carril horizontal) prescindiendo de su origen (la rampilla). Parecen considerar el movimiento de la bola como un proceso que empieza al dejarla en la rampilla y que no se puede dividir con fines analíticos en etapas. La metodología, habitual en la cultura científica, de estudiar partes de un proceso u objeto por separado es una metodología refinada y poderosa que va más allá del sentido común, como aquí se pone de manifiesto. Vemos que, en este caso, tienen dificultades para plantearse el estudio de movimientos con velocidad inicial distinta de cero, lo cual es imprescindible para lograr una comprensión completa de la primera ley de Newton.

En siguientes fases continúan discutiendo acerca del problema de la rampilla. Proponen eliminarla y empujar la bola, lo cual es desechado por considerar ambas posibilidades equivalentes. En estos momentos, aunque los alumnos hayan desarrollado un contexto indexical con relaciones semánticas correctas entre los conceptos de espacio, tiempo y velocidad, tal contexto no les ha servido para resolver el problema. La existencia de un obstáculo epistemológico originado por la reticencia a estudiar un fenómeno prescindiendo de su origen ha hecho que el marco conceptual no haya sido suficiente. No hacen una conexión entre los aspectos cinemáticos de la tarea (medida de la velocidad) y los dinámicos (los relativos a la fuerza que causa la aceleración requerida para iniciar el movimiento). Un contexto indexical consta de más dimensiones que las relaciones temáticas entre los conceptos, los cuales se pone de manifiesto que no son lo único que hay que tener en cuenta para que un contexto indexical sea operativo. Tras un intervalo de tiempo en el que no son capaces de proseguir consultan con el profesor:

Sesión 1 - TMC

282	Susana	Pero se supone que si estuviera horizontal-horizontal tendría que estar quieta la bola.
283	Profesor	Ya, pero...
285	Profesor	cuando se mueve.
286	Susana	¿Dándole una velocidad inicial?
287	Profesor	Sí.
291	Susana	Ya, pero me refiero si ponemos la rampa, entonces la, la, le estamos dando la velocidad, o sea, es distinta... no estamos utilizando la longitud del carril. Sin embargo, si le doy... un golpe desde aquí.
292	Profesor	Bueno, pero se refiere a cuando está circulando por el carril. Entonces tú no contarías desde el principio de la rampa.
293	Sergio	No contaría desde el principio.

La solución aportada por el profesor es trivial desde el punto de vista experto: estudiar el movimiento solo donde no está la rampilla inicial. Sin embargo, para los alumnos esto supuso un obstáculo que no fueron capaces de superar.

Una vez recibida esa asistencia por parte del profesor, son capaces de controlar las condiciones iniciales:

Sesión 1 - TMC

305	Susana	Hay que elegir una posición.
306	Sergio	Es que hay que hallar la velocidad... Es que, espera, la velocidad es ese, te...
312	Simeón	El tiempo, el tiempo lo tenemos que calcular desde que sale de aquí (donde se acaba la rampilla)... , no desde arriba, con la, con la...

Un poco más adelante dan con una forma de resolver la tarea:

Sesión 1 - TMC

533	Susana	Entonces, ahora, hallamos la, la, ¿cómo se llama? Mm... la velocidad cuando la posición es, eeeh...
537	Susana	... cuando la posición es cero seiscientos diecinueve (metros). Si hallamos, si cogemos otra posición, otro punto, si hallamos la velocidad, y, si, la, la velocidad coincide, es que...
539	Susana	... es uniforme, y si no, es que es acelerado, o decelerado, claro. ¿Qué, qué posición cogemos?

Aquí son capaces de usar los conceptos de forma satisfactoria como herramientas para llevar a cabo la toma de decisiones que permitan resolver el problema. Aquí ya no persiste el obstáculo epistemológico anterior y el contexto indexical activado permite insertar en él las acciones necesarias para resolver la tarea. Vemos la importancia de considerar aspectos tales como la existencia de obstáculos epistemológicos como, en este caso, las dificultades para estudiar un fenómeno separadamente de su origen. La reconstrucción hecha en este trabajo de las fases de esta tarea y que van desde los conceptos inicialmente desconectados hasta los conceptos como herramientas útiles para tomar decisiones se muestra en la figura 2.

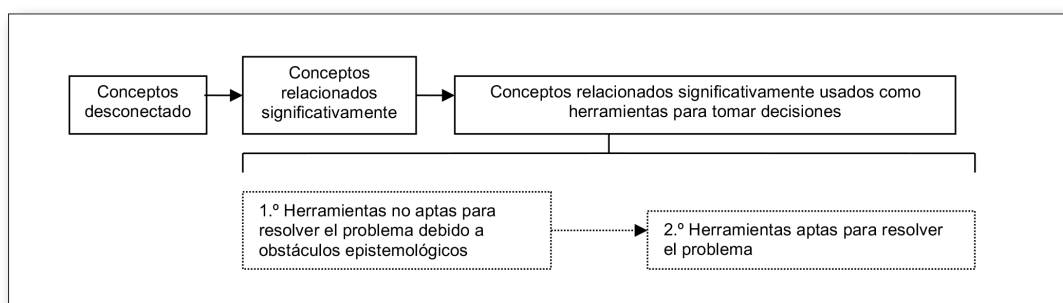


Fig. 2. Fases en la construcción de los aspectos temáticos del contexto indexical (carril horizontal).

Después de enfrentarse al problema del carril horizontal pasan a analizar la situación de cuando este está inclinado. Hacen la planificación de las acciones a ejecutar con mucha mayor rapidez, debido a que se basan en el contexto indexical desplegado durante la primera parte de la tarea, en el cual insertan satisfactoriamente acciones útiles para resolver el problema. Miden para dos tramos de distinta longitud, y obtienen los resultados de la tabla 2.

Tabla 2.
Datos obtenidos inicialmente
por los alumnos para el carril inclinado

s / m	t / s	$v_m / (m s^{-1})$
0,619	1,10	0,56
0,400	0,75	0,53

Estos resultados no conducen a la conclusión de que es un movimiento uniformemente acelerado y la semejanza de las velocidades les hace pensar que entre ellas no hay diferencias significativas:

Sesión 2 - TMC

84	Susana	¿Cómo va a ser uniforme si va... aumentando?
100	Susana	Mira, hasta que nos dé un resultado distinto, va mal.

Puede pensarse que Susana se niega a aceptar los datos experimentales, pero hay que tener en cuenta que los resultados que obtienen son anómalos. Al hacer las medidas, obtienen el resultado anómalo de que la velocidad es igual para los dos tramos, lo cual no es coherente con lo que observan. La alumna es capaz de usar el contexto indexical que maneja para generar un criterio y poner así en duda la validez de determinados datos experimentales.

En ocasiones se ha señalado la resistencia de los estudiantes a variar sus esquemas conceptuales frente a situaciones empíricas que están en conflicto con ellas (ver, por ejemplo, Driver, Guesne y Tiberghien, 1989), pero centrándose en casos en los que se buscaba que los estudiantes abandonasen esquemas erróneos desde el punto de vista de la ciencia. Sin embargo, en el caso que aquí mostramos, los estudiantes están en lo cierto, puesto que es correcto que la velocidad no es constante, sino que va aumentando. Como muestran Chinn y Brewer (1993), la modificación de las teorías solo es una de las múltiples posibilidades que se abren ante unos datos u observaciones anómalos con respecto a un marco de referencia. De hecho, la identificación de datos anómalos no es una destreza universal y desligada del aprendizaje y del contexto (Toplis, 2007), por lo que se han planteado proyectos educativos que incluyen ayudar a los alumnos a identificar datos sospechosos (Wood-Robinson et al., 2000). Más adelante, cuando hablan con el profesor aclaran por qué el resultado es anómalo, haciendo una referencia a otro contexto (la bicicleta):

Sesión 2 - TMC

425	Profesor	¿Por qué dices... por qué no puede ser uniforme cuando está inclinado?
429	Susana	Si vas en bicicleta, cuando te pillas una cuesta mm, y dejas, bueno, pues en punto muerto, pues vas aumentando.
433	Sergio	Si te dejas caer por una rampa, al llegar al fondo vas con mucha más velocidad que arriba.

Poco tiempo después, el profesor les ayuda mostrándoles que el error está en la excesiva inclinación con que habían colocado el carril:

Sesión 2 - TMC

536	Profesor	Cuando va muy rápido, ¿sabéis qué pasa? Es muy difícil medir bien los tiempos. Entonces, vamos a hacerlo así...
537	Profesor	<i>(Coloca el carril con mucha menos inclinación)</i>
543	Profesor	¿Entendéis? Si lo hacemos todo muy rápido, es muy difícil medir los tiempos.

El conocimiento manejado por el profesor incluye aspectos procedimentales vitales como mayor destreza acerca del control del error experimental. El profesor intenta que se den cuenta de que, como las magnitudes físicas pequeñas son difíciles de medir con exactitud, es muy inexacto medir tiempos pequeños. Por ello, lo que corresponde hacer es inclinar menos el carril para obtener tiempos mayores.

Después, hacen las mediciones con una inclinación menor para los dos tramos, introducen el concepto de aceleración y resuelven el problema. En resumen, en la segunda parte de la tarea TMC, se vuelve a poner de manifiesto que un contexto indexical en el que los conceptos simplemente son valorados en términos de comprensión de sus relaciones semánticas no resulta suficiente, sino que aquí

interfieren dificultades de tipo procedimental. Las fases en la adecuación de las relaciones semánticas entre conceptos del contexto indexical para la resolución de la segunda parte de este problema se muestran en la figura 3:

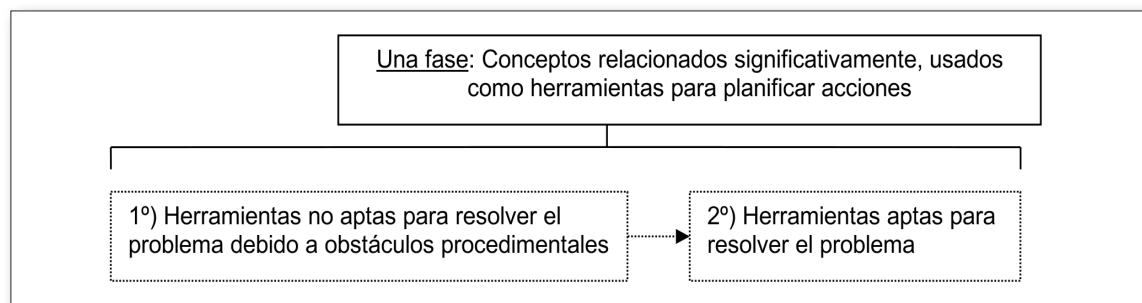


Fig. 3. Fases en la construcción de los aspectos temáticos del contexto indexical (carril inclinado).

Resulta evidente que en la segunda parte de esta tarea los estudiantes se beneficiaron del contexto indexical evocado en la primera parte. Se produjo, pues, una transferencia de conocimientos desde la primera a la segunda parte.

Tarea MMR

En esta tarea se les suministraban a los estudiantes diversos resortes (dos muelles y una goma) con el fin de que decidieran cuál era el más adecuado para ser usado en sustitución de una balanza para medir masas. Los estudiantes enseguida hacen propuestas de acciones para llevar a cabo:

Sesión 1 - MMR

117	Santiago	A ver, pues yo pienso que, más que nada, antes debíamos colocar el rollo (el montaje) para poder hacer la práctica.
128	Sergio	¿Qué tenemos que hacer? Hacer, medir con un muelle.
129	Susana	Sí, se supone. Medir el muelle sin peso, y medirlo con el peso, y la diferencia entre los dos se halla (estirando un muelle).
130	Sergio	Aaah. Tenemos que llevarlo a la balanza.

Los estudiantes relacionan el peso colgado del resorte con el estiramiento de este. Relacionan los conceptos de peso y estiramiento y, además, los usan como herramientas para la toma de decisiones. Sin embargo, las propuestas que realizan carecen de utilidad puesto que no están relacionadas con el objetivo general de la tarea. Es decir, proponen acciones sin saber para qué sirven. Al poco tiempo, los estudiantes recuerdan la ley de Hooke:

Sesión 1 - MMR

257	Santiago	¿No había una fórmula para esto?
270	Susana	Era $l - l_0$...
272	Susana	y por k , igual a F ... que es la fuerza.

Parece que ahora los estudiantes relacionan los conceptos de una forma más compleja que antes, cuando simplemente eran conscientes de que los pesos colgados del resorte causan un estiramiento. En estos momentos, los estudiantes relacionan estiramiento ($l-l_0$) con peso (F) mediante la expresión matemática de la ley de Hooke. Esa ley implica ir más allá de lo hecho hasta ese momento, que era simplemente apuntar implícitamente la existencia de una relación entre peso y estiramiento, ya que la ley de Hooke implica además la especificación de un tipo concreto de relación, una relación lineal. Sin embargo, al poco tiempo se pone de manifiesto que la comprensión por parte de los estudiantes de esa relación es incompleta, ya que ni siquiera tienen claro el significado de los parámetros que aparecen en la ley de Hooke.

Sesión 1 - MMR

405	Susana	¿La k era el peso?
406	Sergio	Claro, para hallar la fuerza. Sí.
412	Santiago	Once por siete. La fuerza es once por siete.
413	Susana	Ya, eso ya lo sé, pero me refiero a que... k es eso (<i>señalando el portapesas</i>).
417	Sergio	Sí. k es el peso, profe, ¿no? k es el...
419	Profesor	F es el peso, que es la fuerza.
420	Susana	¿Y entonces k qué era?
421	Profesor	k es una constante de cada muelle.
429	Profesor	Constante elástica.
431	Santiago	¿Pero, pero cuánto vale?
433	Profesor	Pues depende, depende.
437	Susana	¿Y había una fórmula para eso? ¿Para hallarla?
439	Profesor	Solo hay esa fórmula.

El profesor aclara qué representan F y k en la fórmula, y se pone de manifiesto el bajo dominio que tenían los estudiantes de la ley de Hooke. La ley de Hooke hasta estos momentos no suponía para los estudiantes más que una relación formal de naturaleza memorística entre conceptos, no una relación significativa, a pesar de que ellos comprenden perfectamente que, a mayor peso, mayor estiramiento. Parece que el problema es que no saben cómo la ley de Hooke representa esa relación.

A continuación, prosiguen discutiendo acerca de la ley de Hooke, preocupándose por las unidades de las magnitudes físicas implicadas:

Sesión 1 - MMR

463	Susana	Hay que... ¿y qué dije? ¿Y en qué unidades está?
471	Santiago	En gramos.
477	Susana	¿Y entonces por qué se pasaba a metros aquella cosa?
485	Sergio	Un Newton. Se mide en Newton (<i>leyendo en la libreta</i>).

Su interés en estos momentos se centra en aclarar aspectos formales, como las unidades de las magnitudes físicas implicadas, sin ser capaces de tomar decisiones útiles de cara al objetivo general de la tarea. Pero, poco después, hacen una propuesta de acción basada en la ley de Hooke:

Sesión 1 - MMR

533	Sergio	Tenemos que hallar la, la constante de cada muelle.
543	Susana	Es que... no sabemos hallar la constante de cada muelle.

Los alumnos han pasado a una situación de manejo de conceptos relacionados, usándolos además como herramientas para planificar acciones. En la manifestación de la línea 533 se da por supuesto que cada resorte tiene una constante elástica, es decir, que la ley de Hooke es cumplida por cualquier resorte. Además, los estudiantes están tomando como objetivo de la tarea reunir valores para sustituirlos en la ley de Hooke, sin relacionar eso con el objetivo general de la tarea. Dar por sentado que todo resorte cumple la ley de Hooke implica no considerar la posibilidad de distintas relaciones entre peso y estiramiento, lo cual es importante para abordar el problema. Las relaciones entre peso y estiramiento podrían ser lineales (ley de Hooke) o de otros tipos y habría que pensar cuál es la más conveniente, pero los estudiantes en ningún momento se han planteado la posibilidad de la existencia de distintas relaciones, lo cual puede deberse a no considerar que haya distintos tipos de relaciones entre magnitudes. No consideran otras posibilidades distintas del modelo lineal. Eso constituye un obstáculo procedimental que limita el logro del objetivo planteado.

En los momentos siguientes, hacen las medidas necesarias para calcular el valor de la constante elástica, tras lo cual se producen nuevas propuestas de acciones que ejecutar:

Sesión 1 - MMR

871	Sergio	Pues ahora tenemos que hacer lo mismo con todos los objetos.
872	Susana	Vale, ¿y esto qué? ¿Qué nos da?

Sergio propone determinar la constante elástica con otros resortes, pero su propuesta carece de conexión explícita o compartida por el grupo con relación al objetivo general de la tarea. No analizan por qué usar la ley de Hooke podría resultar útil a la vista del objetivo general de la tarea, sino que su mero uso les parece ya de por sí satisfactorio. Parece darse por supuesto que del mero uso de la fórmula surgirá espontáneamente la resolución del problema. La consideración de las fórmulas como panacea universal en la resolución de problemas puede verse reforzada por la resolución de ejercicios en el aula que se reducen a la sustitución de datos en la fórmula adecuada, lo cual no es infrecuente en la enseñanza tradicional de la física en el nivel secundario. Esos ejercicios pueden conducir al desarrollo de un contexto indexical estereotipado en el cual se siguen rutinas a pesar de no estar relacionadas con la construcción de conocimiento. Sin embargo, es relevante la manifestación de Susana de la línea 872, en la que se busca romper esa dinámica al preguntar qué obtienen con su forma de proceder.

En la siguiente sesión, se siguen poniendo de manifiesto importantes lagunas en la comprensión de la ley de Hooke:

Sesión 2 - MMR

177	Profesor	¿Exactamente para que medís k ?
188	Susana	¿Cómo? Pues cuando supiéramos k podríamos despejar F , despejar esta fórmula.
189	Profesor	Y eso os vale para saber cuánto es el peso...
190	Profesor	Bueno, pues podéis comprobar si se puede hacer eso.
192	Susana	Ya, ya, ya lo la (inaudible). Da unos valores, da unos valores de k muy distintos.
201	Profesor	No tiene por qué dar lo mismo, eh, cada muelle.
208	Profesor	Pero hay que tener en cuenta una cosa. La ley de Hooke no la cumple cualquier muelle o goma, eh. Solo la cumplen algunos
210	Profesor	(inaudible) si no se cumple...
212	Profesor	no podéis aplicarla después

El profesor aclara que el valor de la constante elástica es distinto para cada resorte, ya que Susana había manifestado su extrañeza por haber obtenido valores distintos. Además, el profesor tiene que aclarar que la ley de Hooke no es de cumplimiento universal. La falta de comprensión de la posibilidad de la existencia de distintas relaciones que conectan peso y estiramiento constituye un obstáculo para que los estudiantes puedan ser capaces de resolver el problema.

No es hasta la siguiente sesión cuando toman decisiones basadas en el contexto indexical construido según esa relación.

Sesión 3 - MMR

65	Susana	Yaaa, pero es que ahora hay que hacerlo con dos pesos distintos, y la constante que sea más constante que... es el muelle que, que hay que usar
----	--------	---

En estos momentos ya son capaces de usar sus conocimientos para tomar decisiones de utilidad para abordar el problema, ya que las acciones que ponen en juego permiten comprobar qué resorte cumple mejor la ley de Hooke. Pero consideramos sus decisiones parcialmente útiles porque consideran acríticamente que el buen cumplimiento de la ley de Hooke es sinónimo de que un resorte sirva para determinar masas, sin considerar la posibilidad de otras relaciones peso-estiramiento y sin aclarar por qué una relación lineal es preferible a otras. No plantearse la posible existencia de distintas relaciones constituye un obstáculo procedimental que los estudiantes no han sido capaces de superar y que ha limitado sus logros. En la figura 4 se muestra su avance en términos de construcción de relaciones semánticas entre conceptos.

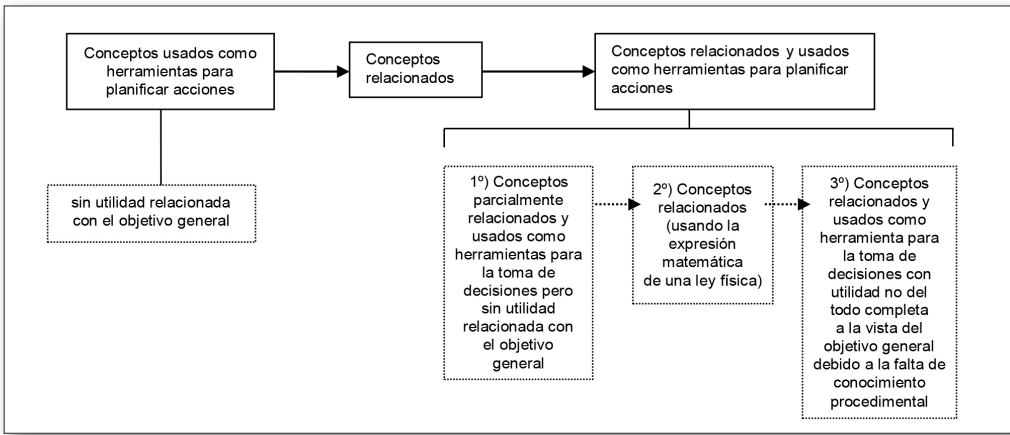


Fig. 4. Fases en la construcción de los aspectos temáticos del contexto indexical (tarea MMR).

Más adelante se produce una fase de intercambio de Susana y Sergio con Ramón y Ricardo, de otro grupo, en la que se ponen de manifiesto las carencias de sus logros. Durante esta fase, el profesor les había pedido que comparasen sus resultados:

Sesión 3 - MMR

545	Ricardo	A ver, venga, la goma es la más exacta.
548	Sergio	¿Por?
550	Sergio	Porque hay que hallar los cálculos esos.
551	Ramón	(La goma) es la más elástica, ¿no ves?

La justificación que da Ramón (línea 551) de que la goma es la más elástica puede parecer improcedente, pero no lo es, ya que tiene su motivación, puesto que su grupo no usa explícitamente la ley de Hooke, sino que estudia la proporcionalidad estiramiento-peso mediante reglas de tres, y la medida del estiramiento es más fácil cuanto más deformable sea el muelle (lo que Ramón denomina «elasticidad»). Esta situación es un ejemplo, además, de conexión entre contextos.

Después, Ramón les explica el fundamento de su método, en el que obtienen la masa de un objeto con un resorte en base a la aplicación de una regla de tres y después comparan con su masa medida en una balanza. Pensamos que cabe considerar más fundamentada la metodología del grupo de Ricardo y Ramón que la del grupo de Susana y Sergio, que valoran el cumplimiento de la ley de Hooke sin más.

Sesión 3 - MMR

565	Sergio	Eh, ¿cuál es la diferencia entre una constante y la otra?
568	Ramón	Es que nosotros no hicimos así.
573	Ramón	Primero fuimos mirando qué...
577	Ramón	cómo estiraba cada cosa con cierto peso...
579	Ramón	Esto después le pusimos... eeh, otro peso, más grande, por ejemplo, y le hicimos una regla de tres...
581	Ramón	con cada uno, y lo que sea más exacto, pesamos en la balanza... y nos daba esto.
582	Susana	Y os da la goma.
583	Ramón	Sí. ¿Y vosotros?
597	Sergio	Pero nosotros llegamos a la conclusión de que era esto, no sé por qué, pero bueno.

Sergio manifiesta que no sabe el porqué de su conclusión y que usar la fórmula es más exacto (línea 550). Parece que piensa que considerar el uso de fórmulas es *per se* una justificación, es decir, que el uso de fórmulas goza de un estatus superior al de otros métodos. Podemos decir que el uso de la ley de Hooke aquí inhibe el razonamiento más que promoverlo, puesto que los estudiantes se conforman con usarla, pero sin aclarar por qué.

En definitiva, los alumnos son capaces de desarrollar un contexto indexical que les permite dar los pasos necesarios para ver qué resorte cumple mejor la ley de Hooke. Sin embargo, la falta de conocimiento procedimental relativo a que puede haber distintos tipos de relaciones entre variables limita sus logros, no siendo capaces de resolver el problema de forma satisfactoria al quedar en el aire por qué el cumplimiento de la ley de Hooke hace que un resorte sea mejor para medir masas que otros que no la cumplen.

REGULARIDADES EN LA CONSTRUCCIÓN DE RELACIONES SEMÁNTICAS

En la tarea TMC parten de conceptos desconectados, conectándolos después y usándolos más tarde como herramientas para tomar decisiones, si bien inicialmente esas herramientas carecían de funcionalidad debido a obstáculos epistemológicos. Después sí son capaces de resolver la tarea satisfactoriamente. Cuando pasan a la parte de la tarea en la que se analiza el movimiento en un carril inclinado, usan los conceptos como herramientas para tomar decisiones, pero aquí también hay dificultades iniciales, en este caso procedimentales, que son superadas, como antes, con la ayuda del profesor.

En la tarea MMR, ya desde el principio usan los conceptos relevantes relacionados como contexto indexical de cara a la toma de decisiones, aunque esas decisiones no tengan utilidad de cara al objetivo general de la tarea. Después se producen cambios en su forma de ver la relación entre conceptos, aunque no llegan a ser capaces de usarlos como herramientas con la funcionalidad necesaria como

para tomar decisiones con utilidad completa a la vista del objetivo general de la tarea. Consideramos esto debido a la falta de conocimiento acerca de que puede haber distintos tipos de relaciones entre variables, lo cual constituye un obstáculo procedimental. Después, optan por sustituir valores en una fórmula sin quedar claro por qué eso es adecuado.

Viendo conjuntamente lo sucedido en las tareas, consideramos que hay dos dimensiones parte del contexto indexical necesario para resolver el problema y que se deben considerar para valorar las dificultades de los estudiantes a la hora usar las relaciones semánticas entre conceptos construidas:

- La importancia de la existencia de obstáculos epistemológicos o procedimentales.
- La importancia para los estudiantes de la complejidad de las relaciones semánticas implicadas.

En las tareas analizadas se ponen de manifiesto obstáculos epistemológicos y procedimentales que limitan los logros de los alumnos. Se pone de manifiesto que, en lo que se refiere a los conceptos, no importa solo conocer su significado, sino también saber cómo se usan, incluyendo los conocimientos prácticos que su aplicación implica. Esto se pone de manifiesto con esas dos tareas. En lo que a esto respecta, el papel del profesor es de gran relevancia, por ejemplo, en la tarea TMC, en la que las dificultades procedimentales y epistemológicas son superadas con ayuda del profesor, quien pudo constatarlas observando el desempeño de los miembros del grupo.

En resumen, para que un contexto indexical tenga la funcionalidad necesaria para resolver un problema, no solo son importantes los patrones temáticos, es decir, las relaciones semánticas entre conceptos, sino que, en este estudio, se han puesto de manifiesto más dimensiones: dos son el conocimiento procedimental y los compromisos epistemológicos. El conocimiento procedimental es el dominio de técnicas y metodologías, incluyendo el manejo del instrumental relevante. En cuanto a los compromisos epistemológicos, siguiendo a Sandoval y Morrison (2003), entendemos como tales las teorías implícitas acerca de cómo el conocimiento científico es construido, qué es el trabajo científico o el propósito y métodos del trabajo experimental.

Además, consideramos que hay otra dimensión que se pone de manifiesto cuando, en la tarea MMR, los estudiantes optan por sustituir datos en la ley de Hooke sin tener clara su utilidad, posiblemente por considerar que sustituir valores en fórmulas es una metodología que se ha de seguir siempre que se pueda. Esa idea es una rutina o norma implícita que también les sirve para tomar decisiones y dar pasos, y por tanto también forma parte del contexto indexical.

Las distintas dimensiones que hemos identificado para los contextos indexicales se muestran en la figura 5, la cual se refinó y enriqueció en interacción con los datos, y basándonos en las ideas expuestas en el marco teórico de este trabajo.

En cuanto a la complejidad, desde el punto de vista de los estudiantes, de las relaciones semánticas entre los conceptos relevantes, se ha constatado su importancia y su influencia, ya que tareas con distinto grado de dificultad conducen a situaciones diferentes. Se ha puesto de manifiesto la necesidad de relacionar conceptos, o de refinar dichas relaciones. Por ejemplo, en la tarea MMR, en la que introducen, al cabo de un cierto tiempo, la ley de Hooke para relacionar peso y estiramiento. En unas tareas la introducción de los conceptos relevantes se hace de manera más rápida que en otras, pero en general se ha observado que es necesario que los estudiantes tengan oportunidades para construir las relaciones necesarias entre ellos, lo cual es un estadio previo a usarlos como herramientas para la toma de decisiones. Consideramos que se puede decir que la evolución de los patrones temáticos no es simplemente un proceso cuantitativo por el que añadir más conceptos o aumentar o refinar las relaciones entre estos, sino que, además, es un proceso cualitativo en el cual las relaciones semánticas entre conceptos atraviesan transformaciones de su funcionalidad. En estas transformaciones se atraviesan fases que no son las mismas en distintas tareas.

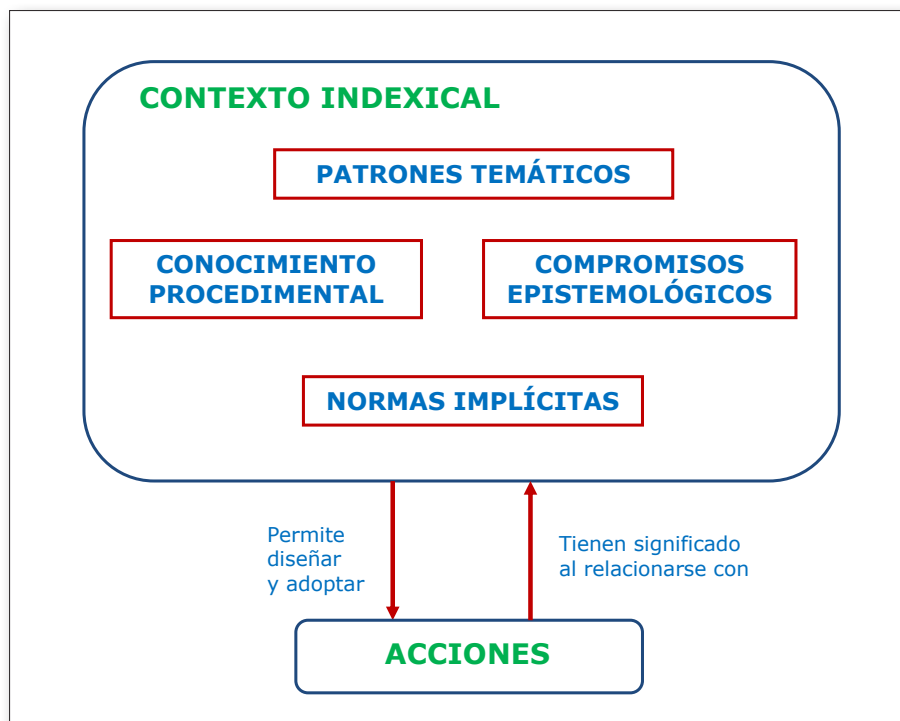


Fig. 5. Componentes identificados en los contextos indexicales.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado el proceso que siguen grupos de estudiantes para construir un patrón temático funcional para enfrentarse en el laboratorio de física a tareas concebidas como problemas. Los patrones temáticos, o conjuntos de relaciones semánticas entre conceptos (Lemke, 1997), son fundamentales para que los estudiantes sean capaces de resolver un problema: solo si los estudiantes disponen de un patrón temático adecuado, lo cual implica que sea coherente y aceptable desde el punto de vista disciplinar, pueden enfrentarse con éxito al problema.

Hemos visto en los resultados de este estudio que los patrones temáticos correspondientes a cada tarea son desarrollados por parte de los estudiantes mediante un proceso a veces laborioso. Las acciones son significativas solamente si se colocan en un contexto, y aquí los estudiantes no disponen desde el principio de tal contexto, por no haber refinado suficientemente las imprescindibles relaciones entre conceptos. De ahí que inicialmente no sean capaces de conectar las acciones con los conceptos que les darían significado y no sean capaces de resolver los problemas.

En el estudio se ha encontrado que el desarrollo de patrones temáticos adecuados para resolver el problema es un proceso en el que las relaciones semánticas entre conceptos sufren una transformación cualitativa que atraviesa distintas fases cuya naturaleza depende de cada tarea y de la capacidad de activar contextos indexicales adecuados. Unas veces, el significado que tienen inicialmente los conceptos es el de simples definiciones, las cuales van cobrando progresivamente significatividad. Además, puede suceder que algunos conceptos que hay que usar significativamente de forma integrada para enfrentarse a la tarea no estén relacionados inicialmente y los estudiantes tengan que hacer frente a su conexión.

Es relevante que puedan darse casos en los que planifiquen acciones sin que las relaciones relevantes entre conceptos sean significativas, es decir, sin contar con un contexto indexical aceptable desde el punto de vista científico. Un ejemplo es la tarea MMR, en la que hay fases en las que se dan pasos sin conocer su utilidad simplemente para simular un rol de alumno activo y correcto porque sustituye valores en fórmulas. Cumplir con normas o costumbres implícitas (que no siempre son útiles) también es parte del contexto indexical. Esto es coherente con los resultados de Adler et al. (2018), que muestran la influencia del contexto escolar en la calidad de los procesos de indagación abierta del alumnado.

Además, se han observado situaciones en las que, aunque los estudiantes comprendan las relaciones más relevantes entre los conceptos implicados, pueden existir obstáculos tanto de tipo epistemológico como procedimental que limiten su grado de avance. Como Kelly y Cunningham (2019) muestran, sin los recursos epistémicos necesarios los estudiantes no pueden enfrentarse con éxito a determinadas tareas.

Como implicaciones educativas señalamos que, al enfrentarse los estudiantes en el laboratorio a una tarea práctica concebida como la resolución activa de un problema, es conveniente, con el fin de prever las dificultades que van a experimentar y el grado de asistencia que van a necesitar, analizar la dificultad que tiene el patrón temático relevante, así como los contextos disponibles para el alumnado y la posibilidad de la existencia de obstáculos de diferentes tipos.

De todas formas, aunque valorar los posibles obstáculos sea útil, estamos convencidos de que hay ocasiones en las que van a surgir algunos inesperados, que actuarán como factores que limiten el grado de avance de los estudiantes. A este respecto, se hace necesaria la observación atenta por parte del profesor de la actividad de los estudiantes durante el desarrollo de las tareas, para así constatar las dificultades que experimentan y poder prestarles asistencia concebida como andamiaje, ayudándolos a completar las tareas y, sobre todo, a alcanzar un mayor nivel de competencia autónoma y transfiriendo una responsabilidad creciente a los estudiantes para que puedan evocar contextos indexicales útiles. Como Kim y Pegg (2019) señalan, el apoyo del profesor es de especial importancia en tareas concebidas en términos de resolución de problemas, y, además, el análisis de la actuación de los profesores puede contribuir a acercar las innovaciones e investigaciones educativas a la práctica docente (Contreras, 2017). Realizar una misma tarea con los estudiantes en cursos sucesivos, además, puede proporcionar una rica fuente empírica de conocimiento acerca de las dificultades que los estudiantes experimentan más habitualmente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler, I., Schwartz, L., Majdar, N. y Zion, M. (2018). Reading between the lines: the effect of contextual factor on students motivation throughout an open inquiry process. *Science Education*, 102, 820-855.
<https://doi.org/10.1002/sce.21445>
- Barab, S. A. y Hay, K. E. (2001). Doing science at the elbows of experts: issues related to the science apprenticeship camp. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(1), 70-102.
[https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200101\)38:1<70::AID-TEA5>3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200101)38:1<70::AID-TEA5>3.0.CO;2-L)
- Bell, R. L., Blair, L. M., Crawford, B. A. y Lederman, N. G. (2003). Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school students' understandings of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 487-509.
<https://doi.org/10.1002/tea.10086>

- Bjørkvold, T y Blikstad-Balas, M. (2018). Students as researchers: what and why seventh-grade students choose to write when investigating their own research question. *Science Education*, 102, 304-341.
<https://doi.org/10.1002/sce.21324>
- Brown, J. S., Collins, A. y Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42.
<https://doi.org/10.3102/0013189X018001032>
- Cazden, C. B. (1988). *Classroom discourse. The language of teaching and learning*. Londres: Routledge & Kegan Paul.
- Charney, J., Hmelo-Silver, C. E., Sofer, W., Neigeborn, L., Coletta, S. y Nemeroff, M. (2007). Cognitive apprenticeship in science through immersion in laboratory practices. *International Journal of Science Education*, 29(2), 195-213.
<https://doi.org/10.1080/095006906005609585>
- Chinn, C. A. y Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: a theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1-49.
<https://doi.org/10.2102/00346543063001001>
- Contreras, S. (2017). Análisis del pensamiento y la actuación del profesor de ciencias. Eje de desarrollo para acercar la investigación a la práctica e innovar en la formación inicial de profesores. *Enseñanza de las Ciencias*. Número especial X Congreso Internacional sobre Investigación y Enseñanza de las Ciencias, 81-87.
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in science*. Buckingham: Open University Press.
- Godino, J. D., Gonzato, M., Cajaraville, J. A. y Fernández, T. (2012). Una aproximación ontosemiótica a la visualización en educación matemática. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(2), 119-130.
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v30n2.653>
- Kelly, G. J. y Cunningham, C. M. (2019). Epistemic tools in engineering design for K-12 education. *Science Education*, 103, 1080-1111.
<https://doi.org/10.1002/sce.21513>
- Kim, M. y Pegg, J. (2019). Case analysis of children's reasoning in problem-solving process. *International Journal of Science Education*, 41(6), 739-758.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1579391>
- Kuhn, D., Sin Arvidsson, T., Lesperance, R. y Corprew, R. (2017). Can engaging in science practices promote deep understanding of them? *Science Education*, 101(2), 232-250.
<https://doi.org/10.1002/sce.21263>
- Lemke, J. (1997). *Aprender a hablar ciencia*. Barcelona: Paidós.
- Lincoln, Y. S. y Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Newbury Park: Sage.
- McKernan, J. (1996). *Investigación acción y curriculum*. Madrid: Morata.
- Mercer, N. y Fisher, E. (1992). How do teachers help children to learn? An analysis of teachers' interventions in computer-based tasks. *Learning and Instruction*, 2(4), 339-355.
[https://doi.org/10.1016/9059-4752\(92\)90022-6](https://doi.org/10.1016/9059-4752(92)90022-6)
- Metz, K. E. (2004). Children's understanding of scientific inquiry. Their conceptualization of uncertainty in investigations of their own design. *Cognition and Instruction*, 22(2), 219-290.
https://doi.org/10.1207/51532690xc2202_3
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 5-24.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>

- Reigosa, C. E. y Jiménez, M. P. (2000). La cultura científica en la resolución de problemas en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 275-284.
- Richmond, G. (1998). Scientific apprenticeship and the role of public schools: general education of a better kind. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 583-587.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199808\)35:6<583::AID-TEA1>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199808)35:6<583::AID-TEA1>3.0.CO;2-I)
- Roth, W.-M. y Bowen, G. W. (1995). Knowing and interacting: a study of culture, practices and resources in a grade 8 open-inquiry science classroom guided by a cognitive apprenticeship metaphor. *Cognition and Instruction*, 13(1), 73-128.
https://doi.org/10.1207/s1532690xc130_3
- Sandoval, W. A. y Morrison, K. (2003). High school students' ideas about theories and theory change after a biological inquiry unit. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(4), 369-392.
<https://doi.org/10.1002/tea.10081>
- Stake, J. E. y Mares, K. R. (2001). science enrichment programmes for gifted high school girls and boys: predictors of programme impact on science confidence and motivation. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(10), 1065-1088.
<https://doi.org/10.1002/tea.10001>
- Toplis, R. (2007). Evaluating science investigations at ages 14-16: dealing with anomalous data. *International Journal of Science Education*, 29(2), 127-150.
<https://doi.org/10.1080/095006690500498278>
- Wells, G. (1999). *Dialogic inquiry. Toward a sociocultural practice and theory of education*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wood-Robinson, V., Watson, R. y Goldsworthy, A. (2000). Improving investigations from the AKSIS Project. *Education in Science*, 188, 14-15.

Functionality of relationships among concepts for problem solving

Carlos Emilio Reigosa Castro

IES Lucus Augusti y Facultad de Formación del Profesorado (Lugo, España)

carlosreigosa@edu.xunta.gal

Here is presented a case study analyzing how the semantic relations among concepts are continuously transformed, refined and used by a group of 12th grade students while solving tasks conceived as problems in the Physics laboratory.

The data consist of video and audio recordings of the students' verbal and physical actions during the sessions devoted to the tasks. The researcher was the students' teacher, so the process was developed as an action research experience, done with the intrinsic goal of improving the achievement of the students, and with the extrinsic goal of creating meanings useful for the science education community.

In the first task, the students had to decide the type of motion followed by a ball in a rail in both horizontal and inclined positions, and, in the second one, they had to choose between several springs which was the better one to weight little objects.

In the analysis, all the recordings were transcribed, and analysed using Lemke (1997) notion of contextualizing practices. Following this theoretical perspective, here is considered that the participants' actions achieve meaning as they are connected to contexts. One type of context are the thematic patterns, which are the ways in which the members of a community speak about a specific subject. In a thematic pattern, the semantic relationships between concepts are continuously rebuilt.

The research question was: how do the students build semantic relationships between concepts, transforming them in functional tools to face open tasks in the laboratory?

The results show that the semantic patterns of each task are developed by the students through a laborious process. The actions are significant and useful only when they are placed in an adequate context, and here the students do not have such context at the beginning, so initially they are not able to solve the problems. We found that the semantic relationships among concepts go through a qualitative transformation with phases whose nature depends on the task and the resources displayed by the students.

In the first task, the students begin with disconnected concepts, which they connect later and then they use it as tools to take decisions, although initially these tools lack of functionality due to epistemological obstacles. And when they study the movement in the inclined rail, there are difficulties, in this case of procedural kind, due to aspects related to the control of the experimental error.

In the second task, they use, from the beginning, the relevant concepts as a context to take decisions, although initially these decisions do not have utility for the general objective of the task. After that, there are changes in the way they see the relationships among the related concepts, but the final solution they give is not completely satisfactory from a scientific point of view. In this group, it could be seen that the use they did of Hooke's Law inhibited the reasoning instead of promoting it.

To conclude, the results show that to develop an adequate semantic pattern to be used properly to solve a task can be a difficult and laborious process. But not only are the relationships among concepts essential, but also some obstacles of epistemological and procedural kinds, which limit the students' achievements, can be important.

And, finally, another conclusion of the article is the importance of the interaction with the teacher. Here is shown that one way for this interaction to be useful is to conceive it as scaffolding, allowing the students to achieve a higher competence level helping them to evoke useful contexts to connect their actions in a way that is helpful to solve each task.



Concepciones sobre la naturaleza de la ciencia en el profesorado en formación inicial

Pre-service teachers' conceptions of the nature of science

José Francisco Serrallé Marzoa, Uxío Pérez Rodríguez, María Asunción Lorenzo Rial, María Mercedes Álvarez Lires
Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte. Universidade de Vigo. A Xunqueira, s/n, 36005-Pontevedra
jfserralle@uvigo.es, uxio.perez@uvigo.es, marialorenzo@uvigo.es, lires@uvigo.es

RESUMEN • Se ha diseñado y validado un cuestionario, a fin de indagar sobre las concepciones acerca de la ciencia y su naturaleza (NOS) en el profesorado en formación inicial, a partir de cuyos resultados se diseñarán posteriores intervenciones didácticas sostenidas de enseñanza de la NOS en el aula. Se describe el cuestionario, la muestra ($N = 385$) y el procedimiento de validación. La escala tiene una fiabilidad y validez correctas, por lo que se concluye que puede ser de utilidad para la investigación relacionada con esta temática. También se realiza un análisis clúster de las puntuaciones en los factores de la escala, con el fin de segmentar los casos en grupos de perfiles de respuestas similares y elaborar «Tipos docentes».

PALABRAS CLAVE: Formación inicial del profesorado; Concepciones; NOS; Validación cuestionario; Tipos docentes.

ABSTRACT • A questionnaire has been designed and validated to investigate the conceptions about science and its nature (NOS) among teachers in initial training, from whose results subsequent didactic interventions of teaching NOS in the classroom will be designed. The questionnaire, the sample ($N = 385$) and the validation procedure are described. The scale has a correct reliability and validity, so it is concluded that it can be useful for research related to this topic. A cluster analysis of the scale factor scores is also carried out, so as to segment the cases into groups of similar response profiles and to draw up «Teaching Types».

KEYWORDS: Teacher training; Conceptions; NOS; Questionnaire validation; Teaching types.

Recepción: agosto 2019 • Aceptación: marzo 2021

Serrallé Marzoa, J. F., Pérez Rodríguez, U., Lorenzo Rial, M. A. y Álvarez Lires, M. M. (2021). Concepciones sobre la naturaleza de la ciencia en el profesorado en formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 113-133.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3063>

INTRODUCCIÓN

Desde hace más de cuatro décadas, numerosos trabajos de investigación han puesto de manifiesto, con carácter general, que la enseñanza en las etapas de educación primaria y secundaria se realiza con una perspectiva y un tratamiento muy formales, excesivamente declarativo de los contenidos científicos, que presentan el conocimiento científico como una verdad inmutable, como un resultado cerrado de sucesivos descubrimientos acumulativos y a modo de constante perfeccionamiento lineal de modelos y de teorías; incluso se afirma la existencia de un único método de hacer ciencia: «el método científico» (Serrallé, 2018).

Por otra parte, diversas investigaciones indican que el profesorado posee concepciones, modelos, imágenes y creencias que influyen en su manera de promover el aprendizaje y de enseñar que son transferidas a su alumnado (Ravanal, Joglar, Quintanilla y Labarrere, 2009). Estas concepciones sobre la ciencia, la forma de aprenderla y enseñarla, y sobre los contenidos que se deben enseñar se basan en sus experiencias anteriores y actuales e incluyen características explícitas del currículo, conocimientos de carácter conceptual, procedimental y actitudinal, pero también en aspectos menos explícitos como sus valores, la forma de evaluar, la dinámica social del aula, las emociones y los sentimientos que les generaron esas experiencias (Bonil y Márquez, 2011). Dichas concepciones son persistentes, de difícil modificación (Arias Correa, 2012), y actúan como instrumentos que sirven para interpretar la realidad, en este caso, de la enseñanza de las ciencias, de manera que configuran modelos didácticos (Angulo, 2002). Pero también constituyen barreras u obstáculos que dificultan la adopción de nuevos puntos de vista (Bachelard, 1938; Claxton, 1994; Pope y Gilbert, 1983; Porlán, Díaz y de León, 1988). En este sentido, Zimmermann (2000) apunta que los modelos didácticos del profesorado condicionan el tipo de tareas que propone en el aula.

Las concepciones del profesorado sobre la naturaleza de la ciencia y la tecnología (NOS) y sus visiones acerca de las relaciones entre ellas y con la sociedad, así como de la producción del conocimiento científico, interaccionan con su forma de enseñar y con sus ideas sobre el aprendizaje del alumnado (Ferreira-Gauchía, Vilches y Gil-Pérez, 2012). Cuando el futuro profesorado, durante su formación universitaria, no logra reformular sus creencias o cogniciones previas sobre la ciencia, para elaborar un modelo docente propio, tiende a repetir la metodología de enseñanza recibida previamente (Brandão, 2008). Se bloquea, así, la evolución hacia nuevos paradigmas didácticos, la innovación pedagógica e incluso la necesaria autoformación docente en el posterior ejercicio profesional (Martín, Prieto y Jiménez, 2015).

El futuro profesorado será el responsable de formular situaciones de aprendizaje en el aula que propicien una «descripción precisa y detallada de las funciones, procesos, métodos y límites de la ciencia»; argumentar el conocimiento de la naturaleza de la ciencia posibilitará al alumnado aprendizajes significativos. En tal sentido, es preciso investigar y determinar las creencias sobre la ciencia del alumnado –profesorado en formación–, ya que van a condicionar la intervención docente y pueden limitarla (Arias Correa, 2012; McComas, Clough y Almazroa, 1998).

Pese a lo expresado hasta ahora, las concepciones alternativas no han de ser vistas, únicamente, como un obstáculo epistemológico (Bachelard, 1938) o un impedimento al aprendizaje, sino como un punto de partida que se ha de conocer para construir los nuevos conocimientos científicos (Duit, Gropengießer y Kattmann, 2005).

Antes de continuar, se ha de señalar, siguiendo a Furió, Solbes y Carrascosa (2004), que en la década de los ochenta se utilizaba toda una gama de términos para nombrar las concepciones alternativas, como ideas alternativas, preconceptos, preconcepciones, ideas previas, ideas alternativas, teorías implícitas, etc. Wandersee, Mintzes y Novak (1994) propusieron la denominación genérica de concepciones

alternativas, que hoy es la más aceptada. En lo que sigue, se utilizará la denominación *concepciones sobre la naturaleza de la ciencia* (NOS *conceptions*).

El término NOS se acuñó en 1907 en la Central Association of Science and Mathematics Teachers. Desde entonces, la comprensión de la NOS ha sido un objetivo educativo, «cuya longevidad ha sido superada sólo por la longevidad de la incapacidad del estudiantado para articular el significado de la *naturaleza de la ciencia*, y para identificar las características asociadas a la ciencia» (Lederman y Niess, 1997).

Según McComas, Clough y Almazroa (1998) y Clough (2006), el acrónimo NOS se utiliza para referirse a cuestiones tales como: *a*) ¿qué es y qué no es ciencia?, *b*) ¿cómo se trabaja en la ciencia?, *c*) ¿cuáles son los fundamentos ontológicos y epistemológicos de la ciencia? y *d*) ¿cómo interaccionan ciencia, tecnología y sociedad?

Por su parte, Adúriz-Bravo (2005) indica que la NOS se puede considerar como un conjunto de contenidos metacientíficos seleccionados por su valor para la educación científica de la ciudadanía, sobre los cuales se realiza una adecuada transposición didáctica (Adúriz-Bravo, 2005). Y, así, Izquierdo, García, Quintanilla y Adúriz (2016) entienden la NOS como un conjunto de contenidos procedentes de diversas escuelas de la filosofía de la ciencia, «ambientados en episodios paradigmáticos de la historia de la ciencia y advertidos por la sociología de la ciencia contra el dogmatismo, el triunfalismo, el elitismo y el sesgo de género propios de las visiones de ciencia tradicionales, comúnmente calificadas de científicistas o tecnocráticas» (Adúriz-Bravo, 2006, 2008).

Driver, Leach, Millar y Scott (1996) señalan cinco aspectos acerca de la importancia de comprender la NOS: *a*) dar sentido a la ciencia y manejar objetos y procesos tecnológicos en la vida cotidiana (utilitaria); *b*) tomar decisiones informadas en cuestiones sociocientíficas (democrática); *c*) apreciar el valor de la ciencia como parte de la cultura contemporánea (cultural); *d*) ayudar a comprender las normas de la comunidad científica, de acuerdo con compromisos morales válidos para la sociedad (moral); *f*) facilitar el aprendizaje de las ciencias.

No existe un acuerdo unívoco sobre la conceptualización de la NOS, si bien Lederman, Abd-El-Khalick, Bell y Schwartz (2002) describen las «creencias informadas» acerca de la ciencia como conocimientos científicos que el colectivo de estudiantes debe adquirir. Lederman (2007) afirma que existe bastante acuerdo entre la filosofía de la ciencia, la historia de la ciencia y la didáctica de las ciencias sobre un conjunto de cuestiones referentes a la naturaleza de la ciencia: *a*) el conocimiento de la ciencia es empírico; *b*) las observaciones y las inferencias difieren; *c*) las teorías científicas son sistemas explicativos internamente consistentes que guían las investigaciones y el descubrimiento; *d*) las leyes representan relaciones entre variables cuantificables; *e*) la ciencia se basa en la imaginación y en la creatividad humana y no siempre es racional; *f*) la ciencia está cargada de teoría y, en consecuencia, las observaciones no son objetivas; *g*) la ciencia es una empresa humana incrustada en una cultura social; *h*) no hay un método científico único; e *i*) el conocimiento científico es provisional y holístico.

Las creencias del profesorado sobre la NOS

El conocimiento de la NOS es condición necesaria pero no suficiente para que dicho conocimiento se refleje en la práctica en el aula, ya que este proceso está mediado por un complejo conjunto de variables que aún no se ha resuelto totalmente y que tienen que ver, entre otros aspectos, con las metodologías del aula o la utilización de la modelización (Justi y Gilbert, 2002). Es necesario, además, identificar los factores que influyen en las concepciones del colectivo estudiantil. Sin embargo, es preciso decir que hay acuerdo en las investigaciones acerca de la fuerte influencia de las limitaciones de los planes de estudios, políticas administrativas y el contexto de la enseñanza sobre la traducción de las concepciones sobre la NOS en la práctica del aula (Lederman, 2007, 2018).

Las creencias del profesorado sobre la NOS

Schwartz y Lederman (2008) encontraron variaciones en las creencias sobre la NOS, que clasifican en «informadas, parcialmente informadas e ingenuas». Las *creencias informadas* coinciden con muchos de los aspectos que se han indicado al hablar del acuerdo existente en la comunidad científica sobre la NOS.

Lederman, Abd-El-Khalick, Bell y Schwartz (2002) enumeran las *creencias ingenuas* sobre la ciencia: *a)* los hechos establecidos, a través de la evidencia empírica, generan la base de conocimiento; *b)* constituye la búsqueda de la verdad objetiva sobre el mundo; *c)* se basa en la observación directa; *d)* utiliza un único método científico (tácitamente acordado) *cuasi* algorítmico; *e)* no requiere la creatividad ni la imaginación; *f)* impulsa el cambio en las teorías por acumulación reduccionista de pruebas; *g)* permite que las teorías se conviertan en leyes por la repetición de las pruebas; *h)* es independiente de factores sociales y culturales.

Abd-El-Khalick y Akerson (2009) describen las *creencias parcialmente informadas* en las que se combinan aspectos de las creencias informadas y de las creencias ingenuas. Por ejemplo, reconocen la ciencia como sujeto empírico que implica observaciones, haciendo y probando predicciones, pero invocan un mecanismo simplista para la toma de datos y no reconocen que los conocimientos adquiridos son provisionales; admiten una escasa influencia de la imaginación y de la creatividad.

Según el grupo de pertenencia, la atención que se le presta a la enseñanza de la NOS es decreciente, desde el grupo que posee creencias informadas hasta el poseedor de creencias ingenuas. Parece, pues, evidente que las creencias sobre la NOS tienen una influencia directa en la práctica docente del profesorado, junto con sus modelos de docencia, aprendizaje del alumnado y los currículos.

Desde los años cincuenta se han desarrollado investigaciones sobre concepciones relacionadas con la NOS en profesorado y alumnado (Lederman, 2007). Se ha encontrado que, a pesar del tiempo transcurrido, las creencias ingenuas han permanecido casi inmutables y ello pese a que la ciencia actual ya no es, obviamente, la de los siglos XVII o XVIII, pero ni siquiera la del siglo XX, y hoy habría que referirse a la tecnociencia (Echeverría y González, 2009). En investigaciones cualitativas se ha encontrado que el profesorado en formación inicial, en su mayoría, no percibe las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, ni tampoco comparte la concepción de ciencia como actividad humana, inherente a la tecnociencia (Álvarez-Lires, Arias, Pérez-Rodríguez y Serrallé, 2013).

Para indagar en las concepciones del profesorado en formación inicial del grado en Educación Primaria sobre la NOS se llevó a cabo el diseño y la validación de un cuestionario sobre la naturaleza de la ciencia (NOS), con la finalidad de evaluarlas y, posteriormente, partir de ellas para llevar a cabo propuestas didácticas de aula.

METODOLOGÍA

Inicialmente, se llevó a cabo una revisión de la literatura especializada en cuestionarios sobre la NOS (Serrallé, 2018) y bibliografía sobre concepciones de estudiantes y profesorado (Duit, 2009). Se encontraron dos tendencias: *a)* cuestionarios con preguntas abiertas y, en ocasiones, complementados con entrevistas, y *b)* cuestionarios con preguntas o ítems cerrados. Lederman (2007) realizó una revisión de 30 cuestionarios validados de este tipo de investigaciones, desde el año 1954 al 2006, y Duit (2009) realizó una recopilación bibliográfica desde 1952 hasta 2008, ambas referidas al ámbito anglosajón. Para la presente investigación se han utilizado, además, las de Porlán, Rivero y Martín (1997), Briceño y Benarroch (2009) y Brandão, Araujo, Veit y Lang (2011). El análisis detallado de los resultados de cada una de las investigaciones excede las posibilidades de extensión de este artículo.

Diseño del cuestionario inicial

Para la elaboración del cuestionario anónimo empleado en la investigación se realizaron reuniones de personas expertas que propusieron ítems. En una primera selección se formuló un cuestionario piloto tipo Likert compuesto por 50 ítems de tipo ordinal con cuatro niveles de respuesta, el cual fue administrado a una pequeña muestra de alumnado del grado en Educación Primaria. Teniendo en cuenta los resultados del estudio exploratorio se reformuló el cuestionario, se eliminaron cuestiones problemáticas por motivos estadísticos (ítems que hacían descender la fiabilidad del instrumento, problemas de multicolinealidad, ítems que no saturaban claramente en ningún factor) y se reescribieron algunas preguntas que el alumnado de la prueba piloto tenía problemas para responder. La versión definitiva fue una escala (Blanco, Sanz y Vallejo, 2003) de 44 ítems en los que se debe manifestar el grado de acuerdo o desacuerdo, optando selectivamente entre uno de los cuatro niveles propuestos, mediante un número par de ítems para evitar la tendencia a la centralidad (Cummins y Gullone, 2000). Las categorías tratadas en dichos ítems se han elaborado basándose en la revisión efectuada por Serrallé (2018) y se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.
Temáticas abarcadas por los ítems del cuestionario inicial

Positivismo científico
Hermenéutica científica
Metaciencia
Igualdad de género en la ciencia
Personas dedicadas a la ciencia
Metodologías científicas
Aplicabilidad de la ciencia
Visión de la ciencia
Interacción ciencia - tecnología - sociedad - medioambiente

Muestra y procedimiento de administración

La muestra utilizada para la validación del cuestionario CIPT estuvo compuesta por 385 estudiantes del grado en Educación Primaria de la Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte de Pontevedra, 313 mujeres y 72 hombres (81 y 19 % de la muestra, respectivamente). El cuestionario se administró durante cinco años consecutivos al alumnado de la asignatura «Ciencias experimentales», impartida en segundo curso de la titulación, al comienzo de la docencia. La repetición en años consecutivos busca asegurar la sistematización en la recopilación de los datos. La elección de pasar el cuestionario al iniciar la primera sesión lectiva trata de evitar las posibles repercusiones que cualquier acción docente pudiera tener, y que pudiera influir en las respuestas.

El cuestionario anónimo se rellena, en los dos primeros años, en el aula, impreso en papel, para observar posibles incidencias o dificultades, y en los tres años siguientes, telemáticamente, *on line*, utilizando la aplicación «Formularios de Google».

Validación y calibración del cuestionario

La muestra original ($N = 385$) se dividió en dos submuestras aleatorias (muestra de validación $N_v = 192$ y de calibración $N_c = 193$). Con la primera se realizó un análisis exploratorio para elaborar un modelo de las principales dimensiones implicadas y la segunda se utilizó para llevar a cabo un análisis factorial confirmatorio.

Para validar el instrumento se realizó un análisis descriptivo, de consistencia interna y exploratorio utilizando el *software* SPSS 20 para Windows. El análisis factorial confirmatorio se llevó a cabo con el programa AMOS 21, y se empleó Factor 9.3 para el cálculo de los coeficientes g_{lb} y Ω y para el estudio del número de factores que deben extraerse.

Tras ello se llevó a cabo la elaboración del cuestionario definitivo, del que se presentan evidencias de fiabilidad y validez, y se analiza la estructura factorial subyacente.

Los pasos seguidos en el estudio se resumen en la figura 1.

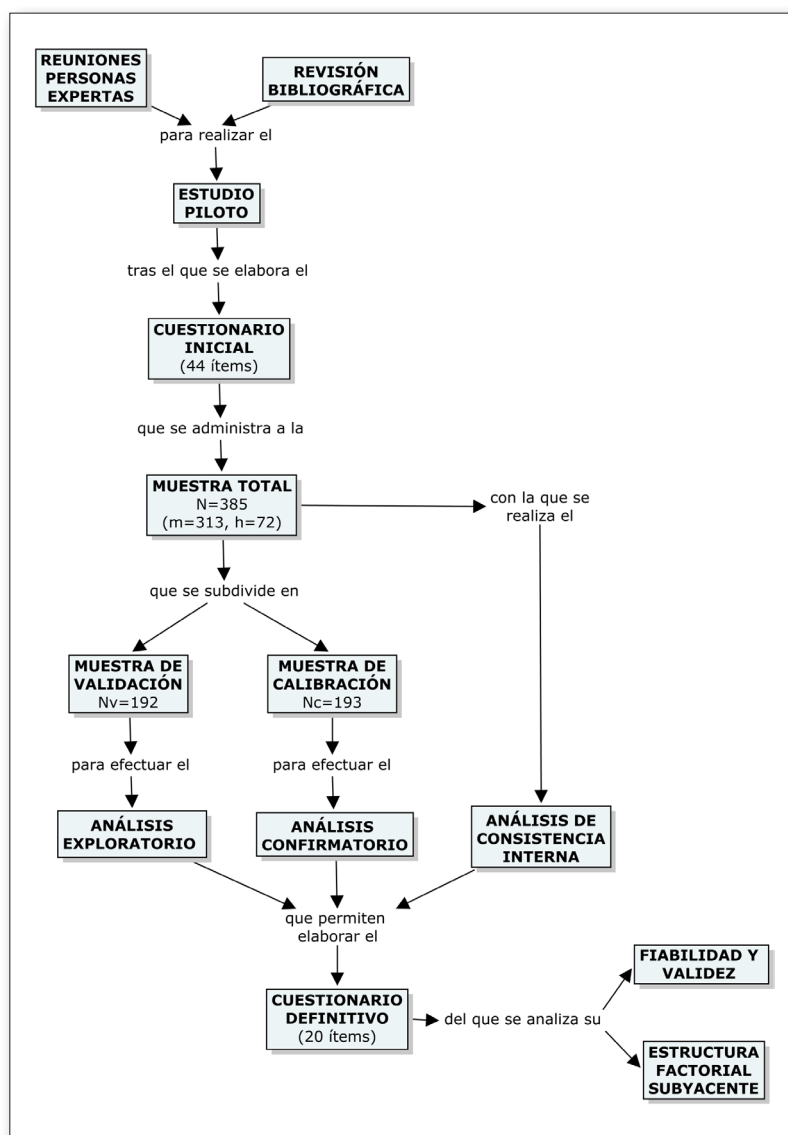


Fig. 1. Pasos seguidos en la validación del cuestionario.

Extracción de tipos docentes

Para elaborar «tipos docentes» basados en las respuestas a los cuestionarios, se realiza un análisis clúster de las puntuaciones en los seis factores de la escala, con el fin de segmentar los casos en grupos de perfiles de respuestas similares.

RESULTADOS

Tras emplear el instrumento con el total de la muestra y valorar la fiabilidad y las posibles soluciones factoriales, se seleccionaron 20 ítems para la versión definitiva del instrumento (tabla 2).

Análisis de fiabilidad

Se muestra, a continuación, la tabla indicada (tabla 2), que muestra los estadísticos descriptivos y el análisis de la consistencia interna.

Tabla 2.
Estadísticos descriptivos y análisis de consistencia interna

<i>Ítem</i>	<i>Contenido del ítem</i>	<i>M</i>	<i>DT</i>	<i>As</i>	<i>K</i>	<i>r</i>	α_{sin}
i1	La persona científica busca objetivamente la realidad.	1,63	0,76	0,98	0,28	.371	.767
i2	El conocimiento científico se corresponde directamente con la realidad.	2,16	0,76	0,12	-0,50	.392	.766
i3	Es necesario usar un método para descubrir y validar las teorías.	1,58	0,69	1,01	0,68	.349	.769
i4	La metodología científica garantiza la objetividad en el estudio de la realidad.	2,23	0,79	0,24	-0,32	.431	.763
i5	La verdad científica se define como una descripción exacta de la naturaleza.	2,48	0,79	0,00	-0,42	.426	.763
i6	La metodología científica es un proceso en etapas «paso a paso».	1,79	0,67	0,54	0,31	.445	.763
i7	La realización de investigaciones científicas tiene como finalidad resolver problemas de interés sobre el entorno que nos rodea.	1,86	0,67	0,53	0,60	.357	.769
i8	La ciencia es un conjunto de leyes y teorías que explican el mundo.	2,04	0,68	0,54	0,31	.449	.763
i9	A través de la experimentación, la persona investigadora debe comprobar si su hipótesis es verdadera o falsa.	1,37	0,54	1,12	0,24	.341	.770
i10	El conocimiento científico es generado y validado por consenso en la comunidad científica.	2,11	0,70	0,21	-0,11	.353	.769
i11	Las leyes se validan por consenso de las personas científicas.	2,41	0,78	0,09	-0,37	.355	.768
i12	La ciencia evoluciona mediante la acumulación de teorías verdaderas.	1,97	0,84	0,37	-0,79	.462	.760
i13	El progreso científico es descubrir teorías que se acerquen cada vez más a la verdad.	1,72	0,73	0,77	0,24	.397	.766

Ítem	Contenido del ítem	M	DT	As	K	r	α_{sin}
i14	Existe un único método científico que siempre se acerca a la verdad.	3,26	0,82	-0,98	0,39	.129	.784
i15	La ciencia es una actividad desarrollada por colectivos que tienen ideas y técnicas comunes.	2,77	0,77	-0,89	-0,49	.268	.774
i16	Es preciso diseñar y planificar una investigación científica antes de comenzarla.	1,34	0,60	1,89	3,81	.288	.773
i17	Toda investigación comienza por la observación sistemática de un fenómeno.	1,72	0,74	0,80	0,23	.295	.772
i18	Las afirmaciones de una persona científica siempre están influenciadas por la comunidad científica y por las investigaciones anteriores o precedentes.	2,12	0,81	0,32	-0,40	.184	.780
i19	Una teoría es desmentida si aparece un hecho que la contradice.	2,03	0,89	0,44	-0,66	.226	.779
i20	Una persona científica evalúa sus afirmaciones acerca de la ciencia exclusivamente a través de la evidencia contrastada.	2,41	0,83	0,04	-0,57	.369	.767

M = media; DT = desviación típica; As = asimetría; K = curtosis; r = coeficiente de correlación entre el ítem y el resto de la escala; α_{sin} = coeficiente alpha de Cronbach si el ítem fuese eliminado. El grado de acuerdo con los ítems manifestado va del 1 (máximo acuerdo) al 4 (mínimo acuerdo).

El coeficiente alfa de la escala es $\alpha = .778$, que indica que su consistencia interna es adecuada.

Para estudiar la consistencia interna de la escala, además de α también se calcularon los coeficientes Ω y glb. El coeficiente Ω se corresponde con el cuadrado de la correlación entre la puntuación en la escala y la variable latente común a todos los indicadores en el universo infinito de indicadores, de los que los de la escala son un subconjunto (McDonald, 1999). Por su parte, el glb (*greatest lower bound*, Woodhouse y Jackson, 1977) representa la mínima fiabilidad posible dada la matriz de covarianzas observadas, teniendo en cuenta la restricción de que la suma de las varianzas de los errores es máxima para los errores que no correlacionan con las otras variables (Ten Berge, Snijders y Zegers, 1981). En el caso del presente instrumento se calculó que glb = .872 y $\Omega = .777$.

Análisis exploratorio

La muestra original ($N = 385$) se dividió en dos submuestras aleatorias (muestra de validación $N_v = 192$ y de calibración $N_c = 193$). Con la primera se realizó un análisis exploratorio para elaborar un modelo de las principales dimensiones implicadas y la segunda se utilizó para llevar a cabo un análisis factorial confirmatorio.

El análisis exploratorio se basa en determinar las correlaciones entre las variables en un conjunto de datos. Este tipo de análisis proporciona una estructura factorial, agrupando las variables que correlacionan entre sí.

Se realizó un análisis de componentes principales con rotación Promax, para que las cargas factoriales aparezcan más diferenciadas. La medida de adecuación muestral KMO es de .753 y la esfericidad de Bartlett tiene un nivel de significación de .000, lo que apoya la pertinencia de proceder a la factorización de las variables.

Siguiendo el criterio estándar de Kaiser-Guttman (autovalores > 1), a partir del análisis exploratorio se proponen 6 factores que explican el 56,8 % de la varianza total. Sus autovalores y la varianza común que explican se presentan en la tabla 3. También se utilizó el programa Factor 9.3 para realizar la prueba MAP (Velicer, 1976) y el análisis paralelo basado en el análisis factorial de rango mínimo (Timmer-

man y Lorenzo-Seva, 2011) sobre la matriz de correlaciones, que indicaron en ambos casos que debía retenerse solo un factor. Se tendrá en cuenta esta circunstancia al realizar el análisis confirmatorio, para valorar si la opción elegida (6 factores) es preferible a la opción de un único factor.

Tabla 3.
Estructura interna de la escala

<i>Dimensión</i>	<i>Código</i>	<i>N.º ítems</i>	<i>Autovalor</i>	<i>% varianza explicada</i>
Positivismo	POS	5	4,33	21,7
Metaciencia	MTC	4	1,75	8,7
Génesis del conocimiento científico	GEN	4	1,50	7,5
Metodologías científicas	MTG	2	1,36	6,8
Investigación	INV	3	1,27	6,4
Validación de las teorías	VAL	2	1,16	5,8

En la tabla 4 se muestra la matriz de configuración. Los ítems de cada factor satisfacen los siguientes criterios:

- Saturación del ítem en el factor principal > .450.
- Saturación del ítem en los otros factores < .400.
- Diferencia de saturación entre el factor principal y el resto > .200.

Tabla 4.
Matriz de configuración tras la realización del análisis de componentes principales y la rotación Promax.
Se muestran solo las cargas factoriales mayores de .300, y se resaltan en negrita los mayores de .400.
Test de esfericidad = .000; KMO = .753.

<i>Ítem</i>	<i>Contenido del ítem</i>	<i>Factores</i>					
		POS	MTC	GEN	MTG	INV	VAL
i1	La persona científica busca objetivamente la realidad.	.748					
i2	El conocimiento científico se corresponde directamente con la realidad.	.722					
i3	Es necesario usar un método para descubrir y validar las teorías.	.659					
i4	La metodología científica garantiza la objetividad en el estudio de la realidad.	.579	.369				
i5	La verdad científica se define como una descripción exacta de la naturaleza.	.502					
i6	La metodología científica es un proceso en etapas «paso a paso».		.771				
i7	La realización de investigaciones científicas tiene como finalidad resolver problemas de interés sobre el entorno que nos rodea.		.663				-.330
i8	La ciencia es un conjunto de leyes y teorías que explican el mundo.		.659				
i9	A través de la experimentación, la persona investigadora debe comprobar si su hipótesis es verdadera o falsa.		.626		-.377		

Ítem	Contenido del ítem	Factores					
		POS	MTC	GEN	MTG	INV	VAL
i10	El conocimiento científico es generado y validado por consenso en la comunidad científica.			.853			
i11	Las leyes se validan por consenso de las personas científicas.			.724			
i12	La ciencia evoluciona mediante la acumulación de teorías verdaderas.			.636			
i13	El progreso científico es descubrir teorías que se acerquen cada vez más a la verdad.			.463			
i14	Existe un único método científico que siempre se acerca a la verdad.				.873		
i15	La ciencia es una actividad desarrollada por colectivos que tienen ideas y técnicas comunes.				.699		
i16	Es preciso diseñar y planificar una investigación científica antes de comenzarla.	.317				.683	
i17	Toda investigación comienza por la observación sistemática de un fenómeno.		.391			.608	
i18	Las afirmaciones de una persona científica siempre están influenciadas por la comunidad científica y por las investigaciones anteriores o precedentes.					.570	
i19	Una teoría es desmentida si aparece un hecho que la contradice.						.785
i20	Una persona científica evalúa sus afirmaciones acerca de la ciencia exclusivamente a través de la evidencia contrastada.						.536

Por tanto, los resultados del análisis exploratorio muestran una estructura factorial con seis factores bien definidos.

- El primer factor (POS Positivismo) está formado por 5 ítems y explica el 21,7 % de varianza. Incluye ítems relacionados con la objetividad de la ciencia y la descripción exacta de la fenomenología como una realidad palpable dependiente o independiente del paradigma de observación.
- El segundo factor (MTC - Metaciencia) está formado por 4 ítems que explican el 8,7 % de la varianza común. Sus ítems hacen referencia a la visión algorítmica u holística de la ciencia al integrar heurísticos asociados.
- El tercer factor (GEN - Génesis del conocimiento científico) se compone de 4 ítems que explican el 7,5 % de la varianza. Explicitan la acumulación de conocimiento científico objetivo en gradiente hacia una verdad focal *versus* a través del consenso intersubjetivo de la comunidad científica.
- El cuarto factor (MTG - Metodologías científicas) lo forman 2 ítems que explican el 6,8 % de la varianza común. Se refieren a la existencia de un único método científico o de un pluralismo metodológico.
- El quinto factor (INV - Investigación) está compuesto por 3 ítems que explican el 6,4 % de la varianza. Estos ítems hacen referencia a cómo se desarrolla la investigación científica en el imaginario colectivo, si de forma inductiva o hipotético-deductiva.
- Por último, el sexto factor (VAL - Validación de las teorías) lo forman 2 ítems que explican el 5,8 % de varianza común y que indican validación a través de evidencias contrastadas *versus* desmentido por hechos contradictorios singulares.

La correlación entre estos factores puede verse en la tabla 5.

Tabla 5.
Matriz de correlaciones entre factores

<i>Componente</i>	POS	MTC	GEN	MTG	INV	VAL
POS	1,000	,375	,280	,061	-,026	,195
MTC	,375	1,000	,404	,152	,047	,247
GEN	,280	,404	1,000	,189	,033	,187
MTG	,061	,152	,189	1,000	-,023	,005
INV	-,026	,047	,033	-,023	1,000	-,044
VAL	,195	,247	,187	,005	-,044	1,000

Análisis confirmatorio

El análisis confirmatorio es el siguiente paso tras la realización del análisis exploratorio para determinar la estructura factorial del conjunto de datos. Una vez que se ha explorado dicha estructura, se confirma mediante este tipo de análisis.

Se empleó la segunda submuestra ($N_C = 193$) para llevar a cabo el análisis factorial confirmatorio. Este análisis se realizó con el *software* AMOS 21, utilizando el método de estimación de máxima verosimilitud. Se consideraron tres modelos:

- M1: un solo factor, como indicaba el resultado del análisis paralelo y de la prueba MAP.
- M2: seis factores no relacionados.
- M3: seis factores relacionados entre sí.

Se recomienda emplear varios índices de ajuste para valorar los modelos (Markland, 2007; Hooper, Coughlan y Mullen, 2008). Así, aquí se utiliza una combinación de índices de ajuste absolutos y relativos (tabla 6).

Tabla 6.
Índices de ajuste de los modelos. Submuestra 2 ($N_2 = 193$)

Modelo χ^2		Índices de ajuste						
		p	χ^2/gl	AIC	CFI	RMSEA 90 % CI		
M1	Único factor	267,76	.000	1,58	387.76	.779	.055	[.042 .067]
M2	Seis factores no relacionados	355,31	.000	2,06	475.31	.585	.075	[.064 .085]
M3	Seis factores relacionados	194,44	.017	1,25	344.44	.911	.036	[.016 .052]

- En los tres modelos la prueba χ^2 es significativa, lo que apuntaría a que los modelos teóricos no se ajustan adecuadamente a los datos. No obstante, el resultado de esta prueba se ve afectado por diferentes factores, entre ellos el tamaño de la muestra, siendo muy difícil obtener un resultado no significativo cuando este es grande (Jöreskog y Sörbom, 1993).
- El valor de χ^2 normado, que se utiliza para reducir la sensibilidad de χ^2 al tamaño de la muestra dividiéndolo entre los grados de libertad, se considera perfecto si su valor es 1. No hay consenso

acerca de cuál sería el máximo valor aceptable para este heurístico, considerándose correctos desde valores menores de 2 como criterio más estricto (Tabachnick y Fidell, 2007) hasta los menores de 5 como criterio más laxo (Hu y Bentler, 1999). Empleando este heurístico, M1 y M3 tendrían un buen ajuste, siendo algo mejor el segundo de ellos ($\chi^2_{M1} = 1,58$; $\chi^2_{M3} = 1,25$). M2 no superaría el criterio más estricto ($\chi^2_{M2} = 2,06$).

- El criterio de información de Akaike (AIC) sirve para estimar la calidad relativa de un modelo con respecto a otros, y se basa en la cantidad relativa de información que se pierde al emplear un modelo dado (Akaike, 1974). Los valores más pequeños indican un mejor ajuste y un modelo más parsimonioso. En el caso de los modelos estudiados, AIC es menor en M3, lo que apunta a que es el modelo con mejor bondad de ajuste de los tres. El segundo mejor modelo en este sentido sería M1, seguido por M2.
- Para el cálculo del índice CFI se asume que todas las variables latentes no están correlacionadas y se compara la matriz de covarianzas de la muestra con este modelo nulo. Toma valores entre 0 y 1, indicando un mejor ajuste cuanto mayor sea su valor. Bentler (1990) indica que un valor superior a .90 es aceptable, y Hu y Bentler (1999) recomiendan para garantizar un ajuste superior un valor mayor que .95. El valor de CFI calculado para M3 es aceptable ($CFI_{M3} = .911$), mientras que no lo es para los modelos M1 ($CFI_{M1} = .779$) y M2 ($CFI_{M2} = .585$).
- El índice RMSEA refleja la adecuación del modelo, con parámetros desconocidos pero estimados de manera óptima, a la matriz de covarianzas de la población (Byrne, 1998). Favorece modelos parsimoniosos. Hu y Bentler (1999) proponen como valores buenos los inferiores a .05 y aceptables los menores de .10. Utilizando este criterio el valor de RMSEA es aceptable en M1 ($RMSEA_{M1} = .055$) y M2 ($RMSEA_{M1} = .075$), y bueno en M3 ($RMSEA_{M3} = .036$).

Todo lo antedicho indica que el mejor modelo de los presentados es el de 6 factores interrelacionados, por lo que fue el que se decidió retener (figura 2).

Evidencias de validez

- Validez de contenido: la adecuación de los ítems seleccionados al dominio de interés, así como la representatividad y corrección técnica de los ítems se sustenta en la revisión bibliográfica y en el trabajo realizado en las reuniones de personas expertas.
- Validez convergente: para su estudio se analizaron los coeficientes de regresión de las dimensiones en la predicción de las puntuaciones de los ítems que los componen (Hair, Black, Babin y Anderson, 2010). En todos los casos son significativamente diferentes de cero ($p < .05$), lo que indica que los ítems de cada factor comparten una proporción significativa de varianza común. En este sentido, siete ítems tienen cargas factoriales superiores a .700, y solo un ítem no alcanza el valor de .500 recomendado por Hair et al. (2010).
- Validez discriminante: la inexistencia de saturaciones cruzadas en la estructura factorial propuesta es una evidencia de validez discriminante, ya que esta implica que los ítems individuales forman parte de un único factor.

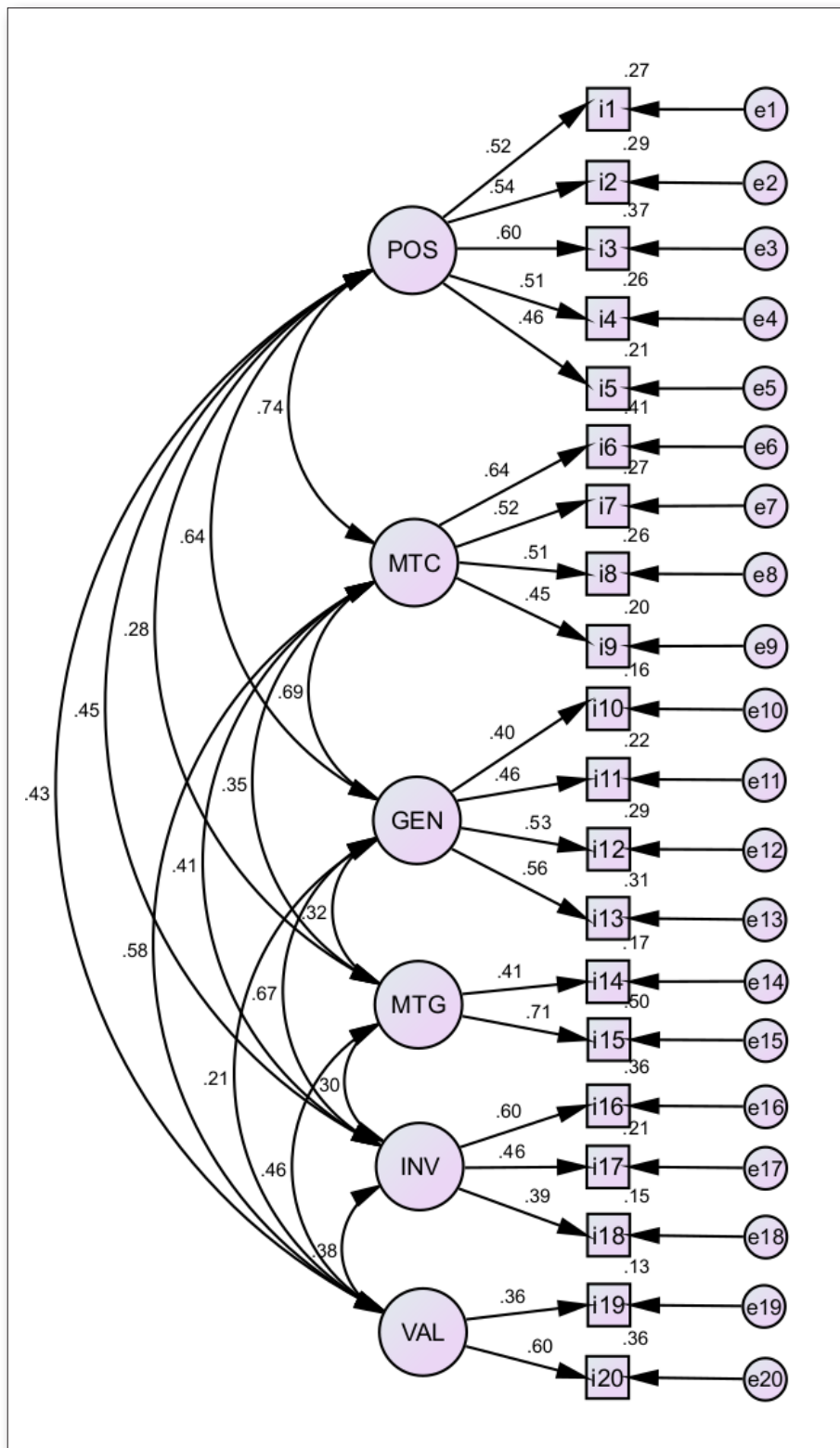


Fig. 2. Análisis factorial confirmatorio ($N_v = 193$). $\chi^2 = 194,44$; $p < .017$; $\chi^2/df = 1,25$; AIC = 344,44; CFI = .911; RMSEA = .036 [.016 .022].

Tipos docentes

Para elaborar «tipos docentes» basados en las respuestas a los cuestionarios, se realiza un análisis clúster de las puntuaciones en los seis factores de la escala, con el fin de segmentar los casos en grupos de perfiles de respuestas similares. Se emplea la muestra total (N = 385). El análisis constó de los siguientes pasos:

- Cálculo de las puntuaciones en los factores de la escala.
- Comprobación de variables y supuestos del análisis clúster.
- Obtención de grupos mediante análisis jerárquico y valoración del ajuste conjunto.
- Análisis clúster no jerárquico (K-Medias) para ajuste fino.
- Validación de las soluciones clúster.

En la figura 3 se muestra la solución clúster propuesta. Como se puede apreciar, se diferencian tres tipos docentes (1, 2 y 3). En la tabla 7 se muestran descriptivos de dichos conglomerados.

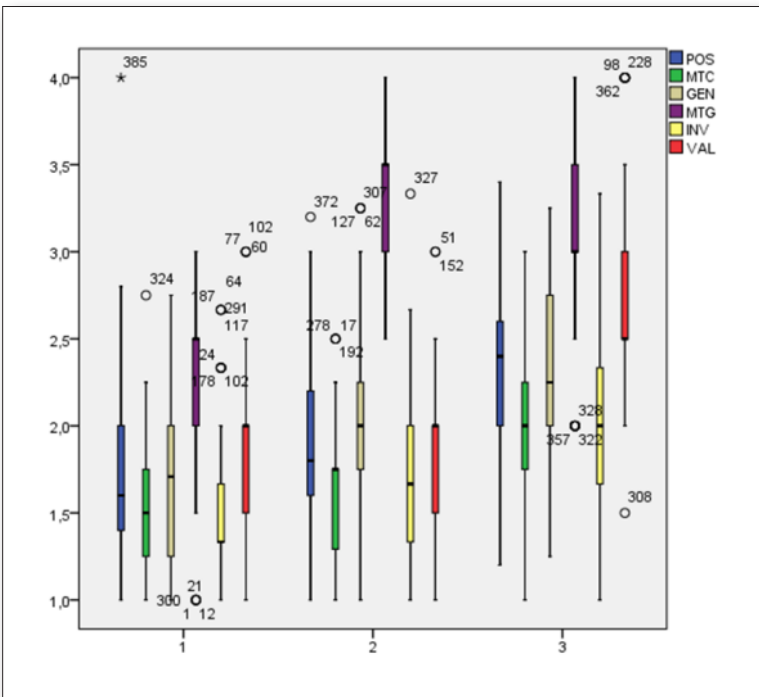


Fig. 3. Tipos docentes 1, 2 y 3 propuestos.

Tabla 7.
Descriptivos de los tipos docentes propuestos

Tipo docente	POS	MTC	GEN	MTG	INV	VAL	Tamaño del clúster
1	1,71	1,52	1,69	2,26	1,51	1,79	94
2	1,89	1,62	1,96	3,41	1,63	1,88	132
3	2,30	2,03	2,34	3,13	1,94	2,76	159

Se pueden caracterizar estos tipos docentes de la siguiente manera:

- Tipo docente 1: clúster formado por personas con puntuaciones en los factores que denotan una clara tendencia al positivismo, una visión algorítmica de la ciencia con un único método inductivo que avanza acumulativamente hacia la verdad, validando sus resultados solo a través de la evidencia.
- Tipo docente 2: muy similar al anterior, pero con puntuaciones algo más elevadas en todos los factores. Destaca que una de dichas puntuaciones sí es mucho mayor que en el caso del tipo docente 1: el profesorado en formación de este clúster admite en mucha mayor medida un pluralismo metodológico.
- Tipo docente 3: sus puntuaciones son en general cercanas a las del punto medio de la escala Likert. Las ideas sobre la ciencia de las personas que forman este conglomerado son, por tanto, menos ingenuas y conciben en mayor medida la ciencia como una actividad humana. Con todo, sus puntuaciones no son elevadas.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se ha presentado el proceso de diseño y validación de un cuestionario para la indagación de las concepciones sobre la NOS y se han expuesto diferentes indicadores de su fiabilidad y de su validez de contenido, convergente y discriminante. Los resultados del análisis exploratorio muestran una estructura factorial con seis factores bien definidos. El análisis confirmatorio indica que dicho modelo con los seis factores relacionados entre sí tiene un buen ajuste, el cual es mejor que el de los otros modelos considerados.

Por todo ello, se concluye que el cuestionario tiene una fiabilidad y validez correctas y, en consecuencia, se considera un instrumento útil y se propone su uso para continuar con la investigación. En este sentido, el fin último de la línea de estudio que nos ocupa es indagar sobre las creencias acerca de la ciencia del profesorado en formación, a fin de mejorar los procesos de formación inicial. ¿Son sus creencias informadas, parcialmente informadas o ingenuas? ¿Qué piensa sobre qué es y qué no es ciencia, o cómo se trabaja en ciencia?

Conviene destacar que los factores hallados al validar el instrumento son relevantes en este contexto, ya que proporcionan indicadores sobre el positivismo, las creencias sobre la generación del pensamiento científico, las metodologías, etc., aspectos todos ellos de relevancia y relacionados con la NOS. De esta manera, los tipos docentes hallados al realizar el análisis clúster se pueden encuadrar en las *creencias ingenuas* (tipos docentes 1 y 2) y en las *parcialmente informadas* (tipo docente 3). Es importante subrayar la no aparición de un clúster que se corresponda con las *creencias informadas* (Schwartz y Lederman, 2008). En todo caso, conviene destacar el carácter exploratorio y fundamentalmente ateoórico del análisis clúster, por lo que la pretensión de este estudio no va más allá de formular propuestas fundamentadas que puedan ser de interés para la investigación futura.

En estudios posteriores se pretende proporcionar resultados descriptivos detallados de las puntuaciones en los diferentes factores y realizar análisis estadísticos inferenciales para valorar la existencia de diferencias por sexo, titulación, edad y otras variables de interés. Otra posible utilidad es emplear el cuestionario antes y después de una intervención educativa sostenida, para valorar si esta ha contribuido a la evolución de las ideas del colectivo investigado (Izquierdo, García, Quintanilla y Adúriz, 2016). Como limitaciones del estudio conviene señalar que, aunque el tamaño de la muestra es suficiente, sería de interés realizar un nuevo estudio con una muestra mayor; también se puede apuntar que se han extraído factores compuestos por pocos ítems, lo cual en general es preferible evitar, salvo que aparezcan con claridad y sean de relevancia en el contexto del estudio, como aquí acontece. Asimismo,

las evidencias de fiabilidad y validez expuestas son correctas, pero podrían intentar mejorarse en nuevas versiones del instrumento partiendo del trabajo aquí realizado y atendiendo a las consideraciones expuestas. Se utilizarán, también, metodologías cualitativas (grupos de discusión, entrevistas y estudios de caso) a fin de indagar acerca de los significados que el profesorado en formación inicial asocia a sus respuestas al cuestionario.

Otro aspecto susceptible de mejora es la elaboración de un cuestionario nuevo que aborde, de manera más específica, las concepciones sobre las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad en la línea de la tecnociencia contemporánea (Echeverría y Martínez, 2009; Park, Wu y Erduran, 2020).

Los aspectos estudiados tienen una innegable repercusión en la planificación de la formación universitaria del profesorado; por tanto, es absolutamente necesario investigar su influencia para incidir en la mejora de la oferta formativa de la Universidad, en el diseño de los currículos, de las metodologías docentes y en la selección y utilización de recursos didácticos (Bonil y Márquez, 2011; Izquierdo, 2007; Márquez y Artés, 2016; Pujol, 2008; Sanmartí, 2011; Vélchez y Bravo, 2015).

La pregunta que surge de inmediato es la siguiente: ¿Es posible modificar esas concepciones? Y si lo es, ¿cómo se puede llevar a cabo este cambio? La cuestión ha sido objeto de atención en la investigación en didáctica de las ciencias experimentales y existen diversas propuestas. Porlán, Rivero y Martín (1997) sostienen que esta evolución es un proceso de reestructuración y construcción de nuevos significados, basado en la interacción y el contraste con otras ideas y experiencias. Por su parte, Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich (2002) sostienen que a la hora de diseñar actividades didácticas sobre NOS existen rasgos metodológicos que se deben tener en cuenta, como situar el lenguaje en el centro de dichas actividades, utilizar materiales variados (textos literarios, episodios históricos, juegos o documentales) y reflexionar sobre el conocimiento científico (contenidos, métodos, valores o evolución).

Por nuestra parte, añadiremos que la didáctica de las ciencias experimentales no puede realizar este proceso en solitario, algo que se olvida con más frecuencia de la que sería deseable, sino que es necesaria la participación de todo el equipo docente.

AGRADECIMIENTOS

Proyectos de investigación financiados por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades EDU2017-82915-R y por FEDER/Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades - Agencia Estatal de Investigación/ Proyecto ESPIGA («Promoviendo el Desarrollo del Pensamiento Crítico y de las dimensiones de Implicación Cognitiva y Emocional de los desempeños Epistémicos en las Clases de Ciencias en la Era de la Posverdad»), referencia PGC2018-096581-B-C22.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd-El-Khalick, F. y Akerson, V. L. (2009). The influence of metacognitive training on preservice elementary teachers' conceptions of nature of science. *International Journal of Science Education*, 31, 2161-2184.
<https://doi.org/10.1080/09500690802563324>
- Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Adúriz-Bravo, A. (2006). La epistemología en la formación de profesores de ciencias. *Educación y Pedagogía*, 18(45), 25-36.

- Adúriz-Bravo, A. (2008). Áreas de investigación en la didáctica de las ciencias experimentales: La naturaleza de la ciencia. En C. Merino, A. Gómez y A. Adúriz-Bravo (Coords.), *Áreas y estrategias de investigación en la didáctica de las ciencias experimentales* (pp. 111-125). Bellaterra: Servei de Publicacions de la UAB.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2002). Directrices para la formación epistemológica del futuro profesorado de ciencias naturales. En G. A. Perafán y A. Adúriz-Bravo (Comps.), *Pensamiento y conocimiento de los profesores: Debate y perspectivas internacionales* (pp. 127-139). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Akaike, H. (1974). A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716-723.
<https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- Álvarez Lires, M., Arias, A., Pérez Rodríguez, U. y Serrallé, J. F. (2013). La historia de las ciencias en el desarrollo de competencias científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 213-233.
- Angulo, F. (2002). *Aprender a enseñar ciencias: análisis de una propuesta para la formación inicial del profesorado de secundaria, basada en la metacognición* (Tesis de doctorado inédita). Bellaterra (Barcelona): Universitat Autònoma de Barcelona.
- Arias Correa, A. (2012). *Implicacions curriculars e didàctiques no ensino das ciencias das concepcions sobre a ciencia e a metodoloxía en alumnado de Maxisterio: o traballo por proxectos* (Tesis de doctorado inédita). Vigo: Universidade de Vigo.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. París: Vrin.
- Bentler, P. M. (1990). Comparative Fit Indexes in Structural Models. *Psychological Bulletin*, 107(2), 238-246.
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.107.2.238>
- Blanco, Á., Sanz, B. y Vallejo, P. M. (2003). *Construcciones de escalas de actitudes tipo Likert*. Madrid: Editorial La Muralla.
- Bonil, J. y Márquez, C. (2011). ¿Qué experiencias manifiestan los futuros maestros sobre las clases de ciencias? Implicaciones para su formación. *Revista de Educación*, 354, 447-472.
<https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2011-354-007>
- Brandão, R. V. (2008). *Investigando a aprendizagem do campo conceitual associado à modelagem científica por parte de professores de física do ensino médio* (Tesis de máster inédita). Porto Alegre: Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Brandão, R. V., Araujo, I. S., Veit, E. A. y Lang, F. S. (2011). Validación de un cuestionario para investigar concepciones de profesores sobre ciencia y modelado científico en el contexto de la física. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 1(6), 43-60.
- Briceño, J. J. y Benarroch, A. (2009). Concepciones y creencias sobre ciencia, aprendizaje y enseñanza de profesores universitarios de ciencias. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 8(1), 24-41.
- Byrne, B. M. (1998). *Structural Equation Modeling with LISREL, PRELIS and SIMPLIS: Basic Concepts, Applications and Programming*. Mahwah, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Claxton, G. (1994). *Educar mentes curiosas*. Madrid: Visor.
- Clough, M. P. (2006). Learners' responses to the demands of conceptual change: Considerations for effective nature of science instruction. *Science & Education*, 15(5), 463-494.
<https://doi.org/10.1007/s11191-005-4846-7>
- Cummins, R. y Gullone, E. (2000). Why we should not use 5-point Likert scales: The case for subjective quality of life measurement. En *Proceedings of Second international conference on quality of life in cities* (pp. 74-93).

- Driver, R., Leach, J., Millar, R. y Scott, P. (1996). *Young peoples' images of science*. Buckingham, UK: Open University Press.
- Duit, R. (2009). Bibliography - STCSE Students' and Teachers' Conceptions and Science Education. Obtenido de <https://www.if.ufrj.br/~marta/aprendizagememfisica/fv09.pdf>
- Duit, R., Gropengieber, H. y Kattmann, U. (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. En H. Fischer (Ed.), *Developing Standards in Research on Science Education* (pp. 1-9). Londres: Taylor & Francis Group.
- Echeverría, J. y González, M. (2009). La teoría del actor-red y la tesis de la tecnociencia. *Arbor*, 738, 705-720.
<https://doi.org/10.3989/arbor.2009.738n1047>
- Ferreira-Gauchía, C., Vilches, A. y Gil-Pérez, D. (2012). Concepciones acerca de la naturaleza de la tecnología y de las relaciones Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente en la educación tecnológica. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 30(2), 197-218.
- Furió, C., Solbes, J. y Carrascosa, J. (2004). Las ideas alternativas sobre conceptos científicos: tres décadas de investigación. resultados y perspectivas. *Alambique*, 48, 64-78.
- Hair, F., Black, W. C., Babin, B. J. y Anderson, R. E. (2010). *Multivariate data analysis*. Nueva Jersey: Prentice-Hall.
- Hooper, D., Coughlan, J. y Mullen, M. R. (2008). Structural Equation Modelling: Guidelines for Determining Model Fit. *Electronic Journal of Business Research Methods*, 6(1), 53-60.
<https://doi.org/10.21427/d7cf7r>
- Hu, L. y Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modelling*, 6, 1-55.
<https://doi.org/10.1080/10705519909540118>
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, 6, 125-138.
- Izquierdo, M., García, A., Quintanilla, M. y Adúriz, A. (2016). *Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Bogotá: Universidad Distrital.
- Jöreskog, K. y Sörbom, D. (1993). *LISREL 8: Structural Equation Modeling with the SIMPLIS Command Language*. Chicago, IL: Scientific Software International Inc.
- Justi, R. S. y Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
<https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, presente and future. En S. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831-880). Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Lederman, N. G. (2018). La siempre cambiante contextualización de la naturaleza de la ciencia: documentos recientes sobre la reforma de la educación científica en los Estados Unidos y su impacto en el logro de la alfabetización científica. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(2), 5-22.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2661>
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. y Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
<https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Lederman, N. G. y Niess, M. L. (1997). The nature of science: Naturally? *School Science and Mathematics*, 97(1), 1-2.

- Markland, D. (2007). The golden rule is that there are no golden rules: A commentary on Paul Barrett's recommendations for reporting model fit in structural equation modelling. *Personality and Individual Differences*, 42, 851-858.
<https://doi.org/10.1016/j.paid.2006.09.023>
- Márquez, C. y Artés, M. (2016). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra: Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 24(2), 169-181.
- Martín, C., Prieto, T. y Jiménez, M. A. (2015). Tendencias del profesorado de ciencias en formación inicial sobre las estrategias metodológicas en la enseñanza de las ciencias. Estudio de un caso en Málaga. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 167-184.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1500>
- McComas, W. F., Clough, M. P. y Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. En W. F. McComas (Ed.), *The nature of science in science education: Rationales and strategies* (pp. 3-39). Dordrecht: Kluwer.
- McDonald, R. P. (1999). *Test theory: A unified treatment*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Park, W., Wu, J. y Erduran, S. (2020). The Nature of STEM Disciplines in the Science Education Standards Documents from the USA, Korea and Taiwan. *Sci & Educ*
<https://doi.org/10.1007/s11191-020-00139-1>
- Pope, M. y Gilbert, J. (1983). Personal Experience and the Construction of Knowledge in Science. *Science Education*, 67(2), 193-203.
<https://doi.org/10.1002/sce.3730670208>
- Porlán, R., Díaz, J. E. G. y De León, P. C. (1988). *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. Madrid: Díada Editora.
- Porlán, R., Rivero, A. y Martín, R. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: Teoría, métodos e instrumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 155-171.
- Pujol, R. M. (2008). Pensar en la escuela primaria para pensar en la formación de su profesorado, desde la DCE, en el marco del nuevo grado. Ponencia presentada en *XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Almería, España.
- Ravanal, E., Joglar, C., Quintanilla, M. y Labarrere, A. (2009). Noción sobre enseñanza de las ciencias en profesores de biología en activo y sus implicancias en el desarrollo de competencias de pensamiento científico. Ponencia presentada en el *VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Florianópolis, Brasil.
- Sanmartí, N. (2011). Evaluar para aprender, evaluar para calificar. En P. Cañal (Coord.), *Didáctica de la Biología y la Geología* (pp. 151-174). Barcelona: Graó.
- Schwartz, R. y Lederman, N. (2008). What scientists say: scientists views of Nature of Science and relation to science context. *International Journal of Science Education*, 30(6), 727-771.
<https://doi.org/10.1080/09500690701225801>
- Serrallé, J. F. (2018). *A História das Ciências no desenvolvimento de competências científicas: unha perspectiva socioconstrutivista e de xénero* (Tesis doctoral inédita). Vigo: Universidade de Vigo.
- Tabachnick, B. G. y Fidell, L. S. (2007). *Using Multivariate Statistics*. Nueva York: Allyn and Bacon.
- Ten Berge, J. M. F., Snijders, T. A. B. y Zegers, F. E. (1981). Computational aspects of the greatest lower bound to reliability and constrained minimum trace factor analysis. *Psychometrika*, 46, 201-213.
<https://doi.org/10.1007/BF02293900>
- Timmerman, M. E. y Lorenzo-Seva, U. (2011). Dimensionality Assessment of Ordered Polytomous Items with Parallel Analysis. *Psychological Methods*, 16, 209-220.
<https://doi.org/10.1037/a0023353>

- Velicer, W. F. (1976). Determining the number of components from the matrix of partial correlations. *Psychometrika*, 41, 321-327.
<https://doi.org/10.1007/BF02293557>
- Vílchez, J. y Bravo, B. (2015). Percepción del profesorado de ciencia de educación primaria en formación acerca de las etapas y acciones necesarias para realizar una indagación escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 185-202.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1529>
- Wandersee, J., Mintzes, J. J. y Novak, J. D. (1994). Research on Alternative Conceptions in Science. En D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 177-210). Nueva York: Macmillan Publishing.
- Woodhouse, B. y Jackson, P. H. (1977). Lower bounds to the reliability of the total score on a test composed of nonhomogeneous items: II. A search procedure to locate the greatest lower bound. *Psychometrika*, 42, 579-591.
<https://doi.org/10.1007/BF02295980>
- Zimmermann, E. (2000). The Structure and Developing of Science Teachers' Pedagogical Models: Implications for Teacher Education. En J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 325-341). Holanda: Kluwer Academic Publishers.

Pre-service teachers' conceptions on the nature of science

José Francisco Serrallé Marzoa, Uxío Pérez Rodríguez, María Asunción Lorenzo Rial, María Mercedes Álvarez Lires
Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte. Universidade de Vigo. A Xunqueira, s/n, 36005-Pontevedra
jfserralle@uvigo.es, uxio.perez@uvigo.es, marialorenzo@uvigo.es, lires@uvigo.es

Many research studies have shown, broadly speaking, that teaching in elementary and secondary education is carried out with a very formal, excessively declarative approach and perspective of scientific content, which presents scientific knowledge as an immutable truth, as a closed result of successive accumulative discoveries and as a constant linear refinement of models and theories.

Teachers' conceptions of the nature of science and technology (NOS) and their views on the relationships between them and the society, as well as on the production of scientific knowledge, interact with their way of teaching and with their ideas about student learning.

To investigate the conceptions about the NOS among teachers in initial training in the degree of Elementary Education, we have designed and validated a questionnaire to evaluate them and, subsequently, to use them as a basis for carrying out didactic proposals.

This paper describes the questionnaire, the sample ($N = 385$) and the design and validation procedure.

For the construction of the questionnaire, meetings were held with experts who proposed items. In a first selection, a pilot Likert-type questionnaire was formulated with four levels of response, which was administered to a small sample of students of the degree in Elementary Education. Considering the results of the exploratory study, the questionnaire was revised, resulting in a scale of 44 items.

The original sample ($N = 385$) was divided into two random subsamples. The first was used for an exploratory analysis to construct a model of the main dimensions involved, and the second was used to carry out a confirmatory factor analysis.

The results of the exploratory analysis showed a factor structure with six well-defined dimensions: Positivism, Meta-science, Genesis of Scientific Knowledge, Scientific Methodologies, Research and Validation of Theories. In the analysis, different models were compared, using several fit indices to assess their appropriateness. The best of the models analysed is the one that considers the six factors to be interrelated.

The scale has fair reliability and validity, which leads to the conclusion that it can be useful for research related to this topic.

A cluster analysis of the scores on the scale factors was also performed to segment the cases into groups of similar response profiles and to elaborate «Teacher Types». A division into three types is given, two of which can be categorised as naïve beliefs (Teaching Types 1 and 2) and partially informed beliefs (Teaching Type 3). It is important to highlight the non-appearance of a cluster corresponding to informed beliefs (Schwartz and Lederman, 2008). However, the exploratory and essentially atheoretical nature of the cluster analysis should be emphasised, so that the aim of this study does not go beyond formulating substantiated proposals that may be of interest for future research.

In subsequent studies, we intend to provide detailed descriptive results of the scores on the different factors and to conduct inferential statistical analyses to evaluate the existence of differences of gender, degree, age, and other variables of interest. Another possibility is to use the questionnaire before and after a sustained educational intervention, to assess whether the intervention has contributed to the development of the ideas of the target groups.



¿Es factible cambiar la enseñanza de las ciencias en primaria?

Is it feasible to change science teaching in primary education?

Carolina Nicolás Castellano, Rubén Limiñana Morcillo, Asunción Menargues Marcilla,
Sergio Rosa Cintas, Joaquín Martínez Torregrosa
*Departamento de Didáctica General y Didácticas Específicas e Instituto Universitario de Física Aplicada a las Ciencias y la Tecnología,
Universidad de Alicante, Alicante, España*
carolina.nicolas@ua.es, ruben.lm@ua.es, a.menargues@ua.es, sergio.rosacintas@ua.es, joaquin.martinez@ua.es

RESUMEN • Algunos autores consideran que el cambio didáctico en la enseñanza de las ciencias en primaria es una tarea imposible. Efectivamente, se trata de un proceso sobre el que se ha investigado poco y poco sistemáticamente. Por ello, se presenta un plan –justificado en la investigación sobre formación en activo y en la teoría de la masa crítica para el cambio en las convenciones sociales– para conseguir el cambio didáctico a partir de la colaboración entre un equipo universitario y el equipo docente y directivo de una escuela. Se justifican sus distintas fases, se definen indicadores para valorarlas y se muestran los resultados de su desarrollo.

PALABRAS CLAVE: Cambio didáctico; Enseñanza de las ciencias en primaria; Formación de maestros en activo; Enseñanza problematizada de las ciencias.

ABSTRACT • Some authors consider that the didactic change in primary science education is an impossible task. Indeed, systematic research on this process is still scarce. For this reason, we present a plan, based on research on in-service professional development and in the theory of critical mass for change in social conventions, to achieve didactic change, based on collaboration between a university research team and teaching and principal of a school. We justify the different phases of the plan, define the indicators to evaluate them and show the results of its development.

KEYWORDS: Didactic change; Primary science education; In-service professional development; Problematic science teaching.

Recepción: marzo 2020 • Aceptación: julio 2020

Nicolás Castellano, C., Limiñana Morcillo, R., Menargues Marcilla, A., Rosa Cintas, S. y Martínez Torregrosa, J. (2021). ¿Es factible cambiar la enseñanza de las ciencias en primaria?. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 135-156.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3260>

INTRODUCCIÓN

Existe un interés compartido por impulsar la enseñanza de las ciencias en la etapa primaria (Kawalkar y Vijapurkar, 2015) y un gran consenso en que se desarrolle con una orientación indagatoria, en la que la actividad del aula se organiza planteando preguntas o problemas conceptualmente ricos cuya resolución se desarrolla en un ambiente que favorece las prácticas científicas y la (co)construcción de significados¹ (Constantinou, Tsivitanidou y Rybska, 2018; Lowell, Cherbow y McNeill, 2019).

No obstante, como bien sabemos los que nos dedicamos a la formación de futuros maestros, la divergencia entre la investigación y la práctica habitual es enorme. En muchos casos (afortunadamente, no en todos), la lectura del libro de texto parafraseada por el maestro continúa siendo el método usado para enseñar ciencias. La programación suele consistir en un reparto temporal de los temas para que el libro «quepa» en el curso escolar, y las listas de «competencias» asociadas a las actividades son letanías que se plasman en documentos burocráticos. Incluso algunas clases que se proclaman «activas» suelen consistir en una suma de aprendizaje repetitivo y técnicas de animación. Ante esta situación, no es extraño que el director de educación de la OCDE, responsable de las pruebas PISA, afirmara que los profesores en España «es como si trabajasen en una fábrica, en una cadena de producción» y que algunos autores, como Porlán (2018), afirmen que es prácticamente imposible una extensión de la enseñanza indagatoria o problematizada a las aulas.

Efectivamente, cambiar la forma en que se enseña ciencias es un problema difícil, pero escasamente investigado en España y Europa. Existe bastante investigación con maestros en formación, pero poca sobre cómo conseguir que los maestros en una escuela lleven a cabo con éxito, y de un modo sostenible, la enseñanza de las ciencias por indagación. Dado el escaso tiempo destinado a la enseñanza de las ciencias en la formación inicial y la influencia del contexto en cómo se enseña ciencias en las escuelas, es poco probable que la formación inicial recibida tenga influencia sobre la práctica profesional, y más bien deberíamos plantearnos cómo «la práctica profesional» puede influir en la formación inicial. Dicho de otro modo, es prioritario generar maestros y escuelas que sean ejemplos que sirvan a los futuros maestros. Así pues, nos centraremos en cómo conseguir que la «práctica» sea la enseñanza por indagación. Por tratarse de un problema complejo, con numerosos obstáculos externos e internos al profesorado (véase, por ejemplo, Elliot, 1991; Cañal et al., 2011; Kennedy, 2014), para aprender y sacar conclusiones se requiere focalizar la investigación en el análisis de casos (entendiendo como tal el estudio de una escuela o de un grupo de maestros cuyas características, condicionantes y actuaciones podamos seguir y estudiar) y definir muy bien, de un modo operativo: *a)* qué queremos conseguir; *b)* el plan previsto para su consecución, ordenado en fases que puedan ser analizadas; *c)* cómo valorar el desarrollo del plan; y *d)* cuándo se considerará que se ha conseguido un cambio didáctico efectivo y sostenible en una escuela.

Queremos conseguir que, mediante la colaboración entre nuestro equipo y el equipo docente y directivo de un centro de primaria, la enseñanza de las ciencias se desarrolle desde el modelo de enseñanza por indagación. Para conseguir ese cambio didáctico de manera efectiva, hemos elaborado un plan basado en una revisión de la investigación sobre formación de docentes en activo y en la teoría de la masa crítica para el cambio de las convenciones sociales que ha recibido un apoyo empírico reciente (Centola et al., 2018). El desarrollo completo ha supuesto una implicación de los autores durante tres años.

1. En este artículo, utilizaremos los términos *enseñanza por indagación* y *enseñanza problematizada* como sinónimos.

UN PLAN PARA TRATAR DE CONSEGUIR EL CAMBIO DIDÁCTICO

Para poder analizar y extraer conclusiones de un proceso de intervención/colaboración entre dos equipos (el de los maestros de una escuela y el de la universidad) con la finalidad de cambiar la enseñanza convencional de las ciencias por una enseñanza problematizada, hemos dividido el plan en las siguientes fases: 1) contacto inicial y generación de expectativas positivas hacia el cambio; 2) primera puesta en práctica de la innovación por parte de los maestros; 3) evaluación y afianzamiento: segunda puesta en práctica por parte de los maestros; 4) sostenibilidad y extensión del cambio didáctico.

Fase 1: Contacto inicial y generación de expectativas positivas hacia el cambio

Nuestra experiencia previa en cursos de formación para maestros había sido buena en cuanto a nuestra intervención (según valoración de los asistentes), pero negativa en cuanto a la puesta en práctica de lo tratado en sus centros. La diversa procedencia (era raro encontrar varios asistentes del mismo centro), las distintas motivaciones y el escaso control sobre el currículo escolar (poder decidir qué contenidos tratar, cuándo y cómo hacerlo) de los asistentes eran algunos de los obstáculos para que las innovaciones llegaran a la práctica. Con esas condiciones es difícil formar los grupos de personas con «vínculos fuertes» y objetivos compartidos que se requieren para la propagación de comportamientos complejos (Centola, 2018), como es el cambio didáctico que proponemos. Por ello, decidimos dirigir nuestra investigación a grupos de docentes de un mismo centro.

En esta primera etapa, pretendemos conseguir un clima positivo de confianza y colaboración, mostrar que el cambio es deseable y posible, obtener información sobre las preocupaciones de los maestros para poner en práctica la innovación y obtener el compromiso de algunos de ellos para iniciarla en sus aulas.

En su revisión sobre las características y calidad de programas de desarrollo profesional, van Driel et al. (2012) consideran fundamental que los maestros entiendan cómo van a aprender sus alumnos (con ejemplos), ya que en muchas ocasiones creen que lo que se les dice solo es posible en el papel. Una forma de salir al paso de esta desconfianza es llevar a cabo actividades de formación en las que se presenten y discutan con los maestros las secuencias que han de desarrollar con sus alumnos sobre contenidos a diferentes niveles, dentro de un hilo conductor coherente sobre una de las grandes ideas de la ciencia, perteneciente al currículo de ciencias naturales de primaria. Evidentemente, no partiremos de cero: las secuencias problematizadas han sido elaboradas por el equipo universitario y probadas en grupos de primaria y constituyen un itinerario de enseñanza coherente y progresivo en el desarrollo de alguna de las grandes ideas (o problemas) de la ciencia que se incluyen en los bloques del currículo.

Obviamente, el curso se debe desarrollar en un ambiente problematizado en el cual los maestros, en pequeños grupos, tengan oportunidades para vivir en primera persona el ambiente de aprendizaje generado por esta metodología de trabajo. El objetivo es mejorar simultáneamente el conocimiento conceptual, metodológico y la implicación actitudinal para que lleven a la práctica, por primera vez, alguna de las secuencias que se han desarrollado. Al final de este curso, además, los maestros serán más conscientes de lo que requiere llevar a cabo una enseñanza problematizada, por lo que es un momento oportuno para recoger sus necesidades e inquietudes para facilitar que lleven a la práctica –con la ayuda necesaria– alguna/s de las secuencias del curso (Garet et al., 2001; Fishman et al., 2003). Valoraremos el éxito de esta fase a partir de los siguientes indicadores:

- *Obtención del consenso necesario* (dirección, maestros y padres) para iniciar nuestro plan de cambio, y por tanto llevar a cabo un curso de formación intensivo con los maestros interesados.
- *Valoración positiva del curso de formación.*
- *Obtención de información «en el terreno» sobre las dificultades y necesidades* para llevar a cabo la innovación. Uno de nuestros objetivos es aprender de los fracasos, de modo que podamos preverlos para futuras intervenciones. La reflexión de nuestro equipo sobre estos aspectos es una pieza clave de nuestro aprendizaje para fomentar el cambio didáctico y se llevará a cabo a lo largo de todas las fases.
- *Compromiso de algunos maestros* para poner en práctica alguna de las secuencias desarrolladas, con una duración aproximada de 10 horas de clase.

Fase 2: Primera puesta en práctica de la innovación por parte de los maestros

La decisión de poner en práctica una de las secuencias de enseñanza por indagación corresponde a los maestros y la dirección –cuyo papel es importante para impulsar y facilitar el cambio didáctico– (Howe y Stubbs, 2003; Ritchie, 2012). No obstante, llegar a la acción no es fácil. Y es que aprender un tema, por primera vez, y llegar a dominarlo para poder enseñarlo son asuntos diferentes. *Es necesario un proceso de «apropiación» que requiere trabajo personal de preparación de las secuencias de enseñanza.* Conseguir el cambio didáctico tiene menos que ver con convencer a las personas de que la idea es buena que con el reto de conseguir que hagan el trabajo extra que requiere ponerla en práctica (Centola, 2018, p. 137). Sabemos (Elliot, 1991; Opfer y Pedder, 2011) que, para enfrentarse a este cambio por primera vez, los maestros necesitan mucha ayuda, tiempo y sentirse cómodos y confiados.

En esta fase, nuestro equipo ofrecerá un apoyo sin condiciones, que se concreta en: *a)* llevar a cabo tutorías para los maestros que lo deseen, revisando las secuencias y ayudando a preparar el material para los alumnos (planificación colaborativa); *b)* asistir como ayudantes durante todas las sesiones de su intervención, que serán grabadas para la reflexión posterior sobre la práctica (Olin y Ingerman, 2016); y *c)* medición del cambio en el aprendizaje y actitudes de los alumnos. Los maestros necesitan pruebas de que su esfuerzo se traduce en mejores resultados en el aprendizaje y actitudes de sus alumnos. Aun así, les advertiremos de que la medición de resultados solo se hará para documentar el proceso, pero que solo será fiable cuando se hayan apropiado de la secuencia, lo que, como norma razonable, suele conseguirse tras la segunda vez, al menos, que se repite. Los primeros resultados sobre el aprendizaje y la dinámica del aula son indiciarios, tentativos, y solo han de servir para el análisis interno para mejorar. No obstante, aunque será en la tercera fase donde se consideren los resultados de los maestros, es necesario aportar algunas evidencias, desde el principio, de la mejora que supone para los alumnos el cambio que se propone (Clarke y Hollingsworth, 2002; Singer et al., 2011; van Driel et al., 2012; Kyriakides et al., 2009 y 2014).

Los indicadores para valorar el éxito de esta segunda fase los hemos concretado a partir de uno de los modelos más citados en formación docente (Clarke y Hollingsworth, 2002):

- *Algunos maestros llevan a cabo las secuencias* problematizadas y generan una dinámica indagatoria en sus aulas (ellos lo llaman «dominio de la práctica y resultados») que sirve, además, para que otros compañeros aprovechen su experiencia.
- *Grado en que esos maestros se han sentido cómodos y seguros frente al cambio, y expresan actitudes positivas y «ganas de más»* («dominio personal»).
- Por último, trataremos de «valorar» la *satisfacción de familias y equipo directivo* ante los cambios. Como hemos dicho, además, prestaremos atención –mediante anotaciones en cuaderno de campo y reflexiones del equipo– a identificar factores que, en una escuela determinada, faciliten u obstaculicen el cambio didáctico (dominio externo).

Fase 3: Reflexión sobre la práctica y afianzamiento: segunda puesta en práctica por parte de los maestros

En la fase previa, algunos maestros habrán desarrollado en distintos niveles secuencias problematizadas y se dispondrá de una secuencia de secuencias con complejidad creciente desde 1.º hasta 6.º curso de primaria sobre una de las grandes ideas de las ciencias. También dispondremos de los primeros resultados de los alumnos, de grabaciones sobre la actividad en el aula y de las entrevistas a los maestros implicados. Es el momento de repetir las secuencias introduciendo mejoras a partir de la práctica. Para ello, desarrollaremos un seminario (dos horas por semana) para recordar las secuencias y analizar colectivamente cortes de videos de clase seleccionados para reflexionar sobre la actividad de los alumnos y la intervención de los maestros. Esperamos que en estos seminarios participen maestros de distintos ciclos (al menos cada maestro que enseñe ciencias debería conocer el hilo conductor de las secuencias y lo que se hace inmediatamente antes y después con sus alumnos) y que faciliten que los maestros lleven a la práctica, por segunda vez, la secuencia correspondiente con un mayor dominio conceptual y metodológico, es decir, con una mayor autoconfianza (Reiser, 2013). También deberían servir para incorporar a la innovación nuevos compañeros que no participaron en las fases anteriores. Nuestro objetivo es que en esta fase se lleven a cabo secuencias problematizadas dentro del mismo hilo conductor en cada uno de los cursos —o, al menos, en cada ciclo— de primaria de un modo coherente, con complejidad creciente y coordinado. Tanto en esta fase como en la anterior se requieren cambios en la organización del centro: las secuencias por indagación requieren tiempo y continuidad, no clases de cincuenta minutos. Los indicadores de éxito en esta fase serán:

- Disposición a realizar los cambios organizativos que favorezcan la innovación.
- Valoración de la utilidad de las sesiones del seminario por los asistentes y el equipo universitario.
- Análisis de la dinámica del aula mediante una red de análisis durante varias clases.
- Autoevaluación del maestro implicado mediante entrevista semiestructurada.
- Resultados del aprendizaje de los alumnos de los maestros que desarrollen una secuencia problematizada por segunda vez. Para valorar este aspecto, utilizaremos cuestionarios pretest/postest y comparación con grupos de control que hayan impartido el contenido tratado.

Fase 4: Sostenibilidad y extensión

Imaginamos esta fase como una situación en que algunos maestros han incorporado la secuencia problematizada de una duración aproximada de diez horas a su forma de enseñar ciencias (la han puesto en práctica dos o tres veces, con los cambios organizativos y metodológicos que conlleva) y demandan formación sobre nuevas secuencias (iniciar otro «hilo argumental» sobre otra gran idea de la ciencia). Habrá suficientes maestros implicados para que los alumnos del centro puedan recibir una enseñanza problematizada con continuidad y progresión a lo largo de la etapa primaria sobre la gran idea de la ciencia tratada en el proceso de cambio didáctico.

Pero ¿cuál sería el número de maestros mínimo comprometidos con la enseñanza de las ciencias por indagación para que podamos considerar como consolidado el cambio didáctico en las escuelas en las que ha intervenido nuestro equipo? ¿Es necesario continuar la intervención hasta que *todos* enseñen de esa manera? ¿Las resistencias al cambio de algunos revertirán lo logrado en el grupo de maestros comprometidos con el cambio, retornando a la situación inicial? ¿El grupo de maestros comprometidos podrá lograr que la innovación sea considerada como la «forma deseable» de enseñar y se extienda casi unánimemente en la escuela?

Estas preguntas entran de lleno en el objetivo de los modelos teóricos sobre el cambio en las convenciones sociales, utilizados por matemáticos, economistas y sociólogos. Estos modelos han mostrado que, si un grupo minoritario comprometido con una causa alcanza un determinado porcentaje de la población (llamado «punto de ruptura» o «masa crítica»), se generan dinámicas de cambio social que llevan a la adopción ampliamente mayoritaria de una nueva convención social, incluso contraria al comportamiento anteriormente establecido. Aunque el valor de la masa crítica puede variar según el comportamiento que se desee cambiar (y la forma de enseñar ciencias es un comportamiento complejo) y las características del grupo social, Centola et al. (2018) en la contrastación empírica de su modelo teórico encuentran un punto de ruptura (masa crítica o *tipping point*) del 25 % y en la revista *Science* afirman lo siguiente:

Nuestros resultados sugieren que en contextos organizativos –donde los límites de la población estén relativamente bien definidos y exista un deseo claro y recompensas que favorezcan la coordinación entre iguales– los procesos de cambio en las convenciones sociales se ajustan bastante bien a las dinámicas de masa crítica (Centola, 2018, p. 1118).

Su estudio se extiende a procesos en que inicialmente la mayoría tiene una preferencia clara por la convención establecida inicial (por la enseñanza habitual), lo que denominan «atrincheramiento», y demuestra que si la «ganancia» que recibe la minoría comprometida con el cambio (con la enseñanza por indagación) supera la recibida por la mayoría, el punto de ruptura permanece cercano al 25 %.

Las ideas anteriores justifican nuestra hipótesis de que si en una escuela se genera una masa crítica de profesores que enseñe ciencias por indagación, que se sienta recompensada por su esfuerzo y se favorezca la coordinación entre iguales, dicho modelo terminará por extenderse a una amplia mayoría de los profesores que enseñan ciencias. Por supuesto, la implicación de la dirección para propiciar esa «recompensa» será necesaria para alcanzar el punto de ruptura. Hemos seleccionado situaciones que pueden hacer que los maestros comprometidos con el cambio se sientan reforzados personal y socialmente («recompensados») en la tabla 1.

Tabla 1.
Aspectos que favorecen la consolidación de una masa crítica
de maestros que han cambiado didácticamente en una escuela

Ámbitos	
Satisfacción personal con el propio trabajo	– Mejores resultados de aprendizaje y actitudinales en sus alumnos y satisfacción de las familias – Autopercepción más creativa de su labor docente – Sentirse partícipe de un plan de enseñanza coherente y progresivo, y de un equipo que está trabajando igual que él
Organización del centro y administración educativa	– Su trabajo es valorado por la dirección – La dirección facilita los cambios organizativos (modificación de horarios y/o espacios; asignación de la enseñanza del área a los profesores comprometidos) – Se destinan recursos a la adquisición del material necesario para la enseñanza de las ciencias por indagación – Se destina tiempo incluido en el horario de los maestros para reuniones y seminarios – La inspección escolar apoya la innovación – Favorece la autonomía del centro en el desarrollo de la innovación educativa – Favorece la proyección profesional de los maestros implicados y del centro
Proyección profesional	– Participación en jornadas o congresos, presentando lo hecho en sus aulas – Transmitir su experiencia a otros colegas y, especialmente, a futuros maestros

En estas condiciones, teniendo en cuenta que el cambio didáctico es un cambio complejo en el comportamiento, adoptaremos el criterio conservador de considerar como masa crítica un tercio de los maestros que pueden enseñar ciencias (exceptuando los especialistas que solo imparten una asignatura). Así pues, nuestro proyecto de cambio didáctico sería exitoso y eficaz, si se consigue que un 33 % de los maestros (4, si existen dos líneas de primaria) lleven a la práctica secuencias problematizadas durante dos o más cursos escolares, empleando al menos un 20 % de las horas de la asignatura de Ciencias de la Naturaleza. Además, la extensión lógica, si el cambio ha tenido éxito, supondrá que los maestros implicados y la dirección deseen ampliar la colaboración con el equipo universitario tratando nuevas secuencias que completen el currículo. En ese nuevo proceso, es posible incorporar otro centro para aprovechar la experiencia adquirida por los maestros del primer centro.

1.ª FASE: DEL PLAN A LA PRÁCTICA

Partimos de la dificultad de convencer a los maestros de que lleven a la práctica propuestas que «vienen de fuera». Así pues, un primer paso (fase 1) consistirá en crear un clima de confianza entre ambos equipos (el de maestros y el del equipo universitario), ofreciendo toda la formación y ayuda para mostrar que el cambio es posible y deseable (generar expectativas positivas) y conseguir el compromiso de algunos maestros para llevar a cabo las propuestas en sus aulas.

Estableciendo relaciones de colaboración

El proyecto se ha llevado a cabo en dos escuelas, A y B, y el contacto inicial se produjo por conocimiento entre personas de los equipos docente e investigador en B y por petición del director en A, tras unas jornadas organizadas por la inspección educativa en las que dos maestros del centro B presentaron los resultados de sus alumnos. El centro A es público y el nivel socioeconómico y cultural de las familias es entre medio y medio-bajo. El B es concertado y el nivel socioeconómico y cultural es medio. Ambos centros tienen una dirección que ejerce un liderazgo fuerte, y proponen y gestionan iniciativas para la mejora de la docencia.

Llevamos a cabo reuniones formales con la dirección, y posteriormente, con todo el claustro, donde presentamos nuestro proyecto. Mostramos el itinerario de secuencias elaboradas (de 1.º a 6.º curso) sobre *¿Cómo están hechas todas las cosas por dentro? ¿En qué se parecen y en qué se diferencian?* dentro del bloque «Materia y Energía» del Currículo Oficial para la etapa de Educación Primaria (véase anexo 1). Además, explicamos las fases de nuestro plan de cambio didáctico y presentamos pruebas de resultados puntuales obtenidos en secuencias ya probadas con anterioridad en otras escuelas.

Después de varias reuniones, los directores se mostraron muy interesados por incorporar la innovación a las aulas y mejorar las carencias que tenían (lectura del libro de texto; «cosas sueltas»; falta de formación y conocimientos sobre determinados temas de ciencias). Ante la buena acogida, establecimos compromisos por ambas partes: los maestros del centro asistirían a un curso de formación gratuito sobre el itinerario de secuencias previamente presentado, y, más tarde, los interesados, de manera voluntaria, llevarían a cabo las secuencias con sus alumnos; por nuestra parte, además del curso, ofreceríamos la ayuda necesaria (dentro y fuera del aula) para que la innovación se llevara a la práctica. Además, ambas escuelas se comprometieron a permitir al equipo universitario realizar pruebas a los alumnos y grabar las clases. Para ello, se comunicó a los padres lo que se iba a hacer y se pidió su consentimiento por escrito. En ambos casos, se firmó un convenio con la universidad, revisado por los servicios jurídicos, donde se hicieron constar todos los términos del acuerdo.

El curso de formación

De manera resumida, la finalidad del curso era que los maestros mejoraran sus conocimientos conceptuales, metodológicos y actitudinales, «viviendo en propia carne» secuencias de enseñanza por indagación (iguales a las que se desarrollarán en clase) desde 1.º a 6.º curso, para que pudieran poner en práctica, por primera vez, alguna de esas secuencias. Y pretendíamos, también, que sirviera para que tomaran conciencia de que la enseñanza de las ciencias puede ser apasionante cuando se hace con sentido y preparación adecuados (incluso el bloque de contenidos sobre «Materia y Energía» que, según los maestros, era el más «odiado»). Se diseñó teniendo en cuenta la literatura didáctica especializada e inspirado en otros programas de formación (Harrison et al., 2008; Harlow, 2014).

Para generar un itinerario coherente y progresivo de enseñanza, el curso se inició planteando una gran pregunta o problema sobre una de las grandes ideas de la ciencia que están en los bloques del currículo oficial. En nuestro caso ha sido: *¿Cómo están hechas todas las cosas? ¿En qué se diferencian? ¿En qué se parecen?*, que constituye un hilo argumental que permite desarrollar una buena parte de los contenidos del bloque «Materia y Energía» (además, de contenidos de Matemáticas y de Lengua). En total, estaban previstas seis secuencias problematizadas (anexo 1), diseñadas para los niveles desde primero hasta sexto curso.

El curso se desarrolló en un ambiente problematizado, en el que las secuencias se iniciaron a partir de preguntas o problemas con sentido para los niños de un determinado nivel y que, al mismo tiempo, suponían un avance progresivo en el gran problema o hilo argumental elegidos. Los asistentes, organizados en pequeños grupos y dirigidos por uno de los autores, pensaban y discutían sobre las actividades de cada secuencia y ponían en común sus respuestas y reflexiones. Se comenzó por los primeros niveles hasta llegar a 5.º y 6.º curso. En las puestas en común hubo oportunidades para el aprendizaje conceptual de los contenidos (algo necesario) y para reflexionar sobre las prácticas científicas. Cada secuencia fue acompañada de una propuesta de «cuaderno científico» para los alumnos.

Para ambas escuelas, los cursos, de 40 horas de duración, se desarrollaron en horario no lectivo. En el caso de la escuela A, asistieron 16 maestros de primaria y se realizó en las dos primeras semanas del mes de julio de 2019. Para la B, el curso se desarrolló en las tardes del mes de septiembre de 2017 y asistieron 13 maestros.

Valoración del curso de formación

Utilizamos un cuestionario con tres partes: una de ellas era una valoración mediante una escala Likert de 1 a 5 de diferentes aspectos del desarrollo del curso (sobre el profesorado, interés de los contenidos, conocimientos adquiridos...; Carrascosa et al., 1993). En la segunda parte se pidió a los asistentes que seleccionaran en una lista de emociones aquellas que hubieran sentido durante el curso; y en la tercera, se les preguntó sobre posibles dificultades para poner en práctica alguna/s de las secuencias del curso y su disposición para hacerlo. El cuestionario fue cumplimentado de forma individual y anónima.

En la tabla 2 mostramos los resultados de la valoración del curso intensivo. No hubo diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las medias de ambas escuelas en ningún ítem (analizados con el estadístico t de Student para la diferencia de medias de muestras independientes).

Tabla 2.
Valoración del curso de formación intensiva

Valora de 1 a 5 los siguientes ítems (1=muy negativo; 5=muy positivo)	ESCUELAS			
	A (n=16)		B (n=13)	
	$\bar{x}$	Sd	$\bar{x}$	Sd
1. Interés de los contenidos tratados	4,7	0,6	4,5	1,2
2. Coherencia entre objetivos propuestos y metodología	4,7	0,5	4,9	0,3
3. Funcionamiento general del grupo (clima del aula)	4,5	0,6	4,7	0,8
4. Relación tiempo-contenido	3,8	0,9	4,5	0,5
5. Dominio de contenidos por parte del profesor	4,9	0,2	5	0
6. Claridad en las explicaciones del profesor	4,8	0,4	5	0
7. Método del profesor para desarrollar las secuencias	4,7	0,6	4,8	0,6
8. Capacidad del profesor para aumentar mi interés en la enseñanza de las ciencias por indagación	4,6	0,7	4,8	0,6
9. Aprendizaje de contenidos científicos (para mí)	4,4	0,9	4,4	1
10. Aprendizaje sobre cómo enseñar ciencias por indagación	4,5	0,6	4,3	0,8
11. Explicitación de los objetivos específicos de las secuencias	4,6	0,5	4,8	0,4
12. Consecución de los objetivos de las secuencias	4,4	0,6	4,7	0,6
13. Secuencias de actividades (estructura, interés...)	4,6	0,6	4,7	0,6
14. Orientación (hilo conductor)	4,4	0,7	4,5	0,7
15. Adecuación de secuencias y materiales incluidos	4,7	0,5	4,8	0,4
16. Aplicabilidad de secuencias	4,4	0,7	3,8	0,8
17. Interés por introducir secuencias por indagación en el aula	4,6	0,5	4,5	0,7
18. Interés por poner en práctica las secuencias desarrolladas	4,3	0,8	4,4	0,7
19. Ganas de continuar en el proyecto	4,3	0,7	4,4	0,7
20. Grado utilidad de las sesiones	4,4	0,6	4,4	0,7
21. Forma en que se ha desarrollado el curso	4,8	0,4	4,7	0,5
22. Valoración global del curso	4,7	0,5	4,8	0,4

Como se ve, los maestros consideraron que se habían cumplido los objetivos y que hubo coherencia entre lo que se pretendía y la metodología empleada para desarrollarlo.

La valoración media sobre las secuencias y su aplicabilidad en el aula (ítems 11 a 16) fue superior a 4,3 puntos sobre 5, por lo que es claramente positiva. Creemos que el centro B valoró la aplicabilidad de lo hecho (ítem 16) más bajo que el A porque estaban preocupados por la falta de espacio y materiales (por ejemplo, no disponían de instrumentos de medición y la superficie/alumno era realmente escasa). Pese a ello, su valoración global no difiere de la hecha por los maestros de la escuela A.

El curso ha supuesto una mejora en sus conocimientos sobre el contenido referido al hilo argumental sobre *Cómo están hechas todas las cosas por dentro*, y al mismo tiempo sobre cómo enseñar ciencias por indagación (ítems 9 y 10). Su interés por introducir alguna/s de las secuencias en sus clases y continuar en el proyecto fue elevado (ítems 17 a 20). Al finalizar, ya de manera informal, muchos maestros comentaron que la formación recibida era fundamental para poder llevar las secuencias al aula (se sienten más seguros en el «dominio» de contenidos científicos).

a) Emociones sentidas

Recientes investigaciones han puesto de manifiesto las relaciones entre las emociones y el proceso de enseñanza-aprendizaje (Zembylas, 2004; Marbá y Marquez, 2010; Mellado et al., 2014; Martínez-Torregrosa et al., 2018). Por ello, se les mostró una lista con algunas de las emociones básicas que sienten los maestros ante la enseñanza y aprendizaje de las ciencias y se les pidió que seleccionaran las sentidas durante el curso.

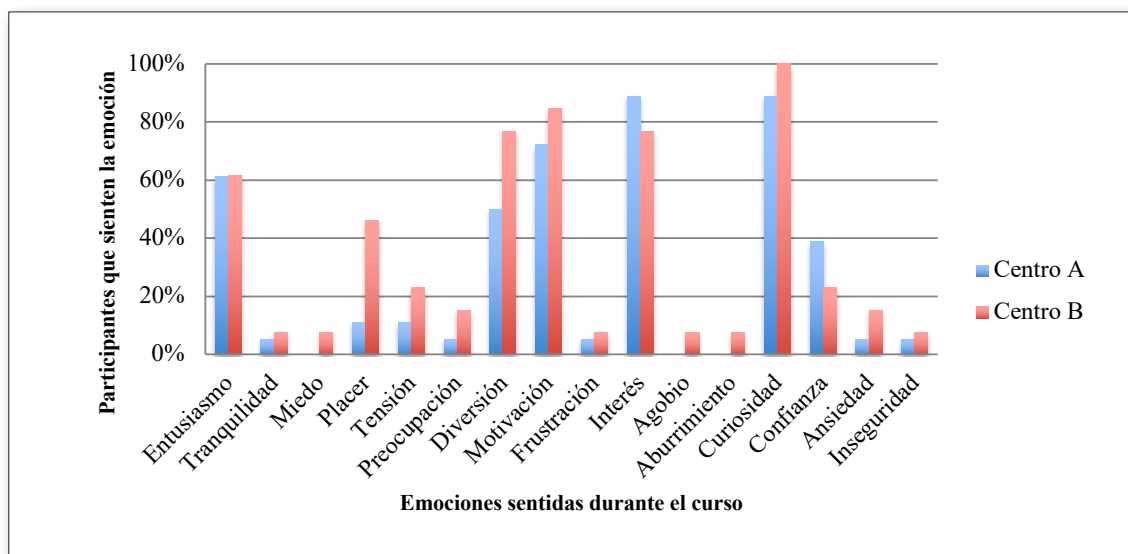


Fig. 1. Emociones sentidas por los participantes en el curso de formación (40 horas).

En la figura 1 se ve que las mismas emociones positivas fueron sentidas por más del 60 % de los participantes, y menos de un 10 % expresó haber sentido alguna de las negativas.

Los resultados de la tabla 2 y de la figura 1 son indicadores de que los maestros se han «sentido bien» y, sobre todo, de que han visto sentido a lo que estaban haciendo y experimentando una sensación de avance. Nuestra interpretación coincide con las afirmaciones de Cleaves (2005) y Jenkins (2006): cuando los maestros aprenden «de verdad» algo y es útil para su trabajo experimentan emociones y expectativas positivas. El desarrollo del curso, en un ambiente problematizado coherente con la innovación que se pretende llevar a las aulas, ha generado curiosidad y ganas de continuar (existe correlación entre el clima, la participación de «los alumnos» en el curso y lo que aprenden).

b) Dificultades o necesidades

Al final del curso de formación, identificaron dificultades que tendrían «ellos» para poner en práctica alguna de las secuencias tratadas y las que tendrían «otros compañeros» (que no participaron en el curso). De este modo, «personalizando y despersonalizando», esperábamos obtener una información más fiable sobre las dificultades.

Tabla 3.

Dificultades para poner en práctica una secuencia de enseñanza problematizada, al finalizar el curso de formación (f: n.º de maestros que expresan una dificultad)

	<i>Referidas a ellos mismos</i>				<i>Referidas a maestros no participantes</i>			
	<i>Escuela A (n=16)</i>		<i>Escuela B (n=13)</i>		<i>Escuela A (n=16)</i>		<i>Escuela B (n=13)</i>	
	<i>f</i>	<i>%</i>	<i>f</i>	<i>%</i>	<i>f</i>	<i>%</i>	<i>f</i>	<i>%</i>
Falta de implicación personal (actitud, ganas de trabajar)	8	50	8	61	11	69	10	77
Falta de conocimientos científicos	3	19	1	8	7	44	6	46
Influencia del entorno físico	3	19	8	61	0	0	2	15
Falta de tiempo	3	19	3	23	0	0	0	0
Falta de recursos materiales	5	31	8	61	0	0	1	8
Falta de recursos humanos	1	6	0	0	0	0	0	0
Falta de formación	0	0	0	0	9	56	9	69

A pesar de ser una pregunta de respuesta abierta, los resultados son similares en las dos escuelas (tabla 3), excepto en los aspectos relacionados con el entorno físico y recursos materiales, que ya han sido comentados. El factor o dificultad principal sería la implicación actitudinal del profesor: el hecho de dedicar tiempo y esfuerzo fuera de la jornada escolar. Es un obstáculo importante, ya que siempre es necesario el trabajo personal para pasar de un curso de formación al aula. El equipo universitario puede ayudar a crear lo que Hutner y Markman (2017) llaman «representaciones mediadoras», es decir, pueden trabajar para mejorar las limitaciones y aspectos que van a influir en el alcance de una meta. Pero si el maestro no invierte tiempo en preparar lo que va a enseñar (aunque piense que sería la mejor forma de hacerlo), no se va a producir la «activación» de la «meta» (no se llevará a cabo «la acción»), y, por tanto, el cambio nunca se producirá. El resto de dificultades guardan relación con los hallazgos de Harrison et al. (2008): falta de conocimientos científicos y obstáculos circunstanciales.

Estos resultados indican que, si queremos que los maestros lleven a cabo un modelo de enseñanza problematizada en sus aulas, no basta con atender las limitaciones bien conocidas (como la falta de formación y de conocimientos científicos), necesitan «querer», es decir, que su meta profesional sea mejorar su enseñanza, empleando el tiempo y esfuerzo que ello requiera (Hutner y Markman, 2017).

Tras este análisis, podemos afirmar que los indicadores de éxito de la primera fase del plan se han conseguido en ambas escuelas.

DEL CURSO DE FORMACIÓN AL AULA

2.ª fase: sesiones de recuerdo y preparación, 1.ª puesta en práctica

De los 13 maestros del centro B que asistieron al curso, se ofrecieron 6 para poner en práctica alguna de las secuencias desarrolladas y ser grabados. Ninguno se sintió dispuesto a hacer las secuencias previstas para el tercer ciclo, así que acordamos que lo haríamos nosotros con la presencia de los maestros que quisieran llevarlas a la práctica posteriormente. Aunque el curso de formación estaba reciente, antes de la primera puesta en práctica, en el centro, se realizaron dos sesiones de dos horas/secuencia con los maestros del ciclo para repasar la secuencia, resolver dudas y preparar algunos materiales para los

grupos. En todo momento hubo un ambiente de colaboración; no obstante, la grabación de toda una secuencia de enseñanza es una intervención invasiva e incómoda, por lo que se notaba preocupación. Pese a ello, solo una persona rehusó, finalmente, llevar a la práctica la secuencia, alegando que no se la había preparado. Cinco maestros desarrollaron alguna de las secuencias previstas, en seis grupos, desde 1.º a 4.º. Dos de las autoras (maestra y bióloga, respectivamente) enseñaron las secuencias sobre densidad en dos grupos de 6.º y sobre carga eléctrica en un grupo de 5.º y otro de 6.º. La dirección facilitó los cambios horarios para que se pudieran hacer sesiones de 1,5 o 2 horas, dos o tres veces por semana, hasta acabar la secuencia. La duración media fue de 13,5 h/secuencia. Los alumnos, hasta 4.º, fueron entrevistados (los más pequeños) o respondieron a un cuestionario escrito antes y después (al menos una semana) de la enseñanza. En los grupos de 5.º y 6.º se les pasó un cuestionario pretest-postest y se comparó con las respuestas de grupos de control de otro centro concertado de nivel socioeconómico superior.

Los maestros fueron entrevistados al finalizar, con un cuestionario estructurado para detectar sus reflexiones y emociones tras la primera y la segunda puesta en práctica (al curso siguiente) para ver la evolución. Las entrevistas fueron grabadas (en audio) y transcritas para su comparación. En ellas, los maestros afirmaron su convencimiento de que «así aprenden de verdad», que «estaban muy nerviosos por si lo hacían mal» y que «así debería ser toda la enseñanza». Todos expresaron que lo repetirían al próximo curso. En las interacciones informales con los padres les llegaban señales muy positivas. La dirección entregó una circular para los padres de 73 alumnos en la que –de un modo genérico– se les preguntaba si conocían las innovaciones que se estaban llevando a cabo en la clase de sus hijos, cómo habían tenido conocimiento de ellas y si habían notado algún comportamiento no habitual en sus hijos relacionado con las innovaciones. El retorno fue de 48 cuestionarios y todos menos uno (que se refirió a la colocación de nuevas perchas) mencionaron la innovación en la enseñanza de las ciencias, y un 81 % manifestó que sus hijos habían mostrado mayor implicación, interés, alegría y/o mejor aprendizaje (considerado, entre otros, indicador de éxito de esta segunda fase del plan).

En la escuela A, que empezó en el curso 2019-2020, se ofrecieron 12 maestros. Antes del confinamiento por la epidemia, se habían puesto en práctica –y grabado– una secuencia por indagación por las cuatro maestras de primer ciclo. Por razones obvias, no tenemos datos completos, pero está previsto continuar en cuanto sea posible.

3.ª fase: seminarios de revisión y reflexión sobre la práctica, 2.ª puesta en práctica, resultados de los alumnos y un nuevo itinerario de secuencias

El primer desarrollo de las secuencias en la escuela B fue seguido de seminarios de dos horas por semana, los viernes por la tarde, durante tres meses y medio (28 horas). Se invitó a todos los maestros que quisieran participar, además de los 5 «comprometidos», y se comunicó la conveniencia de que conocieran lo que se había hecho con sus alumnos un curso anterior y lo que se haría un curso después. Participaron asiduamente 10 maestros. Se comenzaba recordando conjuntamente el hilo argumental que daba coherencia al itinerario de enseñanza y la secuencia concreta que se iba a tratar. A continuación se presentaban cortes de vídeo (seleccionados por mostrar algún episodio importante) del desarrollo de la secuencia y se invitaba a expresar qué les parecía la actividad de los alumnos y del maestro y cómo mejorarlas. Fueron verdaderas sesiones de (co)construcción de comportamientos (Garet et al., 2001; Reiser, 2013). Las reticencias iniciales a «ser criticado» desaparecieron rápidamente debido al clima de «aprender y mejorar entre todos».

Un primer resultado de estos seminarios fue la identificación por los propios maestros de deficiencias *que se repiten* –lo que facilita la formación– en *todas* las secuencias en la *primera* puesta en práctica:

- No dejar tiempo a los grupos de alumnos para pensar en una posible respuesta o plan lógico. No favorecer que salgan distintas respuestas (se fijan solo en la respuesta que esperan: «la primera que sea correcta»). Ignorar algunas ideas de los alumnos porque no han previsto qué hacer con ellas.
- Anticipar el contenido de actividades antes de llegar al momento adecuado. Tienen muy arraigada su forma de enseñar: les cuesta no decir lo que saben o no dar inmediatamente la respuesta a una duda o pregunta. Les cuesta «esperar» y no invitan a los alumnos a formar parte de la indagación.
- No tener interiorizado el hilo conductor, la pregunta que orienta lo que se está haciendo. No hacer recordar a los alumnos con frecuencia esa pregunta y el plan que se está siguiendo para tratar de responderla. Es decir, utilizan las secuencias problematizadas como una serie de actividades inconexas, de tareas, que «hay que hacer», no las relacionan y conectan.
- Aún presentan algunos errores conceptuales o terminológicos sobre el tema específico.
- Falta de preparación. Los propios maestros reconocían que, en la mayoría de las ocasiones, es la causa de las situaciones anteriores.

Después de los seminarios de seguimiento y mejora, nuestra *impresión* fue que se había producido un cambio cualitativo en la preparación de los maestros, que debía confirmarse con una forma de enseñar coherente con la enseñanza por indagación y con los resultados de sus alumnos. Uno de los maestros comprometidos no continuó por motivos personales, pero se incorporó una maestra que solo había participado en los seminarios de seguimiento. No obstante, aumentó el número de grupos y tiempo en que se enseñó ciencias por indagación, como se avanza en la tabla 4.

Tabla 4.
Evolución de la enseñanza por indagación en las diferentes fases del plan

	Maestros que enseñan ciencias	Maestros que hacen 1.ª puesta en práctica	Maestros participantes en seminario (28 h)	Maestros que hacen 2.ª (o más) puesta en práctica	N.º grupos de innovación (sobre 12)	N.º horas medio y % de ciencias por indagación en los grupos de innovación (sobre 56 h)	Participantes en nuevo curso de formación sobre otro itinerario de secuencias	RESULTADOS ALUMNOS Cuestionario pre/ post ¿Diferencias significativas (p < 0,05)?
2.ª FASE 2017-18	9	5			6 + 4*	13,5 h 24 %		Sí*
3.ª FASE 2018-19	7	1	10	4	8	13,5 h 24 %	18 (en julio de 2019)	Sí
4.ª FASE** 2019-20 (Incorporación nuevo itinerario de secuencias)	8	2		6	12	25,5 h 45,5 %	Solicitada continuidad en la formación	

*Impartidos por dos de las autoras. Cuestionarios post/post a grupos experimentales y de control. **Debido a la COVID-19 los datos son los *previstos* para ese curso.

Uno de los autores analizó el desarrollo de cuatro horas de clase en cada grupo con la red de análisis que se muestra en el anexo II, adaptada del proyecto europeo Fibonacci (Bergman et al., 2012). Cada

ítem fue valorado con «No aplicable / NO/ SÍ»; y, en caso de SÍ, con 1 (puntualmente, alguna vez), 2 (frecuentemente) y 3 (forma parte de su forma de enseñar). Los cambios, respecto a la forma habitual de enseñar, fueron muy positivos y profundos en todos los casos de 2.^a puesta en práctica.

Para medir los resultados de los alumnos, se elaboraron indicadores de aprendizaje para cada secuencia, acorde con los objetivos y curso. Se diseñaron cuestionarios que se probaron en grupos piloto para ver si eran adecuados para la edad y nivel lector de los alumnos, y se modificaron para ser utilizados como pretest y postest. Se pasaron una semana antes y una después de la enseñanza. Las respuestas fueron valoradas por dos de los autores separadamente en correctas/incorrectas y dentro de esta división en diferentes categorías. Cuando había preguntas abiertas se calculó el coeficiente Kappa de Cohen y tres meses después el índice Kappa intrajuez. El acuerdo fue superior al 95 %. También se midió el número de ideas con sentido que expresaban los alumnos en sus respuestas a preguntas del tipo «*En clase, hemos tratado... ¿cómo le explicarías a un amigo que no ha estado en clase las ideas más importantes sobre...?*», para valorar la apropiación y el avance lingüístico que supone el aprendizaje logrado. Las diferencias fueron significativas (con χ^2 ; $p < 0,05$) en todas las secuencias (tabla 4) enseñadas por los maestros por segunda vez y en una enseñada por primera vez (sobre densidad).

Las entrevistas estructuradas se grabaron una semana después de que cada maestro acabara la secuencia por indagación. Se transcribieron para compararlas con las primeras. Mostramos, a continuación, algunos extractos representativos del ambiente generado por el proyecto de cambio didáctico:

a) Sobre cómo enseñaban antes y cómo lo han hecho ahora

Ana², maestra de 1.º A: «Pues el cambio de metodología ha sido brutal. Desde la organización del aula, antes los niños no estaban en equipo y ahora están en equipo. Es más, desde que empezamos con esto el año pasado ya directamente están conmigo todo el año trabajando en equipo. Y también en cuanto a aprendizaje, es mucho más significativo. [...] De la otra forma, el aprendizaje es más mecánico y repetitivo. En definitiva, todo muy positivo.

Isabel, maestra de 3.º: «El cambio fue más que nada el año pasado cuando lo hice por primera vez [...] Y ves que ha cambiado totalmente, ha sido un giro de 180 grados. Este año no he notado ese cambio porque ya sabía lo que esperaba y ya sabía lo que iba a ser. Yo lo valoro con un 10 sobre 10, un 11 sobre 11 (ríe). Me parece que esta manera de dar ciencias es ideal. Me costó muchísimo la del año pasado, pero me gustó más este año, que me estoy dando más cuenta todavía de la percepción, de cómo lo enseñas, de cómo ellos son capaces de sin mirarlo razonar, de cómo lo verbalizan, la forma de aprender para ellos es mucho más sencilla. [...] Podemos pensar «es más fácil como lo hacíamos antes, tu libro, la explicación y ya está, ahora es más difícil» pero realmente no es más difícil, es diferente, más ameno y te queda como un gusto dulce. De alguna forma es al revés, como más fácil para ti, porque tienes más ganas de dar la clase es mucho más divertido para ellos y para ti».

b) Sobre dificultades sentidas durante el proceso

Marga, maestra de 1.º: «(la primera vez) Estaba con mucha tensión, nervios. Fue divertido y estaba motivada, pero muy agobiada, tenía alguien grabándome y escuchándome. Por supuesto tenía curiosidad por saber qué iba a pasar [...] pero tenía ansiedad e inseguridad, vamos lo tenía todo».

Ana, maestra de 1.º: «(la primera vez) Tensión e inseguridad sí, porque soy una persona que reconozco muy cuadrículada y cuando no domino algo pues estoy en tensión hasta que domino el tema, quizás preocupación. Motivación porque me apetecía mucho y curiosidad e interés. Había tensión porque tenía la

2. Los nombres no se corresponden con los reales.

cámara. Ahora (la segunda vez) ya nos conocemos y os veo como compañeros, me da igual, puedes entrar por la puerta cuando quieras y sin llamar. Pero en un primer momento, tenía la sensación de que me estaban evaluando en una evaluación y siendo algo externo que no os conozco, yo estaba tensa. Yo tenía tensión por todo eso, una, porque no lo dominaba, otra, vienen de fuera y me están grabando pues no me encontraba cómoda».

Isabel, maestra de 3.º: «La primera vez que lo di, sí que sentía entusiasmo, interés, curiosidad, diversión y motivación. No tenía miedos, tenía un poco de inseguridad sí, puede ser por el hecho de ser la primera y tener que centrarte y adaptarte a cómo lo das. Ahora, en estos momentos no, en estos momentos sería entusiasmo, tranquilidad. [...] Por supuesto te cuesta la primera vez porque es eso, tienes que empezar a darlo, no sabes cómo van a reaccionar, no lo has hecho nunca, y entonces, aunque lo tengas muy preparado no sabes. La primera vez te cuesta, pero yo creo que a partir de la segunda, pues también tienes confianza y coges más soltura».

Francisco, maestro de 5.º: «También es verdad que la primera vez, siempre está la inseguridad de ¿lo haré bien?, me están mirando, ¿qué va a pasar?».

c) Motivos que han influido en que lo llevaran a la práctica por segunda vez

«Lo más útil es la motivación del alumno, los vídeos de los niños y las niñas. Eso fue lo que más me impactó, luego ha estado la reacción de los padres y la mía propia. Pero lo primero ha sido de qué manera han aprendido, de qué manera se han apropiado de todos los conceptos que tú le has enseñado, cómo lo verbalizan, cómo lo escriben en el cuaderno científico, cómo lo saben hacer, cómo hacían los experimentos y grabarlos. Veía como decían: ¡mañana toca naturales! [...]» (Isabel).

Sus preocupaciones tras la primera puesta en práctica fueron muy distintas de las expresadas al final del curso de formación, centrándose en aspectos metodológicos docentes (cómo actuar) y de gestión del aula. Todos coincidieron en la gran importancia de los seminarios de revisión de las secuencias y del análisis de los cortes de vídeo de las clases para superarlas. Tras la segunda puesta en práctica, desaparecen los obstáculos metodológicos porque afirman haber ganado confianza en la forma de planificar la enseñanza (por indagación guiada), y en esta fase la principal «dificultad» es la inversión de tiempo que requiere preparar la intervención, aunque expresan que cada vez será menor. Reconocen que la dirección ha aportado recursos y cambios organizativos para favorecer el cambio.

4.ª fase: sostenibilidad del cambio

Tras los resultados de la 3.ª fase, los maestros y la dirección del centro nos pidieron continuar con otro itinerario de secuencias porque «querían hacer todas las Naturales así». El curso lo hicimos en julio de 2019. Asistieron 18 maestros de la escuela B, e incorporaron las nuevas secuencias a su planificación en el curso 2019-2020, como hemos mostrado en la tabla 4. Todos los maestros que enseñan ciencias llevan a cabo alguna secuencia por indagación en sus aulas, y el tiempo empleado en enseñar de esta forma «Naturales» se ha incrementado enormemente, hasta el 45,5 %. Los propios maestros comprometidos inicialmente forman —en reuniones propiciadas por la dirección— a las «nuevas incorporaciones». Según los datos, podemos afirmar que el cambio en la enseñanza de las ciencias en esa escuela ha sido posible y, creemos, que también irreversible.

CONCLUSIONES

En la primera parte de este trabajo hemos presentado y justificado un plan para conseguir el cambio en la forma de enseñar ciencias en la etapa primaria, a partir de la colaboración entre un equipo universitario y el equipo docente y directivo de las escuelas. La división en fases de este plan y la definición operativa de indicadores de éxito en cada fase busca facilitar la investigación sistemática sobre cómo conseguir el cambio didáctico «de verdad» o, en caso de no conseguirlo, identificar las causas.

En la segunda, hemos mostrado el desarrollo, a lo largo de tres años, de este plan en una escuela. Los datos obtenidos –que hemos mostrado resumidamente– permiten afirmar que el cambio no solo ha sido posible (generalizándose a todos los grupos y maestros que imparten ciencias), sino que muy probablemente se mantendrá y aumentará en el tiempo. La disposición de la dirección del centro y el compromiso inicial de una masa crítica de maestros, la superación de la tensión de la primera puesta en práctica (siendo grabados); los seminarios de seguimiento y mejora (con análisis de cortes de videos de los propios maestros) y los resultados de los alumnos tras la segunda puesta en práctica han sido aspectos fundamentales para el éxito del plan. La acogida de los padres y la promoción del desarrollo profesional apoyada por la dirección e inspección también han contribuido a la consolidación del cambio.

El tiempo empleado por el equipo universitario ha sido realmente grande: más de cien horas, sin contar la elaboración de las secuencias, el tiempo de grabación, la selección y edición de cortes de vídeo y la observación de clases. No obstante, consideramos esta investigación como básica, porque nos ha permitido identificar dificultades que se repiten y aprender cómo superarlas. Esto debe facilitar que el tiempo necesario para que el cambio sea sostenible se reduzca en otras escuelas. De hecho, el tiempo de formación para la incorporación de una nueva secuencia de secuencias, en la escuela B, ha sido bastante menor que para la primera. Actualmente, además, estamos trabajando en cómo usar lo aprendido y las nuevas tecnologías, para extender el cambio con una inversión de tiempo razonable, teniendo en cuenta los hallazgos sobre la difusión de comportamientos complejos en cursos no presenciales (Centola, 2018).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bergman, G., Borda, S., Ergazaki, M., Harlen, W., Kotuláková, K., Pascucci, A., Schoultz, J., Transetti, C. y Zoldozova, K. (2012). *Tools for enhancing inquiry in Science Education*. Obtenido de <https://www.fibonacci-project.eu/companionresources>. Visitada el 01-07-2020
- Cañal, P., Travé, G. y Pozuelos, F. J. (2011). Análisis de obstáculos y dificultades de profesores y estudiantes en la utilización de enfoques de investigación escolar. *Investigación en la Escuela*, 73, 5-26.
- Carrascosa, J., Sánchez, M. A., Benedito, J., Domènech, J. L., Espinosa, J., Llorens, J., Martínez-Torregrosa, J., Sendra, F., Verdú, R., Furió-Mas, C. y Gil, D. (1993). Los programas de formación permanente del profesorado de física y química en la Comunidad Valenciana: Un intento constructivista de formación didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, núm. extra, 47-48.
- Centola D. (2018). *How Behavior Spreads: The Science of Complex Contagions*. Princeton: University Press.
- Centola, D., Becker, J., Brackbill, D. y Baronchelli, A. (2018). Experimental evidence for tipping points in social convention. *Science*, 360(6393), 1116-1119. <https://doi.org/10.1126/science.aas8827>
- Clarke, D. y Hollingsworth, H. (2002). Elaborating a model of teacher professional growth. *Teaching and Teacher Education*, 18, 947-967. [https://doi.org/10.1016/S0742-051X\(02\)00053-7](https://doi.org/10.1016/S0742-051X(02)00053-7)

- Cleaves, A. (2005). The formation of science choices in secondary school. *International Journal of Science Education*, 27(4), 471-486.
<https://doi.org/10.1080/0950069042000323746>
- Constantinou, C. P., Tsivitanidou, O. E. y Rybska, E. (2018). What Is Inquiry-Based Science Teaching and Learning? En *Professional development for inquiry-based science teaching and learning* (pp. 1-23). Cham: Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-91406-0_1
- Elliot, J. (1991). *Action research for educational change*. Filadelfia: Open University Press.
- Fishman, B. J., Marx, R. W., Best, S. y Tal, R. T. (2003). Linking teacher and student learning to improve professional development in systemic reform. *Teaching and Teacher Education*, 19(2003), 643-658.
[https://doi.org/10.1016/s0742-051x\(03\)00059-3](https://doi.org/10.1016/s0742-051x(03)00059-3)
- Garet, M. S., Porter, A. C., Desimone, L., Birman, B. F. y Suk Yoon, K. (2001). What makes professional development effective? Results from a national sample of teachers. *American Education Research Journal*, 38(4), 915-945.
<https://doi.org/10.3102/00028312038004915>
- Harlow, D. B. (2014). An Investigation of How a Physics Professional Development Course Influenced the Teaching Practices of Five Elementary School Teachers. *Journal of Science Teacher Education*, 25(1), 119-139.
<https://doi.org/10.1007/s10972-013-9346-z>
- Harrison, C., Hofstein, A., Eylon, B. y Simon, S. (2008). Evidence-based professional development of science teachers in two countries. *International Journal of Science Education*, 30(5), 577-591.
<https://doi.org/10.1080/09500690701854832>
- Howe, A. C. y Stubbs, H. S. (2003). From science teacher to teacher leader: Leadership development as meaning making in a community of practice. *Science Education*, 87, 281-297.
<https://doi.org/10.1002/sce.10022>
- Hutner, T. L. y Markman, A. B. (2017). Applying a goal-driven model of science teacher cognition to the resolution of two anomalies in research on the relationship between science teacher education and classroom practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(6), 713-736.
<https://doi.org/10.1002/tea.21383>
- Jenkins, E. W. (2006). The student voice and school science education. *Studies in Science Education*, 42, 49-81.
<https://doi.org/10.1080/03057260608560220>
- Kawalkar, A. y Vijapurkar, J. (2015). Aspects of Teaching and Learning Science: What students' diaries reveal about inquiry and traditional models. *International Journal of Science Education*, 37(13), 2113-2146.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1067933>
- Kennedy, A. (2014). Understanding continuing professional development: The need for theory to impact on policy and practice. *Professional Development in Education*, 40, 688-697.
<https://doi.org/10.1080/19415257.2014.955122>
- Kyriakides, L., Creemers, B. P. y Antoniou, P. (2009). Teacher behavior and student outcomes: Suggestions for research on teacher training and professional development. *Teaching and teacher education*, 25(1), 12-23.
<https://doi.org/10.1016/j.tate.2008.06.001>

- Kyriakides, L., van der Werf, G., Creemers, B. P., Timperley, H. y Earl, L. (2014). State of the art –teacher effectiveness and professional learning–. *School Effectiveness and School Improvement*, 25(2), 231-256.
<https://doi.org/10.1080/09243453.2014.885451>
- Lowell, B. R., Cherbow, K. y McNeill, K. L. (2019). *Assessing curriculum for NGSS alignment: Oversimplification of cognitive Load and separation of the three dimensions*. Comunicación presentada en el encuentro anual de NARST. Baltimore, MD.
- Marbá, A. y Márquez, C. (2010). ¿Qué opinan los estudiantes de las clases de ciencias? Un estudio transversal de sexto de primaria a cuarto de ESO. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 19-30.
- Martínez-Torregrosa, J., Limiñana, R., Menargues Marcilla, M. A. y Colomer Barberá, R. (2018). In-depth Teaching as Oriented-Research about Seasons and the Sun/Earth Model: Effects on Content Knowledge Attained by Primary Teachers. *Journal of Baltic Science Education*, 17(1).
- Mellado, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V., Dávila, M. A., Cañada, F. y Bermejo, M. L. (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>
- Olin A. y Ingerman, A. (2016). Features of an Emerging Practice and Professional Development in a Science Teacher Team Collaboration with a Researcher Team. *Journal of Science Teacher Education*, 27(6), 607-624.
<https://doi.org/10.1007/s10972-016-9477-0>
- Opfer, V. D. y Pedder, D. (2011). Conceptualizing Teacher Professional Learning. *Review of Educational Research*, 81(3), 376-407.
<https://doi.org/10.3102/0034654311413609>
- Porlán, R. (2018). Didáctica de las ciencias con conciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(3), 5-22.
- Reiser, B. J. (2013). What professional development strategies are needed for successful implementation of the Next Generation Science Standards? Comunicación presentada en *Invitational Research Symposium on Science Assessment*. Washington DC.
- Ritchie, S. M. (2012). Leading the transformation of learning and praxis in science classrooms. En *Second international handbook of science education* (pp. 839-849). Dordrecht: Springer.
- Singer, J., Lotter, C., Feller, R. y Gates, H. (2011). Exploring a model of situated professional development: Impact on classroom practice. *Journal of Science Teacher Education*, 22, 203-227.
<https://doi.org/10.1007/s10972-011-9229-0>
- van Driel, J. H., Meirink, A., van Veen, K. y Zwart, R. C. (2012). Current trends and missing links in studies on teacher professional development in science education: a review of design features and quality of research. *Studies in Science Education*, 48(2), 129-160.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2012.738020>
- Zembylas, M. (2004). Emotional issues in teaching science: A case study of a teacher's views. *Research in Science Education*, 34(4), 343-364.
<https://doi.org/10.1007/s11165-004-0287-6>

ANEXO I

Secuencias de actividades previstas

Problema estructurante (Origen del hilo argumental)	Título/s habitual/es	Título/s en forma interrogativa secuencia de temas/ problemas	
¿Cómo están hechas todas las cosas por dentro? ¿En qué se parecen? ¿En qué se diferencian?	Propiedades específicas	¿En qué se diferencian los materiales?	• ¿De qué material están hechos estos objetos? ¿Podrían estar hechos de otros? (1.º E.P.)
	Propiedades comunes: masa y volumen	¿Todas las cosas que vemos son totalmente distintas o tienen algo en común?	• ¿Cuál pesa más? ¿Cuál ocupa más espacio? (2.º E.P.) • ¿Cómo es el aire? (3.º E.P.) • ¿Cómo medir las propiedades de los objetos (medida)? (4.º-5.º E.P.)
	Densidad	¿Todas las cosas que vemos son totalmente distintas o tienen algo en común?	• ¿Qué material es más «ligero»? ¿Y más «pesado»? (5.º-6.º E.P.)
	Carga eléctrica	¿Todas las cosas que vemos son totalmente distintas o tienen algo en común? (Otra propiedad general: la carga eléctrica)	• ¿Atraer papelitos es una propiedad de todos los materiales? (5.º-6.º E.P.)
	Modelo corpuscular	¿Cómo están formadas las cosas «por dentro»?	• ¿Cómo son los gases (como el aire) «por dentro»? (6.º E.P.)
	Cambio químico*	¿Cómo se explican los cambios o transformaciones que ocurren en la Naturaleza?	• ¿Cómo explicar que haya cambios en que desaparecen sustancias y aparecen otras diferentes? (adecuado para ESO*)

ANEXO II

Red de análisis para el aula (adaptada del Proyecto Fibonacci IBSE)

Sección A: Interacciones profesor-alumnos			
	<i>Elementos</i> (Pr= profesor; Als= alumnos)	<i>Ejemplos</i>	<i>Valoración</i>
1. Teniendo en cuenta las ideas de los alumnos	1a El Pr hace preguntas para que los Als puedan expresar las ideas que tienen		NA/ NO / SÍ (1, 2, 3)
	1b El Pr ayuda a los Als a formular sus ideas con claridad		
	1c El Pr da a los alumnos un refuerzo positivo sobre cómo revisar sus ideas o alude a ellas más adelante		
2. Apoyando las investigaciones de los alumnos	2a El Pr anima a los Als a realizar predicciones		
	2b El Pr implica a los Als en la planificación de la investigación		
	2c El Pr anima a los Als a que comprueben sus resultados		
	2d El Pr ayuda a los Als a tomar notas y a recoger los resultados de manera sistemática		
3. Orientando a los alumnos en el análisis y las conclusiones	3a El Pr le pide a los Als exponer sus conclusiones		
	3b El Pr le pide a los Als que comprueben que sus conclusiones se ajustan a sus resultados		
	3c El Pr pide a los Als que comparen sus conclusiones con sus predicciones		
	3d El Pr pide a los Als que traten de dar razones o explicaciones a lo que han encontrado en la investigación		

Sección B: Actividades de los alumnos			
	<i>Elementos</i> (Pr= profesor; Als= alumnos)	<i>Ejemplos</i>	<i>Valoración</i>
4. Llevando a cabo las investigaciones	4a Los Als trabajan sobre preguntas que ellos mismos han planteado, o que sienten como propias, aunque hayan sido presentadas por el Pr		NA/NO/ SÍ (1, 2, 3)
	4b Los Als hacen predicciones basadas en sus ideas		
	4c Los Als participan en la planificación de la investigación		
	4d Los datos obtenidos permiten a los Als comprobar sus predicciones		
	4e Los Als consideran sus resultados con relación a sus preguntas		
5. Trabajando con los demás	5a Los Als colaboran cuando trabajan en grupo		
	5b Los Als entablan discusiones sobre sus investigaciones y explicaciones		
	5c Los Als exponen su trabajo al resto de la clase		
	5d Los Als escuchan a los otros durante la comunicación de resultados		
	5e Los Als toman algún registro de lo que han hecho y lo que han hallado		

Is it feasible to change science teaching in primary education?

Carolina Nicolás Castellano, Rubén Limiñana Morcillo, Asunción Menargues Marcilla,

Sergio Rosa Cintas, Joaquín Martínez Torregrosa

Departamento de Didáctica General y Didácticas Específicas e Instituto Universitario de Física Aplicada

a las Ciencias y la Tecnología, Universidad de Alicante, Alicante, España

carolina.nicolas@ua.es, ruben.lm@ua.es, a.menargues@ua.es, sergio.rosacintas@ua.es, joaquin.martinez@ua.es

In primary science education research, there are several comprehensive bodies of results suggesting models for the practice of teaching and learning about science –like inquiry-based science education–. However, there are few studies in Europe that describe interventions or professional development processes that help teachers to integrate the results of current didactic research into the classroom; the main reason for this is that this is not an easy task. In fact, there is much more research and professional development courses with pre-service teachers than with in-service teachers. However, achieving didactic change in teachers, as well as getting an improvement in student learning outcomes and their attitudes towards science is expected to be more effective with in-service teachers, because they may be examples that will influence initial training. Therefore, our goal is to focus on how to achieve «practice» science teaching as inquiry.

To achieve such a change in teaching practices, we must get primary teachers to modify their behaviour, that is, to achieve a didactic/professional change. Because of that, it is obvious that teachers need help, time, and collaborative environments where there is support between researchers and science primary teachers. Given that this is a difficult issue with numerous obstacles, in order to learn and draw conclusions we have focused the research on case analysis: the study of a school or a group of teachers whose characteristics, conditioning factors and actions can be followed and analysed. We must define, in an operative way: *a)* what we want to achieve; *b)* the plan foreseen for its achievement (phases that can be analysed); *c)* how will we evaluate the success of the plan, and *d)* when will we consider that an effective and sustainable didactic change has been achieved in a school.

In this paper we present and justify a plan, from the collaboration between a university research team and the teaching and management staff of a school (drawing on didactic literature and on the critical mass theory) to achieve a change in primary science education. The plan is arranged into the following phases: 1) initial contact and generation of positive expectations towards the change; 2) first implementation of the innovation by the teachers; 3) reflection and reinforcement (second implementation by the teachers); 4) sustainability and extension of the didactic change. The division of this plan into phases and the operational definition of success indicators in each phase seeks to facilitate systematic research on how to achieve «real» didactic change or, if not, to identify the causes.

After presenting the plan, we show the development of the plan in two schools. At one of them, data obtained allow us to affirm that the change has not only been possible, but that it will most likely be maintained and increased over time. At the other school, we are currently working on the second and third phases of the plan. The operational definition of indicators has allowed us to identify the key aspects for the success of the plan and the consolidation of the change, which are: the willingness of the principal of the school; the initial commitment of a critical mass of teachers to get the change; overcoming the initial concerns of teachers for the first implementation; the follow-up and improvement seminars (analysis of video recordings of the first intervention of teachers) and results of the students after the second implementation and the good reception of the families.

Results obtained in this research are important for changing science education at the primary level, as they have allowed us to identify recurring difficulties that teachers have, as well as to get insights on how to overcome them. This should make it easier for the time needed to achieve such a change and make it sustainable to be reduced in other schools. We are currently working on how to use technologies to extend the change, considering the findings on the dissemination of complex behaviours in online courses.



Análisis de la resolución de un problema de cinemática mediante el mapa conceptual híbrido

Analysis of the resolution of a kinematics problem using the hybrid conceptual map

Nehemías Moreno Martínez

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México
nehemias.moreno@uaslp.mx

Luis Enrique Hernández Zavala

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México
luisenri.hernandez@cinvestav.mx

Eduardo Carlos Briceño Solís

Unidad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México.
ecbs74@gmail.com

RESUMEN • El mapa conceptual híbrido se interpreta a partir de una adaptación a la física escolar de algunos elementos del enfoque ontosemiótico. La interpretación permite analizar la actividad fisicomatemática involucrada en la resolución de un problema físico. Mediante un estudio de caso descriptivo, la interpretación permitió estudiar las prácticas de resolución de un problema de movimiento parabólico realizadas por una profesora y dos de sus estudiantes de física universitarios. La interpretación permite analizar gráficamente la organización y conexión de los objetos fisicomatemáticos, notar algunos procesos involucrados en la resolución del problema y describir de manera más adecuada el operativismo ciego al interpretar la representación de los objetos fisicomatemáticos desde dos perspectivas, cognitiva/epistémica y ostensiva/no ostensiva, en lugar de interpretarla como interna/externa.

PALABRAS CLAVE: Herramienta gráfica; Mapa conceptual híbrido; Resolución de problemas; Movimiento parabólico; Física escolar.

ABSTRACT • The hybrid conceptual map is interpreted from an adaptation to school physics of some elements of the ontosemiotic approach. Interpretation allows to analyze the physical-mathematical activity involved in solving a physical problem. Through a descriptive case study, the interpretation made it possible to study the practices of solving a parabolic motion problem carried out by a teacher and two of her university physics students. The interpretation allows to graphically analyze the organization and connection of the physical-mathematical objects, to notice some processes involved in the resolution of the problem and to describe in a more adequate way the blind operativism when interpreting the representation of the physical-mathematical objects from two perspectives, cognitive/epistemic and ostensive/non-ostensive, rather than interpreting it as internal/external.

KEYWORDS: Graphic tool; Hybrid conceptual map; Problem solving; Parabolic motion; School physics.

Recepción: octubre 2019 • Aceptación: diciembre 2020

Moreno Martínez, N., Hernández Zavala, L. E. y Briceño Solís, E. C. (2021). Análisis de la resolución de un problema de cinemática mediante el mapa conceptual híbrido. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 157-176.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3106>

INTRODUCCIÓN

La resolución de problemas en la clase de física es una actividad importante en el aprendizaje y evaluación de los conocimientos de los alumnos. Al resolver un problema, los docentes consideran su estructura, mientras que los estudiantes atienden aspectos superfluos (Buteler, Gangoso, Brincones y González, 2001) o construyen estructuras propias al resolverlo y, en el caso de ser congruentes con su conocimiento previo, evitan contrastar con la teoría física (Guisasola, Ceberio y Zubimendi, 2003).

Proporcionar pautas a los estudiantes para reflexionar sobre la resolución de problemas y la aplicación de sus conocimientos los ayuda a entender mejor los procesos de resolución y la manera en que aprenden (Hinojosa y Sanmartí, 2016). Concari y Giorgi (2000), al analizar los problemas resueltos en textos de física en cursos de universidad, advierten que estos muestran una visión alejada de lo que es el trabajo científico y sugieren al docente algunas estrategias de enseñanza y evaluación.

También se ha usado la V de Gowin (Escudero y Moreira, 1999) para promover el aprendizaje significativo mediante la interacción entre el conocimiento del alumno, los elementos conceptuales y lo que él podría realizar al resolver el problema (Gil, Solano, Tobaja y Monfort, 2013). La V se apoya en la noción de representación interna/externa, y la interna se refiere a los procesos de razonamiento y modelos mentales de las personas, las cuales, al explicitarse mediante distintos sistemas representacionales (escritura, representación matemática, entre otros) dan lugar a la representación externa (Aguilar, 2004). Mediante la V se ha modelado el operativismo ciego, el cual es descrito como una práctica procedimental donde se memorizan y archivan fórmulas prescindiendo de la interacción entre el dominio conceptual y procedimental (Escudero y Moreira, 1999).

Cabe señalar que, en el campo de la matemática educativa, se ha reportado que el tándem representación interna/externa es ambiguo para la descripción de la actividad matemática y en su lugar se ha propuesto usar las facetas duales o perspectivas ostensivo/no-ostensivo y cognitivo/epistémico (Font, Godino y D'Amore, 2007).

En el contexto de la física escolar, en el presente trabajo se plantea el problema de que la perspectiva interna/externa también podría desencadenar ciertas ambigüedades en el análisis de la actividad físico-matemática. La representación interna/externa en la física escolar permite a los alumnos observar y distinguir diversos elementos epistemológicos que intervienen en la construcción de nuevos conocimientos (Escudero y Moreira, 1999); sin embargo, esto no dice nada acerca de cuál sería la representación interna correspondiente a dichos elementos epistemológicos representados externamente. También, en este sentido, la descripción del operativismo ciego mediante la V de Gowin queda en entredicho.

En esta investigación se planteó el objetivo de considerar las facetas duales ostensivo/no-ostensivo y cognitivo/epistémico, mediante la interpretación del mapa conceptual híbrido (MCH) o mapa híbrido desde una adaptación del enfoque ontosemiótico (EOS), en el contexto de la física escolar, para analizar la resolución de un problema de movimiento parabólico por parte de una docente y sus alumnos de nivel universitario. El MCH, combinación del mapa conceptual con la técnica del diagrama de flujo, ha sido interpretado con el EOS para analizar un fragmento de una clase de matemáticas (Bencomo, Godino y Wilhelmi, 2004) y para investigar la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas mediante la resolución de problemas (Moreno, Torres y Zúñiga, 2019).

En otros trabajos, el MCH ha sido interpretado desde una adaptación incipiente del EOS a la física escolar (Moreno, Angulo, Reducindo y Aguilar, 2018; Moreno, Zúñiga y Tovar, 2018; Moreno, Aguilar, Angulo y Ramírez, 2019). En este trabajo se avanza con la adaptación del EOS para la física escolar y en su aplicación con la interpretación del MCH. Tomando en cuenta que la construcción de una idea o noción física se realiza a partir de sucesivas búsquedas de semejanzas y diferencias con lo que el estudiante conoce, para luego hacer una generalización (Alomá y Malaver, 2007), el MCH se usa como

una ayuda gráfica para estudiar la construcción del conocimiento físico a partir de las conexiones entre los objetos físicos y fisicomatemáticos que intervienen en la resolución de un problema.

UNA APROXIMACIÓN TEÓRICA PARA LA FÍSICA ESCOLAR

En esta sección se describen, en un primer momento, los elementos teóricos del EOS que fueron adaptados al contexto de la física escolar y, por último, se describe en qué consiste dicha adaptación.

Algunos elementos teóricos del enfoque ontosemiótico

Según el enfoque ontosemiótico (EOS), cuando un sujeto (novato o experto) resuelve una situación-problema, este lleva a cabo un sistema de prácticas donde participa un conjunto de *objetos matemáticos primarios* (lenguaje, conceptos, propiedades, procedimiento y argumentos). En una práctica, entendida como toda actuación realizada por el sujeto al resolver el problema (Godino, Batanero y Font, 2007), pueden emerger objetos matemáticos que son empleados por otras prácticas que conforman el sistema de prácticas.

El EOS señala que el sujeto realiza procesos cognitivos (entendidos en la forma *entrada, proceso y producto*) sobre los objetos matemáticos. La entrada es un objeto en una de sus facetas y, a través del proceso, se obtiene como producto el objeto en una faceta distinta. Algunos de los procesos son: *i) idealización*, que permite ir de un objeto observable como un signo o expresión algebraica (faceta ostensiva) a un objeto pensado (faceta no ostensiva); *ii) materialización*, que es inverso a la idealización y permite materializar o hacer público un objeto pensado (Font y Contreras, 2008); *iii) particularización*, donde un objeto general (faceta intensiva), por ejemplo, la familia de funciones, se usa de manera específica (faceta extensiva), por ejemplo, la función; *iv) representación*, que permite atribuir un significante (faceta expresión) a un significado (faceta contenido); *v) significación*, donde a un significante se le atribuye un significado. La noción *función semiótica* relaciona los procesos, y *iv)* al considerar que los objetos matemáticos primarios pueden desempeñarse como contenido de dicha función.

Además de los procesos anteriores, el EOS considera otros procesos, como la *argumentación*, implicada en la generación de argumentos para sustentar procedimientos, y la *algoritmización*, relacionada con la realización de cierto procedimiento, entre otros.

Una adaptación del enfoque ontosemiótico para la física escolar

La aproximación teórica para la física escolar que se propone en este trabajo se apoya en la noción de *objeto* del interaccionismo simbólico (Blumer, 1969), entendido como todo aquello que puede ser indicado o señalado. En la física escolar se hace referencia a objetos físicos y a objetos fisicomatemáticos. Los objetos físicos son vistos como abstracciones o idealizaciones de los hechos, objetos concretos o entidades físicas, los cuales están vinculados a los resultados experimentales o la experiencia. No se trata de objetos ficticios como ocurre con los objetos matemáticos primarios del EOS. El objeto físico parte de la experiencia sensible, sin embargo, coincidimos con Herrero (2012) en que estas no son meras impresiones sensoriales, más bien son elaboraciones ordenadas objetivas susceptibles de formalización matemática.

En la actividad fisicomatemática, además de los objetos matemáticos primarios, también participan objetos físicos. Se propone agregar a los objetos matemáticos primarios una tipología de objetos físicos y, por otro, extender la noción de función semiótica, exclusiva de los objetos matemáticos en el EOS, para establecer relaciones de *significación* entre los objetos matemáticos primarios y los objetos físicos. Esto conduce a un nuevo conjunto de objetos, los objetos fisicomatemáticos.

Debido a la noción de objeto empleado, se adopta una postura pragmatista de los objetos físicos y, por tanto, de los objetos fisicomatemáticos, pues se soslaya la naturaleza, la constitución material y el origen de los hechos físicos, de los objetos concretos o entidades físicas. Más bien, se da importancia a la practicidad o al uso de dichos objetos como herramientas para la resolución de problemas, por ejemplo, para realizar predicciones o descripciones de los fenómenos.

A continuación, se realiza una descripción de los objetos fisicomatemáticos y de los objetos físicos que intervienen en la actividad fisicomatemática:

- i) *Situación fisicomatemática problematizada*: fenómenos físicos problematizados de manera cuantitativa, por ejemplo, el cálculo de la velocidad final de una partícula después de una colisión, que requiere de la interpretación física de los resultados. *Situación física problematizada*: fenómenos que se plantean de forma demostrativa y donde se cuestiona acerca de las creencias, por ejemplo, el prisma de Newton para mostrar la descomposición de la luz.
- ii) *Lenguaje fisicomatemático*: se refiere al lenguaje matemático interpretado o significado en términos de los objetos físicos, por ejemplo, las «flechas» que aluden al vector fuerza. *Lenguaje físico*: representaciones pictóricas, esquemas o dibujos que aluden al mundo físico.
- iii) *Conceptos fisicomatemáticos*: se enuncian mediante definiciones que son matematizadas y representadas por medio fórmulas, por ejemplo, «fuerza», entre otras. *Conceptos físicos*: enunciados que no se matematizan, tales como partícula, los dispositivos usados en el laboratorio, por ejemplo, la lente, el polarizador, la placa de pruebas (*protoboard*), entre otros, los cuales son definibles y ayudan a acceder a los conceptos físicos matematizables.
- iv) *Propiedades fisicomatemáticas*: se refiere a enunciados acerca de los conceptos fisicomatemáticos que se pueden plantear matemáticamente, por ejemplo, el principio de Arquímedes para el concepto de fuerza de flotación. *Propiedad física*: enunciados que no se plantean matemáticamente, por ejemplo, la propiedad de que la luz se propaga en línea recta, si bien la representación pictórica de un rayo de luz es útil para pensar en la luz, pero dicha propiedad no tiene una formulación matemática.
- v) *Procedimiento fisicomatemático*: se refiere al tratamiento o técnicas de cálculo interpretables desde el mundo físico, por ejemplo, la resolución de una ecuación de cinemática. En el laboratorio también se realiza un *procedimiento físico* que no se matematiza, por ejemplo, el armado de los dispositivos experimentales o la realización de mediciones experimentales.
- vi) *Argumentos fisicomatemáticos*: se trata de enunciados que se emplean para validar o explicar el procedimiento o algoritmo de resolución de la situación física problematizada, por ejemplo, al resolver una ecuación cinemática que involucra la posición de una partícula en función del tiempo «t», algunas veces se obtiene una solución « $t < 0$ » y se argumenta descartarla al no tener sentido o significado físico en el contexto del problema que se está resolviendo. *Argumentos físicos*, empleados para justificar o explicar los procedimientos físicos y fisicomatemáticos, por ejemplo, cuando se experimenta con el péndulo, se argumenta que se debe medir la longitud del péndulo del punto de sujeción al centro de masa del cuerpo que pende, pues sobre este actúan las fuerzas.

La adaptación del EOS a la física escolar también considera otros elementos teóricos tales como prácticas, sistemas de prácticas, procesos y facetas. Cuando un sujeto resuelve una situación fisicomatemática problematizada este lleva a cabo un sistema de prácticas donde participan objetos físicos y objetos fisicomatemáticos. En la realización del sistema de prácticas el sujeto lleva a cabo ciertos procesos cognitivos (*idealización, materialización, particularización*, por mencionar algunos) que le permiten mirar a los objetos físicos y fisicomatemáticos desde distintas facetas (ostensivo/no-ostensivo, extensivo/intensivo, cognitivo/epistémico, entre otras). Además de los procesos anteriores, en la resolución

de problemas planteados textualmente, la adaptación teórica también se apoya en otros procesos como el de *comprensión lectora*, el cual consiste en la realización de procesos como el de *i) inferencia*, que le permite relacionar las ideas del texto con sus propias ideas, plantear hipótesis, sacar conclusiones, entre otras, *ii) memoria*, para recuperar información u organizar su conocimiento, y *iii) metacognición*, que le permite organizar, cuestionar, planear, monitorear la *comprensión*, entre otros (Montealegre, 2004).

En el EOS, la actividad matemática induce la emergencia de objetos secundarios que son nuevamente ficticios, mientras que, con la adaptación del EOS a la física escolar, los objetos emergentes de la actividad fisicomatemática podrían tener un significado con algún elemento del mundo físico. La adaptación del EOS a la física escolar se apoya en la semiótica pragmática del EOS, es decir, el significado de los objetos físicos y fisicomatemáticos viene dado por el uso o función que dichos objetos tienen en el lenguaje, en el sentido de Wittgenstein (Godino, 2003). Es decir, los conceptos y las propiedades físicas y fisicomatemáticas son interpretados en el mismo sentido de los objetos matemáticos del EOS, esto es, como reglas gramaticales del uso de símbolos y expresiones, las cuales, en el caso de la física, no son reglas inventadas y tienen que ver con regularidades (patrones) en el mundo empírico y matemático.

PROBLEMA Y METODOLOGÍA

En este trabajo se aborda el problema de cómo una docente y sus estudiantes organizan y conectan los objetos físicos y fisicomatemáticos al enfrentarse a la tarea de resolver un problema de movimiento parabólico. Para abordarlo se interpretó y analizó el MCH desde la adaptación del EOS a la física escolar. Para el análisis se construye el MCH a partir de la producción escrita y la transcripción del discurso oral del sujeto que resuelve el problema de movimiento parabólico. El MCH es una representación ostensiva de los objetos físicos y fisicomatemáticos que fueron pensados (no ostensivos), organizados, conectados y luego materializados por el sujeto al resolver el problema. Desde la adaptación del EOS a la física escolar puede decirse que el MCH es de tipo epistémico si corresponde a la producción docente (experto) o bien cognitivo, si es construido de lo que produjo un estudiante (inexperto).

Se llevó a cabo una metodología cualitativa a través de un estudio de caso de tipo descriptivo ya que, por un lado, describe de manera secuencial la producción oral y escrita de los sujetos al resolver una situación problematizada de movimiento parabólico y, por otro lado, dicha producción fue representada de manera gráfica mediante el MCH, lo que permitió observar, en el tiempo, los distintos objetos fisicomatemáticos, así como la organización y conexión entre ellos en un sistema de prácticas.

El estudio también fue interpretativo ya que, una vez elaborado el MCH, fue analizado desde la adaptación del EOS. La comparación entre el MCH epistémico, correspondiente a la producción de una docente, y el MCH cognitivo a la producción de dos de sus estudiantes de física permitió conocer diferencias y semejanzas de los significados, los objetos empleados, las conexiones entre los objetos y los procesos cognitivos realizados.

Los participantes fueron una docente y dos de sus estudiantes denotados como Ana y Bruno. Los estudiantes de ingeniería fueron seleccionados aleatoriamente a partir de un grupo de 48 que cursaban la asignatura «Física A-Cinemática» de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en México.

Diseño de la actividad y herramienta de recolección de datos

La tarea planteada a la docente y alumnos es una adaptación del problema de movimiento parabólico propuesto en el libro de Serway y Jewett (2008), el cual consiste en la descripción textual de la situación física del movimiento de un proyectil lanzado desde lo más alto de un edificio y el planteamiento de tres preguntas. La adaptación consistió en eliminar la última pregunta, de manera que solo solici-

taba calcular el alcance desde la base del edificio y la altura donde fue lanzada la pelota. También se agregó una figura de la situación y un plano cartesiano « vs » para indicar el marco de referencia desde el cual se quiere resolver el problema (figura 1). El problema planteado fue:

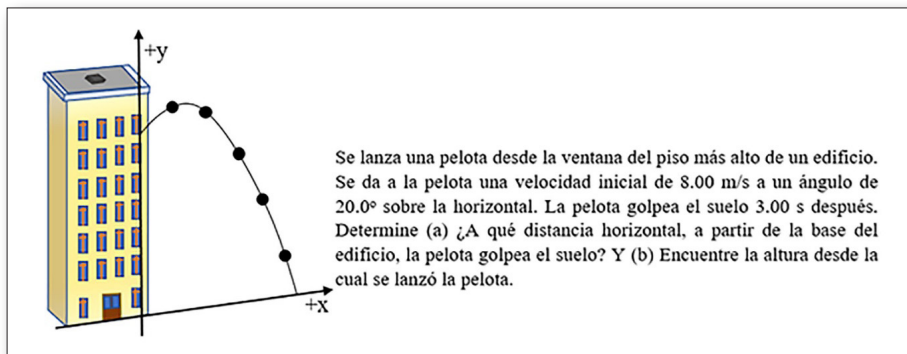


Fig. 1. Situación física problematizada de movimiento parabólico de un proyectil. Adaptado de Serway y Jewett (2008).

De manera individual se solicitó a la docente y estudiantes resolver en hojas blancas la situación física problematizada y, una vez hecho esto, se les pidió que resolvieran nuevamente el problema solo que esta vez explicando en voz alta el proceso de resolución y usando una pluma electrónica, *Smart Pen Livescribe*, que registra en tiempo real la producción oral y escrita de forma sincronizada al resolver el problema.

En la resolución del problema no se proporcionaron las fórmulas de cinemática, de manera que las empleadas en sus soluciones venían de su conocimiento previo. La docente resolvió el problema en dos minutos, Ana en siete minutos y Bruno en aproximadamente cuatro minutos.

Con el archivo electrónico generado por la pluma electrónica, se obtuvo la transcripción oral y la imagen de escritura, donde se identificaron las prácticas realizadas, los objetos fisicomatemáticos implicados y la organización de dichos objetos en las prácticas correspondientes. También fue posible advertir la realización de algunos procesos cognitivos comunes entre los sistemas de prácticas realizado por los sujetos investigados.

Elaboración e interpretación del MCH

De acuerdo con la dualidad cognitiva/epistémica, el MCH es de tipo cognitivo cuando corresponde a la producción de un inexperto y de tipo epistémico cuando corresponde a la producción de un experto. La elaboración de ambos tipos de mapas se realiza mediante el proceso que se describe a continuación.

La figura 2 ilustra la producción de la docente al resolver el problema del movimiento parabólico. El texto en los recuadros muestra la transcripción del discurso oral y el texto en el centro presenta la producción escrita. Los recuadros se numeraron del 1 al 11 para describir la secuencia de resolución del problema y las flechas indican la parte del registro escrito que la docente explicó oralmente. Los recuadros contienen argumentos justificativos del procedimiento empleado y también propiedades fisicomatemáticas. Los enunciados pueden verse como la conexión, mediante palabras enlace, de los conceptos físicos y fisicomatemáticos que fueron marcados en negritas y subrayados en la figura 2. Por ejemplo, en el recuadro (1), el argumento «Primero te dice la velocidad inicial que es $v_0 = 8 \text{ m/s}$ » está formado por dos representaciones del concepto velocidad inicial, las palabras «velocidad inicial» y los símbolos « $v_0 = 8 \text{ m/s}$ », los cuales se conectan mediante las palabras enlace «primero te dice la» y «que es».

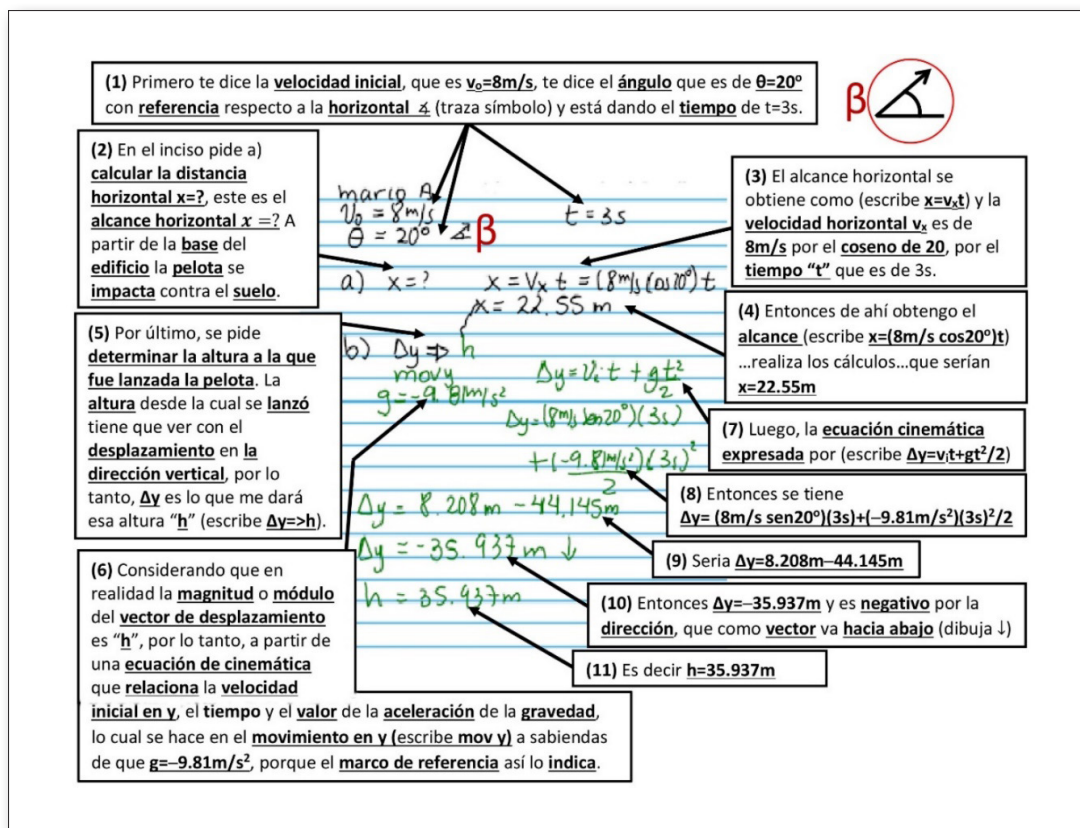


Fig. 2. Transcripción del discurso oral (recuadros) y registro escrito de una docente al resolver un problema de movimiento parabólico (elaboración propia).

En la figura 2 se observa que la docente resuelve el problema mediante tres prácticas, la primera de tipo interpretativa, ver recuadro (1); la segunda, recuadros (2), (3) y (4), determina la distancia horizontal recorrida por el proyectil; y la tercera, recuadros del (5) al (11), determina la altura desde la cual fue lanzada la pelota.

La construcción del MCH inicia con la descripción del sistema de prácticas, la cual consiste en «describir el movimiento de la pelota mediante el alcance y la altura desde la que fue lanzada del edificio», ver «Sp» en la figura 3. La Sp consta de tres prácticas, A, B y C, tituladas «Interpretar la situación-problema», «Calcular la distancia horizontal $x=?$ » y «Determinar la altura a la que fue lanzada la pelota», respectivamente. La primera práctica se coloca del lado izquierdo y las siguientes prácticas se colocan horizontalmente hacia la derecha.

Los recuadros de la figura 2 son representados en el MCH, considerando los objetos (conceptos o propiedades expresados mediante palabras, símbolos o fórmulas) y las palabras enlace. Los objetos son puestos en recuadros que contienen otros parámetros para ayudar a la lectura e interpretación del MCH, por ejemplo, un parámetro, representado mediante una secuencia de números enteros, se usa para referirse al orden en el que aparecen los objetos fisicomatemáticos en el discurso oral y escrito del sujeto.

De manera arbitraria, la numeración se repite en cada práctica, aunque podría no repetirse. Otro parámetro es el tiempo expresado en minutos y segundos, que puede ser obtenido cuando se reproduce el archivo digital (generado por la pluma electrónica) en la computadora.

Un mismo objeto en el MCH puede presentar dos tiempos distintos. Esto se debe a que el sujeto se ha referido al mismo objeto en dos tiempos distintos en la resolución del problema. También puede suceder que dos objetos numerados consecutivamente posean el mismo tiempo, y esto es porque el registro de audio es de minutos y segundos, de manera que el sujeto podría decir dos palabras distintas en un mismo segundo.

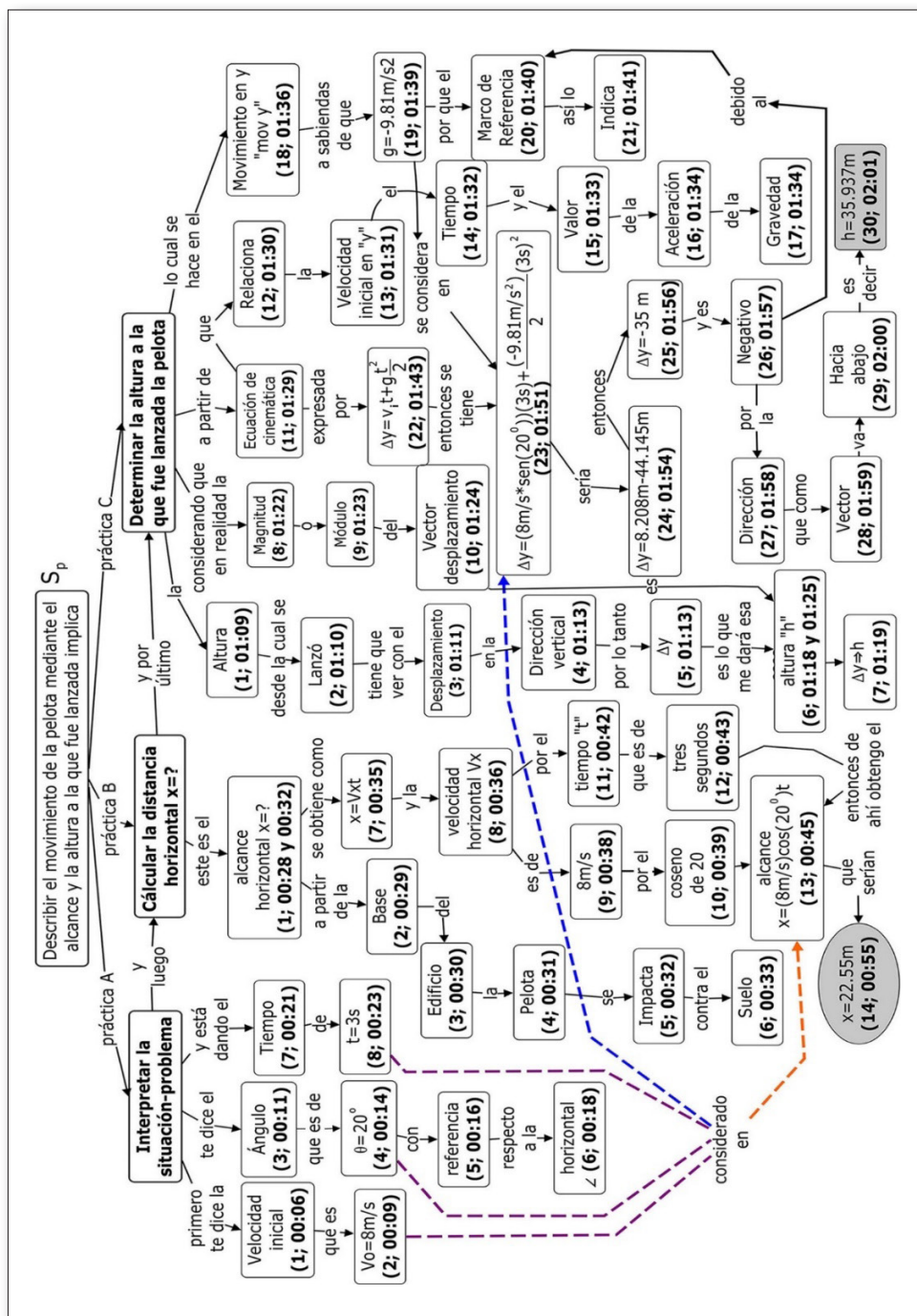


Fig. 3. MCH *epistémico* del sistema de prácticas realizado por una docente al resolver el problema de movimiento parabólico (elaboración propia).

De acuerdo con el recuadro (1) de la transcripción, figura 2, la docente llevó a cabo una práctica A donde planteó tres argumentos: «Primero te dice la velocidad inicial, que es $v_0=8\text{ m/s}$ », «te dice el ángulo que es de $\theta \neq 20^\circ$ con referencia respecto a la horizontal $\angle$ (traza símbolo de ángulo)» y «y está dando el tiempo de $t=3\text{s}$ ». El primer argumento se representa en el MCH mediante la ruta de lectura (1;00:06)-(2), el segundo como (3;00:11)-(4)-(5)-(6) y el tercero mediante (7;00:21)-(8). A partir de ahora se hará referencia a las cadenas de conceptos en el MCH, en el que toda la producción de la figura 2 se encuentra representada en el MCH de la figura 3.

La *materialización* de (1;00:06)-(2) da cuenta del proceso de *comprensión lectora* del texto, ya que la docente *infirió* una relación entre el texto «se da a la pelota una velocidad inicial de 8.00m/s » y su conocimiento previo velocidad inicial manifestado a través del empleo del símbolo « v_0 » en (2;00:09) que no proviene del texto. También realizó un proceso de *significación* al atribuir al concepto (1;00:06) el significante (2;00:09).

En el caso del ángulo, la docente repite los procesos anteriores cuando materializa (3;00:11)-(4;00:14). Por otro lado, mediante la *idealización*, la curva que representa la trayectoria de la pelota, la pelota, el edificio y el suelo fueron desmaterializados para ser analizados por la docente y, mediante la *visualización*, ella visualizó el ángulo formado entre la horizontal y la dirección de la velocidad inicial para luego *materializarlo* a través de (4;00:14)-(5)-(6; 00:18), figura 3, y « β » en la figura 2. El símbolo materializado en « β » es un significante ostensivo del concepto no ostensivo ángulo. Para el caso del tiempo, la ruta (7;00:21)-(8) arroja evidencia de los procesos de *comprensión lectora*, *particularización*, *significación* y *materialización*.

En la práctica B, la ruta (1;00:28)-(2)-(3)-(4)-(5)-(6;00:32), del recuadro (2) de la figura 2, da evidencia del proceso de *comprensión* de la docente del inciso (a), por ejemplo, el problema menciona «distancia horizontal» y la docente comentó (1;00:28) «alcance horizontal». También el problema presenta «golpea el suelo», mientras que la docente señala (5;00:32)-(6;00:33) «impacta contra el suelo», lo cual muestra la interacción entre el texto y el conocimiento previo de la docente. Así mismo, esta ruta da cuenta de un proceso de *visualización* del alcance de la pelota.

En la práctica B la docente realizó otros tres procesos identificables, uno de *argumentación* que le permitió considerar una propiedad física que la docente no materializó (la propiedad de que la aceleración horizontal en un movimiento parabólico es nula), pero que la llevó a la *materialización* de la fórmula general (7;00:35) y la *significación* de variables que componen la fórmula, por ejemplo, al significante « x » le atribuyó el significado de alcance horizontal, al significante « v_x », el significado de velocidad horizontal y al significante « t » como el tiempo. Después, apoyada en la propiedad de aceleración horizontal nula (no materializada), ella realizó un proceso de *particularización* de la variable « v_x », al considerar las condiciones específicas del problema abordado, es decir, se apoyó en (2;00:09) y (4;00:14) para luego integrarlos en (13;00:45). Finalmente, considerando el tiempo mediante (11;00:42)-(12;00:43), la docente particularizó la fórmula general en (13;00:45) para luego realizar un proceso de *algoritmización* que le condujo al resultado correcto (14;00:55).

En la práctica C, recuadros del (5) al (11) figura 2, la docente realizó un proceso de *argumentación* que mostró evidencia de la realización del proceso de *visualización*, al enfocarse en el movimiento vertical de un tiro parabólico, y de *comprensión lectora* al inferir una relación entre el inciso (b) del problema y el conocimiento previo del docente sobre vectores. Por ejemplo, *infirió* y *visualizó* que la altura solicitada –véase (1;01:09)-(2;01:10)– tiene que ver con el desplazamiento de la pelota en la dirección vertical (3;01:11)-(4)-(5;01:13) y, consecuentemente, que el módulo del vector desplazamiento es la altura (9;01:23)-(10;01:24)-(6;01:25). También realizó el proceso de *significación* al dar significado el símbolo « Δy » en (5;01:13) con el concepto de altura en (7;01:19).

Los aspectos anteriores llevan a la docente a realizar un proceso de *argumentación* al enunciar el argumento general (11;01:29)-(12)-(13)-(14)-(15)-(16;01:34)-(17;01:34), luego, al enfocarse en

(16;01:34)-(17;01:34), inicia la *particularización* de dicho argumento mediante la visualización del marco de referencia y el sentido de sus ejes la lleva a enunciar el argumento (18;01:36)-(19)-(20)-(21) acerca de la aceleración de la gravedad, lo que le permite recurrir a su memoria para asignarle un valor a dicha constante (19;01:39) y también atribuirle un signo negativo apoyándose en las convenciones que conoce.

El argumento general, con la *particularización* anterior de la aceleración de la gravedad, es materializado en (22;01:43). En este instante, la docente realizó un proceso de *significación* al atribuir un significado a cada símbolo que constituye la fórmula general, por ejemplo, el significante « v_i » significa la componente « v » de la velocidad inicial y el significante « t » es interpretado como el tiempo. La *particularización* culmina en (23;01:51), donde también ha incorporado los objetos (2;00:09), (4;00:14) y (8;00:23) de la práctica A.

La docente llevó a cabo un proceso de *algoritmización* mediante el procedimiento (23;01:51)-(24;01:54) para obtener el resultado (25;01:56); sin embargo, mediante el argumento (26;01:57)-(27)-(28)-(29;02:00) logró significar el signo negativo obtenido en dicho resultado, lo que le permitió reescribir la solución correcta (30;02:01).

Con el análisis anterior se observa que en el sistema de prácticas realizado por la docente aparece de manera recurrente, en cada práctica, un conjunto de procesos cognitivos (figura 4) responsable de la producción de conocimiento.

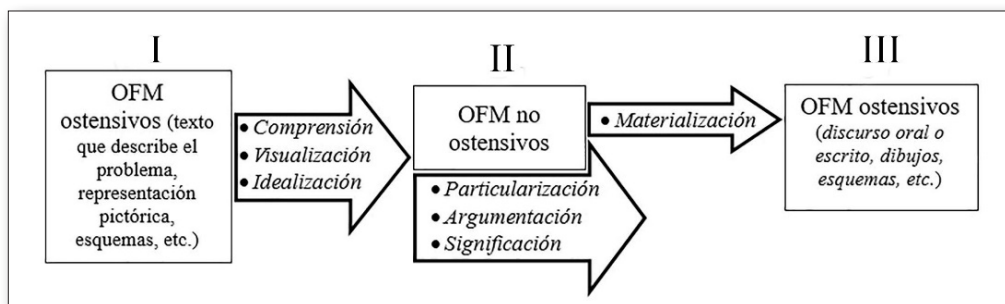


Fig. 4. Conjunto de procesos implicados en la producción del objeto físico matemático, OFM (elaboración propia).

El esquema de la figura 4 muestra la secuencia en la realización de los procesos antes mencionados. El texto y la figura que describen la situación problematizada proveen de un conjunto de objetos físi-comatemáticos (OFM) ostensivos I, los cuales son *comprendidos* (mediante la inferencia, la metacognición y la memoria), *visualizados* e *idealizados* para conformar un conjunto de OFM no ostensivos II. La *comprensión* lectora permite al sujeto establecer relaciones de inferencia entre los OFM del texto y los OFM provenientes del conocimiento previo del sujeto, también permite acceder a las fórmulas, datos, procedimientos, reglas o convenciones que se encuentran en la memoria del sujeto.

Algunos OFM no ostensivos en II son particularizados, otros son relacionados entre sí mediante funciones semióticas para establecer relaciones de *significación* y, mediante la *argumentación*, se establecen argumentos que sustentan o validan los procedimientos. Finalmente, algunos OFM en II son materializados o comunicados en III.

ANÁLISIS DE LOS MAPAS CONCEPTUALES HÍBRIDOS COGNITIVOS

En esta sección se analiza la resolución del problema realizada por los alumnos; primero se analiza la resolución de Ana y posteriormente la de Bruno. Por cuestiones de espacio, únicamente se presentará el MCH de los alumnos y se realizará el análisis mediante la aproximación teórica desarrollada.

El MCH de la alumna Ana

El MCH de Ana (figura 5) muestra el uso de fórmulas de cinemática y la evaluación de la pertinencia de estas a partir de criterios operativos alejados de interpretaciones físicas. El argumento (1;00:04)-(2)-(3)-(4)-(5)-(6) muestra que Ana realiza un proceso de *comprensión lectora* del problema; sin embargo, a diferencia del MCH epistémico, ella infiere una relación entre su conocimiento previo y aspectos superficiales del problema, como el número de incisos (3;00:11), y lo que se solicita calcular, la distancia horizontal (4;00:13) y la altura de lanzamiento (5;00:14)-(6).

Ana realizó el proceso de *metacognición* y *memoria*, ya que planeó resolver el problema al tener en cuenta fórmulas de tiro parabólico (7;00:23)-(8;00:29) que recuperó de su conocimiento previo; por ejemplo, *materializó* la fórmula para calcular la velocidad final en «y» mediante (9;00:34)-(10;00:38), la cual descartó al apoyarse en el argumento superficial (10;00:38)-(11)-(12). También *materializó* la fórmula para calcular la distancia en «y» a través de (13;00:47)-(14), pero no señaló ningún argumento de empleo. Ana, continuando con el plan del uso de fórmulas, *materializó* la fórmula para calcular la distancia máxima en «x» mediante (15;01:01)-(16)-(17;01:05), la cual descartó segundos después al *argumentar*, por un lado, que no era útil y, por otro al señalar la existencia de un despeje fácil, a través de (17;01:05)-(18)-(19)-(20;01:18).

Apoyado en argumentos anteriores y en el proceso de *memoria*, Ana recuperó información sobre el concepto de tipo parabólico (22;01:25) que *materializó* al enunciar la propiedad de dos movimientos unidimensionales «x» e «y» a través de (21;01:23)-(22;01:25)-(23)-(24)-(25)-(26;01:33) y, también, al considerar la fórmula (28;01:36), que justificó al *argumentar* (27;01:35)-(28;01:36)-(29)-(30)-(31;01:42). Es importante señalar que (28;01:36) es un objeto emergente de la práctica que forma parte del plan elaborado para resolver el problema. También *materializó* la fórmula (32;01:46) sin enunciar argumentos.

Posteriormente, Ana *materializó* el argumento (33;02:00)-(34;02:02) para señalar el «marco» donde se deben «extraer» los datos. Lo anterior da cuenta de la observación del marco de referencia dibujado en la representación pictórica que acompaña el problema y de la realización del *proceso de comprensión lectora* al relacionar las ideas del texto del problema con las ideas de Ana. Esto último llevó a Ana a *significar* y a *materializar* los datos numéricos que presenta el texto con los símbolos (v_0 , $\angle$ y t) presentes en el conocimiento previo de ella en (35;02:05)-(36), (37;02:11)-(38) y (39;02:15)-(40). Cabe señalar que (36;02:09), (38;02:13) y (40;03:17) también son objetos emergentes de esta primera práctica.

Asimismo, mediante el proceso de *comprensión lectora*, Ana *materializó* lo que el problema solicita calcular, es decir, la distancia horizontal (41;02:18)-(42;02:19) y la altura desde la cual se lanzó la pelota (41;02:18)-(43;02:21).

En la práctica B, en (1;02:41)-(2)-(3)-(4)-(5;03:04), Ana determinó la magnitud de las componentes de la velocidad inicial v_{ix} y v_{iy} al usar objetos emergentes (36;02:09) y (38;02:13), de la práctica A, en la *particularización* de las expresiones generales, no *materializadas*, de las componentes de un vector (vector $\vec{A}$ con componentes $A_x = A \cos \theta$ y $A_y = A \sin \theta$). También realizó el proceso de *algoritmización*, al realizar los cálculos, y el proceso de *significación*, al asociar los símbolos « v_{ix} » y « v_{iy} » de su conocimiento previo con los valores numéricos emergentes. Se descarta la realización del proceso de *visualización* por parte de Ana, pues no *materializa* ningún argumento relacionado con el ángulo de disparo del proyectil o el marco de referencia, más bien solo fue el uso de fórmulas.

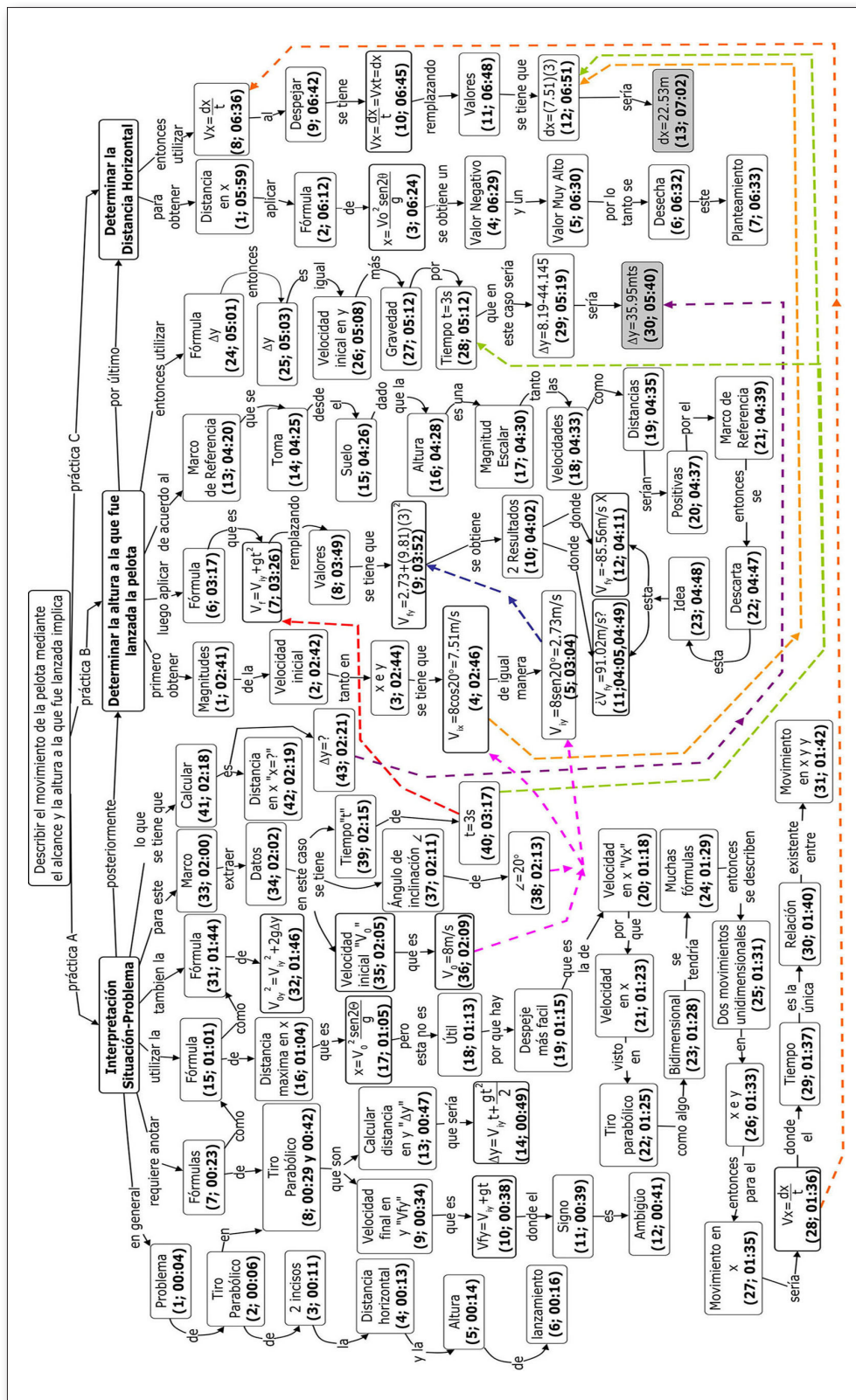


Fig. 5. MCH cognitivo correspondiente a la producción de Ana (elaboración propia).

Posteriormente, Ana *materializó* una fórmula de cinemática (incorrecta) mediante (6;03:17)-(7;03:26), que no había señalado en la práctica A. Luego *particularizó* dicha fórmula mediante (7;03:26)-(8)-(9), al sustituir la magnitud de la componente vertical de la velocidad inicial, (5;03:04)-(9;03:52), el objeto emergente *tiempo* (40;03:17) de la práctica A y el valor de la aceleración de la gravedad que recuperó de su conocimiento previo mediante el *proceso de memoria*. Ana realizó un proceso de *algoritmización* incorrecto, pues obtuvo dos soluciones a partir de (9;03:52), lo que refleja una nula metacognición del proceso realizado, en el sentido de que no cuestionó si lo que estaba realizando era correcto.

Cabe señalar en este punto que Ana llevó a cabo un operativismo ciego, pues si bien realizó los procesos de *particularización* y *materialización* en (9;03:52)-(10)-(11;04:05) y (12;04:11), no realizó adecuadamente otros procesos, por ejemplo, mediante el proceso de *argumentación* argumentó incorrectamente que «la altura es una magnitud escalar, tanto las velocidades y las distancias deben ser positivas» en (16;04:28)-(17)-(18)-(19)-(20;04:37), ya que «por el marco de referencia entonces se descarta esta idea» en (21;04:39)-(22)-(23), con lo cual rechazó las soluciones encontradas (12;04:11) y (11;04:49). Tampoco realizó el proceso de *comprensión lectora* correctamente, pues realizó incorrectamente el *proceso de memoria* al escribir de manera inapropiada la fórmula (7;03:26) con la variable temporal al cuadrado.

Habiendo descartado los resultados anteriores, Ana buscó otra alternativa para determinar la altura desde la cual fue lanzada la pelota y *materializó* verbalmente una fórmula –véase (24;05:01)-(25)-(26)-(27)-(28;05:12)– que había señalado pero no analizado en la práctica A mediante (14;00:49). En esta ocasión, Ana realizó los procesos de *comprensión lectora* (memoria), *particularización* (al considerar las condiciones específicas del problema en la fórmula general) y *algoritmización* de manera adecuada mediante (29;05:19)-(30;05:40), que llevaron a Ana al resultado correcto.

Por último, en la práctica C, Ana *materializó* otra fórmula general para determinar la distancia horizontal de la base del edificio, hasta donde la pelota toca con el suelo, esto mediante (1;05:59)-(2)-(3;06:24), sobre la cual realizó posteriormente los procesos de *particularización*, sustituyendo los objetos emergentes (36;02:09), (38;02:13) y (40;03:17) de la práctica A, y de *algoritmización*, con apoyo de la calculadora, para obtener un valor «negativo» y «muy alto» que enunció mediante el argumento (3;06:24)-(4)-(5;06:30), lo cual consideró como criterio suficiente para descartar dicho resultado mediante (5;06:30)-(6)-(7;06:33).

Se trata de un operativismo ciego en el que, si bien es posible observar indicios de la realización de los procesos de *particularización* y *materialización* (3;06:24)-(4)-(5), no llevó a cabo de manera adecuada el *proceso de memoria*, al no considerar las condiciones que se requieren para poder usar la fórmula (3;06:24). Tampoco llevó a cabo el proceso de *argumentación* correctamente, al apoyarse en un argumento alejado de cualquier interpretación física. Cabe señalar que Ana también escribió incorrectamente la fórmula del alcance del proyectil (3;06:24).

Dado el resultado anterior, como alternativa, Ana *materializó* la fórmula (8;06:36), que había señalado en la práctica A como adecuada mediante la ruta (22;01:25)-(23)-(24)-(25)-...-(31;01:42). Ana llevó a cabo un proceso de *significación* adecuado al dotar de significado cada uno de los parámetros de la fórmula (8;06:36), luego realizó los procesos de *algoritmización* y *materialización* de manera adecuada a través de (8;06:36)-(9)-(10)-(11)-(12;06:51), que inició con el despeje de la distancia horizontal, posteriormente con la sustitución del valor de la componente «x» de la velocidad inicial (4;02:46), emergente de la práctica B, y la sustitución del tiempo (39;02:15), emergente de la práctica A, para obtener el resultado correcto (13;07:02). Cabe señalar que en esta práctica Ana no se apoyó en ningún argumento para sustentar o validar el procedimiento realizado.

Ana obtuvo soluciones correctas al problema, sin embargo, atendió aspectos superfluos del problema (Buteler, Gangoso, Brincones y González, 2001) y construyó un mecanismo propio de resolu-

ción sin interpretación física (Guisasola, Ceberio y Zubimendi, 2003). En cada práctica materializó fórmulas de manera consecutiva, las cuales fue descartando mediante criterios inadecuados (el signo es ambiguo, despeje más fácil o que las magnitudes físicas como la velocidad y las distancias deben ser positivas) hasta encontrar aquella fórmula, acorde con sus criterios, que le condujo a obtener los resultados correctos. Por otro lado, no se encontraron indicios de la realización de un proceso de *visualización* útil para resolver el problema, por ejemplo, respecto al marco de referencia, en la práctica A la alumna señaló el marco de referencia para indicar la extracción de datos del problema y, en la práctica B, empleó el marco de referencia como parte del criterio de velocidades y distancias positivas –véase (13;04:20)-(14)-...-(22)-(23;04:48)– para interpretar los resultados (11;04:49) y (12;04:11) de una fórmula incorrecta (7;03:26).

El MCH del alumno Bruno

El sistema de prácticas realizado por Bruno se ilustra en el MCH de la figura 6. Con la primera práctica Bruno realizó un proceso de *comprensión lectora*, que le permitió inferir una relación entre el texto y su conocimiento previo acerca del lanzamiento de la pelota desde el edificio. Bruno *visualizó* los elementos que presenta la figura que acompaña el texto y *materializó* un nuevo marco de referencia en cuyo origen la pelota fue lanzada –véase (1;00:03)-(2)-(3)-(4)-(5;00:12)–. Posteriormente, él *materializó* una línea horizontal desde el origen del nuevo marco y *visualizó* el ángulo de disparo de la pelota, (5;00:12)-(6;00:18)-(7)-(8)-(9;00:28).

A continuación, Bruno realizó el *proceso de memoria* y recordó que ante el tipo de problema planteado se debe calcular la velocidad final en la dirección «», considerando la componente horizontal de la velocidad inicial y una aceleración; sin embargo, con esta idea Bruno mostró un desconocimiento de la propiedad física de que la aceleración horizontal es nula en el tiro parabólico, lo que le llevó a emplear la fórmula general ($v_{fx} = v_{ix} + a_x t$, no materializada), que *particularizó* y *materializó* mediante (10;00:37)-(11)-(12)-(13)-(14)-(15;00:57) y a realizar el *proceso de algoritmización* (16;01:06) para obtener el resultado incorrecto (17;01:09). Bruno mostró desconocimiento de la propiedad de aceleración horizontal nula y una *significación* inadecuada de los parámetros de la fórmula cinemática general, que le llevó a emplear la aceleración de la gravedad en los cálculos del movimiento en la dirección horizontal.

En la práctica B, Bruno realizó un proceso de *comprensión lectora* del primer inciso del problema y también *visualizó* el desplazamiento horizontal de la pelota, lo cual argumentó mediante (1;01:14)-(2)-(3)-(4;01:19). Luego realizó el *proceso de memoria* y recordó que en un movimiento parabólico (5;01:27)-(6;01:30) se requiere usar la fórmula que *materializó* mediante (7;01:33)-(8)-(9)-(10)-(11;01:46).

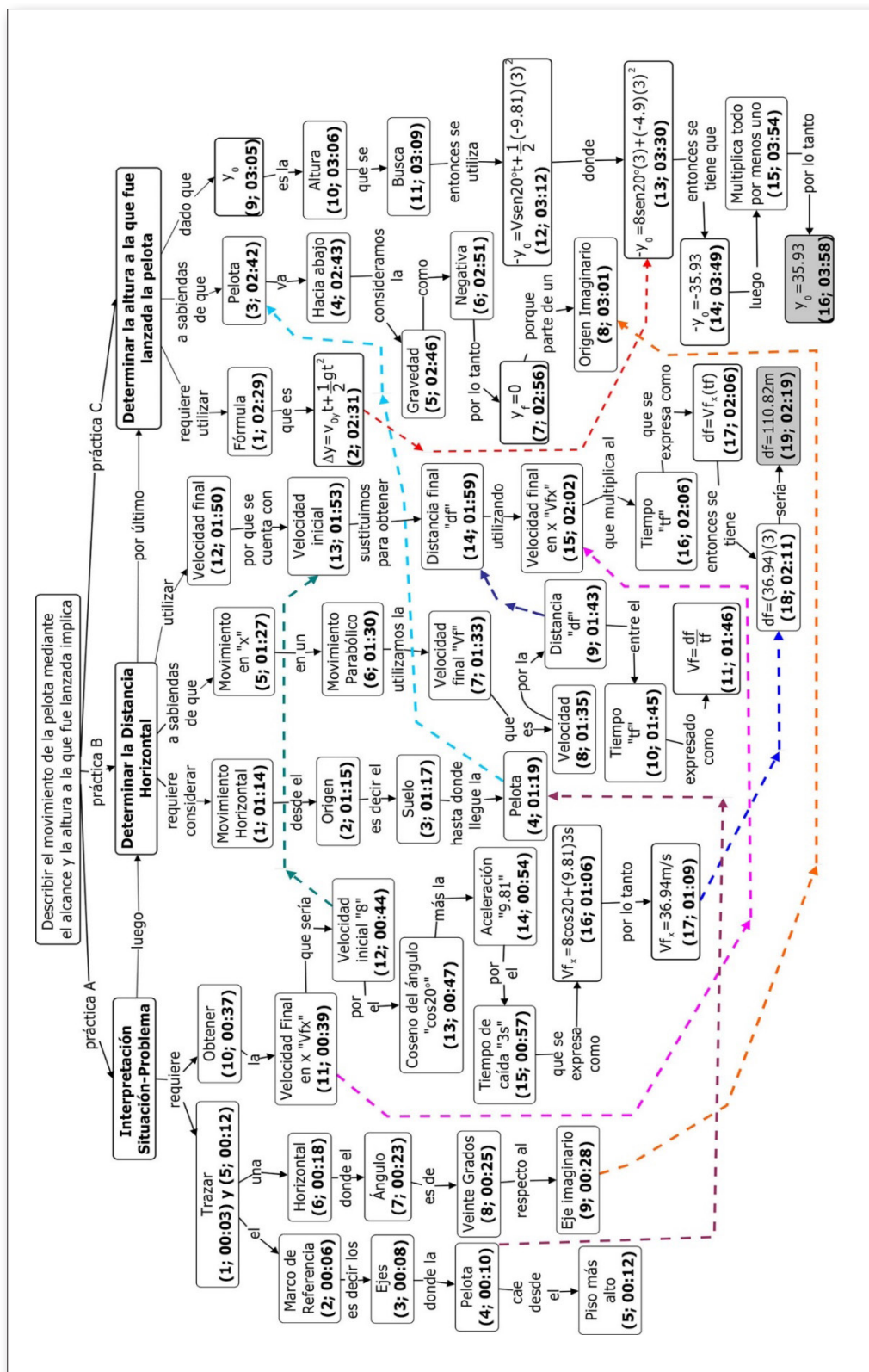


Fig. 6. MCH cognitivo correspondiente a la producción de Bruno (elaboración propia).

Posteriormente realizó un procedimiento de despeje de la fórmula en (12;01:50)-(13)-(14)-(15)-(16)-(17;02:06); luego realizó los procesos de *particularización* y *significación* que le permitieron sustituir los objetos emergentes (15;00:57) y (17;01:09) de la práctica A en la fórmula (17;02:06) de la práctica B; y a continuación, después de un proceso de *algoritmización* logró *materializar* (18;02:11) y el resultado incorrecto de la distancia final (19;02:19). Este resultado incorrecto muestra que el alumno atribuyó un *significado* inadecuado a los parámetros de la fórmula cinemática, en este caso, de (17;02:06).

Finalmente, Bruno llevó adecuadamente la última práctica C, pues le permitió obtener un resultado correcto para el inciso (b) del problema. Realizó el *proceso de memoria* y recordó la fórmula general (1;02:29)-(2;02:31) y después *visualizó* la trayectoria de la pelota (3;02:42)-(4;02:43), así como el marco de referencia y el sentido de sus ejes, que lo llevó a realizar un proceso de *argumentación* para justificar el signo negativo en la aceleración de la gravedad (5;02:46)-(6), la condición final (7;02:56)-(8) e inicial (9;03:05)-(10)-(11;03:09) de la trayectoria de la pelota.

En (12;03:12)-(13;03:30) Bruno llevó a cabo un proceso de *particularización* de la fórmula general (2;02:31), pues consideró las condiciones específicas de la situación abordada. También realizó un proceso de *algoritmización* al materializar el procedimiento que aparece en (12;03:12)-(13)-(14)-(15;03:54) y que le llevó a obtener el resultado correcto (16;03:58).

En general, Bruno llevó a cabo el conjunto de procesos esquematizados en la figura 4 en las tres prácticas; sin embargo, en el caso de las prácticas A y B, el desconocimiento de la propiedad de aceleración horizontal nula y de la *significación* inadecuada de los parámetros de las fórmulas (16;01:06) y (17;02:06) le condujeron a resultados incorrectos.

Bruno no llevó a cabo un operativismo ciego, de hecho, el sistema de prácticas de él con 52 objetos o recuadros (igual que el número de objetos presentes en el mapa de la docente, figura 6) luce un poco más compacto que el de Ana con 74 objetos (figura 5). También cabe señalar que Bruno no *materializó* fórmulas de cinemática innecesarias, ni las descartó a partir de criterios inadecuados.

COMPARACIÓN ENTRE EL MCH EPISTÉMICO Y EL MCH DE LOS ESTUDIANTES

En la resolución del problema, la docente llevó a cabo un conjunto de procesos cognitivos (figura 4) que permitió la emergencia de nuevos objetos fisicomatemáticos en las prácticas. Los objetos emergentes en una práctica son empleados en otras permitiendo la conexión entre ellas con la emergencia de otros objetos. Cabe señalar que es necesaria la realización de dicho conjunto de procesos; por ejemplo, Ana no realizó el proceso de *visualización* y llevó a cabo un proceso de *argumentación* a través de criterios inadecuados, lo que la condujo a la realización de un operativismo ciego de resolución (Escudero y Moreira, 1999). Sin embargo, dicho conjunto de procesos podría no ser suficiente, por ejemplo, Bruno realizó dichos procesos en las prácticas A y B, pero el desconocimiento de la propiedad de aceleración horizontal nula le llevó a obtener un resultado incorrecto.

La producción de la docente en la figura 2 y el MCH de la figura 3 pueden ser considerados como representaciones externas de las representaciones mentales de la docente, de hecho, si planteamos el mismo problema a otro profesor, se obtendría otra forma de resolverlo, pues los conocimientos fisicomatemáticos en distintos marcos institucionales adoptan formas particulares. La diferencia en las respuestas advierte distintas representaciones internas. De este modo, la representación externa es una manera de presentar diversos elementos epistemológicos en la construcción del conocimiento físico que supone un razonamiento único correcto en sentido absoluto, pues no señala cuál sería la representación institucional interna correspondiente.

La ambigüedad anterior queda superada mediante el empleo de las facetas ostensivo/no-ostensivo y cognitivo/epistémico. La producción y el MCH obtenido de la resolución de un problema, pueden ser considerados como representaciones ostensivas del sistema de prácticas donde participan objetos físicos y fisicomatemáticos no ostensivos. Si el sujeto es la docente experta, se dice que la producción y el mapa son epistémicos, mientras que si se trata de alguno de los estudiantes son cognitivos.

Por otro lado, el MCH de Ana deja en entredicho el señalamiento de Escudero y Moreira (1999) acerca del operativismo ciego, modelado mediante un sector de la V de Gowin que muestra la ausencia de relación entre los aspectos conceptuales y procedimentales. El MCH, al mostrar con detalle las conexiones entre los objetos fisicomatemáticos que intervienen en la resolución del problema, permite observar que sí hay una interacción entre lo conceptual y procedimental, por ejemplo, la conexión entre (21;01:23)-(22)-...-(28;01:36) y (1;02:41)-(2)-(3)-(4;02:46) con el procedimiento (8;06:36)-(9)-...-(13;07:02).

CONCLUSIONES

Las facetas ostensiva/no-ostensiva y cognitiva/epistémica, a través de la interpretación del MCH desde la adaptación del EOS a la física escolar, permitió analizar la actividad fisicomatemática implicada en la resolución del problema de movimiento parabólico por una docente y sus estudiantes.

La interpretación del MCH permite superar la ambigüedad que surge del manejo de la representación interna/externa en el análisis de la resolución de un problema físico, así se tiene que la producción, y por tanto el MCH correspondiente a ella, implicada en la resolución del problema, es de tipo epistémica o institucional, si esta corresponde a un docente experto, o bien es cognitiva, si corresponde a un estudiante. Al presentar la producción escrita y la transcripción del discurso oral, este es interpretado como una representación ostensiva del sistema de prácticas, es decir, se trata de una materialización de un conjunto de objetos físicos y fisicomatemáticos no ostensivos que fueron organizados y relacionados por el sujeto al resolver el problema. En contraste, la interpretación del MCH como una representación externa de diversos elementos epistemológicos del conocimiento físico soslaya la representación interna de la docente y obliga a pensar en un razonamiento absolutista, prescindiendo de las formas particulares que adopta el conocimiento fisicomatemático en los distintos marcos institucionales.

La realización de los procesos ilustrados en la figura 4 es una condición necesaria para la resolución del problema físico; sin embargo, no es suficiente, pues el desconocimiento de alguna propiedad física podría conducir a resultados incorrectos. La interacción entre el conocimiento *nuevo* que presenta el texto que describe el problema y el conocimiento previo del sujeto, puede ser modelado también mediante el esquema de la figura 4. En este sentido, prescindir del proceso de visualización y realizar de manera inadecuada el proceso de argumentación podría conducir al sujeto a la realización de un sistema de prácticas carente de elementos discursivos adecuados. La representación de los objetos físicos y fisicomatemáticos, y de sus conexiones mediante el MCH, permiten mirar el operativismo ciego como una realización inadecuada o la ausencia de algunos de los procesos, en lugar de considerarla como una actividad netamente procedimental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, T. M. F. (2004). El Mapa Conceptual: Un texto a interpretar. En A. J. Cañas, J. D. Novak y F. M. Gonzáles (Eds.), *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology* (pp. 31-38). Pamplona, España: Dirección de Publicaciones de la Universidad Pública de Navarra.

- Alomá, C. E. y Malaver, M. (2007). Los conceptos de calor, trabajo, energía y teorema de Carnot en textos universitarios de termodinámica. *Educere*, 11(38), 477-488.
- Bencomo, D., Godino, J. D. y Wilhelmi, M. R. (2004). Elaboración de redes ontosemióticas de configuraciones didácticas con Atlas/TI. En A. J. Cañas, J. D. Novak y F. M. González (Eds.), *Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping* (pp. 71-74). Pamplona, España: Dirección de Publicaciones de la Universidad Pública de Navarra.
- Blumer, H. (1969). *Symbolic Interactionism, perspective and method*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, Inc.
- Buteler, L., Gangoso, Z., Brincones, C. I. y González, M. M. (2001). La resolución de problemas en física y su representación: Un estudio en la escuela media. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 285-295.
- Concari, S. B. y Giorgi, S. M. (2000). Los problemas resueltos en textos universitarios de física. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 381-390.
- D'Amore, B. y Godino, D. J. (2007). El enfoque ontosemiótico como un desarrollo de la teoría antropológica en didáctica de la matemática. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 10(2), 191-218.
- Escudero, C. y Moreira, M. A. (1999). La V epistemológica aplicada a algunos enfoques en resolución de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 61-68.
- Font, M. V. y Contreras, Á. (2008). The problem of the particular and its relation to the general in mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 69(1), 33-52.
<https://doi.org/10.1007/s10649-008-9123-7>
- Font, M. V., Godino, D. J. y D'Amore, B. (2007). An onto-semiotic approach to representations in mathematics education. *For the Learning of Mathematics*, 27(2), 2-14.
- Gil, J., Solano, F., Tobaja, L. M. y Monfort, P. (2013). Propuesta de una herramienta didáctica basada en la V de Gowin para la resolución de problemas de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(2), 2402-2414.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172013000200017>
- Godino, D. J. (2003). *Teoría de las funciones semióticas, Un enfoque ontológico-semiótico de la cognición e instrucción matemática* (documento no publicado). Obtenido de <https://www.ugr.es/~jgodino/funciones-semioticas/monografiatfs.pdf>
- Godino, D. J., Batanero, C. y Font, M. V. (2007). The ontosemiotic approach to research in mathematics education. *ZDM The International Journal on Mathematics Education*, 39(1-2), 127-135.
<https://doi.org/10.1007/s11858-006-0004-1>
- Guisasola, J., Ceberio, M. y Zubimendi, J. L. (2003). El papel científico de las hipótesis y los razonamientos de los estudiantes universitarios en resolución de problemas de física. *Investigações em Ensino de Ciências*, 8(3), 211-229.
- Herrero, M. A. (2012). Instrumentalismo y realismo en la física de James C. Maxwell. *Naturaleza y Libertad. Revista de Estudios Interdisciplinarios*, 1(1), 77-138.
- Hinojosa, J. y Sanmartí, N. (2016). Promoviendo la autorregulación en la resolución de problemas de física. *Ciência & Educação*, 22(1), 7-22.
<https://doi.org/10.1590/1516-731320160010002>
- Montealegre, R. (2004). La comprensión del texto: sentido y significado. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 36(2), 243-255.
- Moreno, M. N., Aguilar, T. M. F., Angulo, V. R. G. y Ramírez, M. J. C. (2019). Análisis de la resolución de problemas de hidrostática en el bachillerato. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), 274-296.

- Moreno, M. N., Angulo, V. R. G., Reducindo, R. I. y Aguilar, P. R. M. (2018). Enseñanza de la física mediante fislets que incorporan mapas conceptuales híbridos. *Apertura*, 10(2), 20-35.
<http://dx.doi.org/10.32870/Ap.v10n2.1335>
- Moreno, M. N., Font, M. V. y Angulo, V. R. G. (2018). Un estudio sobre la comprensión de las nociones físicas de la mecánica newtoniana: el caso del centro de masa. *Revista de Enseñanza de la Física*, 30(2), 7-22.
- Moreno, M. N., Torres, M. R. de G. y Zúñiga, M. S. C. (2019). Enseñanza de Ecuaciones Diferenciales Ordinarias de primer grado mediante Mapas Conceptuales Híbridos. *Investigación e Innovación en Matemática Educativa*, 4(1), 2-17.
- Moreno, M. N., Zúñiga, M. S. C. y Tovar, R. D. A. (2018). Una herramienta gráfica para la resolución de problemas de cinemática. *Latin-American Journal of Physics Education*, 12(4). Revista electrónica sin paginación.
- Serway, A. y Jewett, W. (2008). *Física para Ciencias e Ingeniería*. México: Cengage Learning Editores S. A. de C. V.

Analysis of the resolution of a kinematics problem using the hybrid conceptual map

Nehemías Moreno Martínez

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México

nehemias.moreno@uaslp.mx

Luis Enrique Hernández Zavala

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México

luisenri.hernandez@cinvestav.mx

Eduardo Carlos Briceño Solís

Unidad de Matemáticas, Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, México.

ecbs74@gmail.com

The hybrid conceptual map technique is interpreted from an adaptation to school physics of some theoretical constructs of the ontosemiotic approach from Mathematics Education, more particularly, the constructs of mathematical object, semiotic function, practice, processes and perspectives were adapted. The adaptation starts from the idea that physical objects and physical-mathematical objects intervene in the resolution of a physical problem, the former are thought of as abstractions or idealizations of the facts, concrete objects or physical entities that are linked to the experimental results, while the latter are modeled by means of relationships of significance established between some physical objects and mathematical objects understood in the sense of the ontosemiotic approach.

The hybrid conceptual map or hybrid map is built from the oral and written production made by the subject, novice or expert, that solves a certain physical problem. The map thus constructed is called epistemic if it corresponds to the production of an expert and cognitive if it corresponds to that of a novice. The interpretation of the map from this theoretical adaptation mentioned above allows to graphically analyze the physical-mathematical activity of the subject involved in the resolution of a physical problem.

The interpretation of the hybrid map made it possible to address the problem of the use of the notion of representation as internal/external in the study of the physical-mathematical activity involved in solving physical problems and, alternatively, the objective of investigating the notion of representation when considering it in terms of two dual perspectives ostensive/non-ostensive and cognitive/epistemic adapted from the ontosemiotic approach. It was hypothesized that the internal/external perspective triggers certain ambiguities, for example, an external representation allows students to observe and distinguish various epistemological elements, however, it does not say anything about what would be the internal representation corresponding to said epistemological elements represented externally.

Through a descriptive case study, the interpretation of the hybrid map made it possible to study the practices of solving a parabolic motion problem carried out by a teacher and two of her university physics students, Ana and Bruno. The interpretation of the hybrid maps allowed to graphically represent and analyze the physical and physical-mathematical objects that intervene in the resolution of the physical problem posed, the organization and connection of the objects that participate in the resolution practice system as well as the processes carried out by the subjects.

The results show that the teacher solves the problem correctly through the realization of a set of cognitive processes (reading comprehension, visualization, idealization, particularization, argumentation, meaning and materialization) necessary to produce physical-mathematical knowledge in the problem solving process.

The student Ana obtained correct solutions to the problem, however, she performed blind operativism by attending to superfluous aspects of the problem. The hybrid map, by showing the connections between the objects that participate in solving the problem, leads to reformulate blind operativism as an inadequate realization or the absence of some of the cognitive processes instead of an absence of relationship between the conceptual and the procedural. The student Bruno carried out the same set of processes as the teacher, however, he solved the problem posed incorrectly due to the lack of adequate prior knowledge.

The interpretation of the hybrid maps allows us to conclude that the physical-mathematical activity can be described in a more adequate way by considering the notion of representation in terms of two facets or dual perspectives, cognitive/epistemic and ostensive/non-ostensive, instead of interpreting it only as internal/external.



Efectos de trabajar con GeoGebra en el aula en la relación afecto-cognición

Effects of working with GeoGebra in the classroom on the affect-cognition relationship

M.^a del Mar García López, Isabel M.^a Romero Albaladejo, Francisco Gil Cuadra
Departamento de Educación, Universidad de Almería, Almería, España.
mgl711@ual.es, imromero@ual.es, fgil@ual.es

RESUMEN • El auge del uso de la tecnología en educación matemática, especialmente en el enfoque dinámico de la geometría, requiere estudios empíricos bien fundamentados que informen sobre su uso efectivo en las aulas. Este artículo responde a la demanda de intervenciones que atiendan a las dimensiones afectiva y cognitiva, así como al estudio de la relación entre ambas. Mediante un experimento de enseñanza en dos clases de secundaria, se analiza la influencia de GeoGebra en el desarrollo de actitudes relacionadas con las matemáticas y de la competencia matemática en el alumnado. El análisis cuantitativo de los datos muestra una evolución positiva en las variables estudiadas, mientras que el análisis cualitativo informa sobre cómo se produjo esta evolución, sobre las propiedades del *software* que la sustentaron y sobre la relación entre los constructos afectivos y cognitivos.

PALABRAS CLAVE: Actitudes; Competencia matemática; Afecto-cognición; GeoGebra; Educación secundaria.

ABSTRACT • The rise of the use of technology in mathematics education, especially in the dynamic approach to geometry, requires well-founded empirical studies that inform its effective use in the classroom. This article responds to the demand for interventions that address the affective and cognitive dimensions, as well as the study of the relationship between them. Through a teaching experiment in two secondary school classes, the influence of GeoGebra in the development of students' attitudes related to mathematics and mathematical competence is analysed. The quantitative analysis of the data shows a positive evolution in the studied variables, while the qualitative analysis reports on how this evolution took place, on the properties of the software that supported it and on the relationship between affective and cognitive constructs.

KEYWORDS: Attitudes; Mathematical literacy; Affect-cognition; GeoGebra; Secondary education.

Recepción: abril 2020 • Aceptación: diciembre 2020

INTRODUCCIÓN

Desde la aparición de la geometría dinámica, a principios de los años noventa, los desarrollos tecnológicos presentan nuevos retos en la enseñanza y el aprendizaje de la geometría. Los estudios empíricos sobre su uso en las aulas constituyen una importante línea de investigación, debido a la necesidad de comprender cómo pueden ser utilizados de forma efectiva para implicar a los estudiantes en un aprendizaje significativo (Sinclair et al., 2016).

Dentro de los sistemas de geometría dinámica (SGD), GeoGebra ha ganado terreno por ser un *software* libre, de rápido desarrollo y con una gran comunidad de usuarios. Además, cuenta con una trayectoria de investigación sobre su uso en las aulas, con resultados positivos tanto a nivel cognitivo como afectivo (Costa, 2011; Gómez-Chacón, Romero y García, 2016; Wassie y Zergaw, 2018; Zengin, 2017b).

Hasta la fecha, la mayoría de los estudios sobre GeoGebra ponen el foco en el aprendizaje de distintos tópicos matemáticos y de resolución de problemas (Wassie y Zergaw, 2018). Los aspectos afectivos suelen quedar en segundo plano y, aunque se reconoce el potencial del *software* para fomentar la motivación de los estudiantes, su autonomía, implicación, etc., son escasos los estudios centrados en la dimensión afectiva, o los que abordan la relación afecto-cognición (Gómez-Chacón, 2011; Gómez-Chacón et al., 2016; Gómez-Chacón y Marbán, 2019). Sin embargo, la estrecha conexión entre ambas dimensiones es manifestada por estos y otros autores (Gresalfi, 2009; Roth y Walshaw, 2019), por lo que su estudio es demandado actualmente en la agenda de investigación en educación matemática (Hannula, Leder, Morselli, Vollstedt y Zhang, 2019).

Por otro lado, Hannula et al. (2019) advierten del peligro de que los desarrollos teóricos no tengan repercusión en la práctica y reclaman programas e intervenciones que promuevan los aspectos afectivos en el aprendizaje matemático. En una etapa tan crítica como la de educación secundaria, donde la motivación y el disfrute con las matemáticas decrece con el paso de los cursos (Grootenboer y Marshman, 2015; OECD, 2010), la inclusión de herramientas tecnológicas como GeoGebra es una alternativa interesante para atender a las necesidades e intereses de los jóvenes.

Este artículo presenta un experimento de enseñanza (Molina, Castro, Molina y Castro, 2011), en el que se introduce GeoGebra en dos aulas de 3.º de ESO, para trabajar contenidos de geometría plana. La finalidad de la propuesta es incidir favorablemente en las actitudes y el desarrollo competencial del alumnado, así como analizar la influencia del trabajo con el software en ambos aspectos y la relación entre ellos.

MARCO TEÓRICO

Presentamos en este apartado los constructos teóricos utilizados para abordar las dimensiones actitudinal y competencial en este estudio, que permitirán delimitar su propósito y las preguntas de investigación.

La dimensión actitudinal

El estudio del afecto en matemáticas es un campo complejo, debido a la ausencia de un marco teórico unificado y con elementos bien delimitados (Hannula, Pantziara y Di Martino, 2018). Dentro de este campo, el concepto de actitud es uno de los más problemáticos, ya que los estudios existentes sobre actitudes no concluyen una definición clara del constructo en sí mismo. Con frecuencia, la actitud es definida implícitamente, y a posteriori se nos presenta a través de instrumentos usados para medirla. Además, las investigaciones que aportan una definición de actitud no comparten una única caracterización (Di Martino y Zan, 2010).

A pesar de esta falta de uniformidad, se observa una división clara en la literatura entre las *actitudes hacia la matemática*, de carácter más marcadamente afectivo y cuyo objeto es la matemática como disciplina, y las *actitudes matemáticas*, de carácter más cognitivo y que tienen por objeto los procesos y actividades matemáticas (De Bellis y Goldin, 2006; Gómez-Chacón, 2011).

Dentro de las actitudes hacia la matemática se incluyen la motivación y el disfrute, la autoconfianza, la utilidad percibida, el interés, la satisfacción, etc. Su estudio tiene una larga tradición, que es más reducida para los entornos tecnológicos. En el caso de GeoGebra, trabajos como los de Wassie y Zergaw (2018), Yoganci (2018), Zetriuslita, Nofriyandi e Istikomah (2020) y García y Romero (2020) muestran que este *software* ayuda a aumentar la confianza, la autoestima, el interés y la motivación de los estudiantes. De acuerdo con Gómez-Chacón (2011), la tendencia para evaluar las actitudes hacia las matemáticas ha sido el uso de cuestionarios, desarrollados desde la perspectiva de una definición multidimensional de la actitud, siendo la motivación y la confianza las dimensiones con mayor impacto en el aprendizaje. La propia autora señala la coincidencia de varios estudios en que la confianza y la motivación de los estudiantes tienen una correlación más fuerte con las actitudes hacia el uso de ordenadores en el proceso de enseñanza-aprendizaje que con las actitudes hacia la matemática. Abordamos ambas actitudes en este estudio.

Por lo que respecta a las actitudes matemáticas, su investigación está bastante menos desarrollada que la de las actitudes hacia la matemática (Gómez-Chacón, 2019). Ejemplos de actitudes matemáticas son la perseverancia, la flexibilidad de pensamiento, la sistematicidad, el espíritu crítico, la precisión, el rigor, etc. (De Bellis y Goldin, 2006; Gómez-Chacón, 2011, 2019). El que un estudiante muestre actitudes favorables hacia las matemáticas no quiere decir que tenga desarrolladas las mencionadas actitudes, las cuales son consustanciales al quehacer matemático. Precisamente esta fuerte componente cognitiva de las actitudes matemáticas implica que su estudio no puede realizarse únicamente de forma declarativa, sino que ha de completarse con la observación de los comportamientos de los estudiantes mientras llevan a cabo actividades matemáticas específicas. Por otra parte, las actitudes matemáticas no son el resultado de decisiones espontáneas, sino que son hábitos mentales que pueden y deben ser inculcados en entornos de clase apropiados (Gómez-Chacón, 2011).

Algunas investigaciones revelan efectos positivos del uso de la tecnología en el desarrollo de actitudes matemáticas en los estudiantes (Jaramillo y Ruiz, 2010; Stolaki y Economides, 2018). También en el caso de GeoGebra, Gómez-Chacón (2011), García (2011) y Gómez-Chacón et al. (2016) resaltan los resultados positivos de usar tecnologías que promueven la visualización y la exploración para desarrollar la perseverancia, la autonomía, el pensamiento crítico, la precisión y el rigor, y la actitud inductiva en los estudiantes.

En ausencia de un marco definido sobre cuáles son las actitudes matemáticas básicas deseables y sus rasgos observables, proporcionamos en un trabajo precedente una caracterización operativa de varias de ellas (García, 2011). Por motivos de extensión, nos limitamos aquí a presentar los indicadores derivados de dicha caracterización para la observación de las actitudes: autonomía, creatividad, flexibilidad de pensamiento, perseverancia y precisión-rigor (tabla 1):

Tabla 1.
Parrilla de actitudes matemáticas

<i>Actitudes matemáticas</i>	<i>Indicadores</i>
Autonomía	AU1 Renuncia a pensar por sí mismo/a y prefiere recurrir a otros para que le indiquen cómo proceder AU2 Muestra iniciativa para superar obstáculos AU3 Toma sus propias decisiones para sus propios propósitos
Creatividad	C1 No muestra inclinación a probar caminos o estrategias diferentes para resolver un problema C2 Le gusta inventar nuevas estrategias o problemas C3 Propone soluciones originales y estéticas a los problemas
Flexibilidad de pensamiento	FP1 Cambia de opinión sobre la base de argumentos convincentes FP2 Resuelve los problemas de más de una forma FP3 Se interesa por la/s forma/s en que otros compañeros resuelven problemas, diferentes a la suya
Perseverancia	P1 Ante un problema, se da por vencido fácilmente sin llegar a ninguna respuesta P2 Cuando fracasa en el intento de resolver un problema, se conforma con una respuesta incorrecta y no lo intenta otra vez. P3 No abandona el problema hasta que llega a una solución que le satisface y considera correcta
Precisión-rigor	PR1 No da importancia a los errores de cálculo o a las imprecisiones de la construcción geométrica PR2 Se contenta con soluciones aproximadas, sin plantearse su bondad o su adecuación PR3 Pone atención a las construcciones geométricas y a los cálculos, tiene escasa tolerancia a los errores e intenta averiguar si estos se deben a fallos de razonamiento

La dimensión competencial

A la hora de promover y evaluar el aprendizaje matemático de los estudiantes, hay una corriente internacional que se enfoca en el desarrollo de su competencia matemática (Lupíáñez y Rico, 2008; Proyecto PISA, OCDE, 2017). Esta competencia global se articula en otras siete competencias o capacidades matemáticas fundamentales: comunicación, matematización, representación, razonamiento y argumentación, diseño de estrategias para resolver problemas, uso de operaciones y lenguaje simbólico, y uso de herramientas (OCDE, 2017).

Numerosas investigaciones corroboran el potencial de la geometría dinámica para ayudar a los estudiantes en la comunicación matemática (Takaci, Stankov y Milanovic, 2015; Zengin, 2017a); la matematización (Costa, 2011); el manejo de representaciones (Santos-Trigo, 2008; Takaci et al., 2015); la formulación de conjeturas, argumentaciones y pruebas (Baccaglini-Frank, 2019; Sinclair et al., 2016; Zengin, 2017b), y la resolución de problemas (Sinclair y Yurita, 2008; Granberg y Olsson, 2015).

En varios de estos trabajos se explicita cómo determinadas propiedades y características de los SGD apoyan el desarrollo de estas competencias. Entre ellas, destacan las siguientes: constructividad (posibilidad de construir rápidamente ejemplos sobre los que razonar, y de actuar por ensayo-error); navegabilidad (posibilidad de explorar libre y flexiblemente); interactividad (retroalimentación inmediata que permite la toma de conciencia y conciliación de errores); interfaz (modo de capturar la acción y atención del aprendiz); precisión (ejecución de las acciones del usuario con exactitud), y arrastre (o *dragging*, que obliga a pensar y razonar los problemas en términos de propiedades matemáticas).

Dado que este estudio se llevó a cabo en un contexto real, dentro del marco curricular establecido (García, 2011), para evaluar el desarrollo de la dimensión competencial se adoptó el marco del Análisis Didáctico, propuesto por Rico y colaboradores para diseñar y evaluar unidades didácticas (Rico y

Lupiáñez, 2008; Lupiáñez y Rico, 2008) en consonancia con el Proyecto PISA. Dentro de este marco, el Análisis Cognitivo permite vincular las expectativas de aprendizaje de orden superior (capacidades matemáticas fundamentales) con las capacidades específicas que se ponen en juego al realizar tareas matemáticas y asociarles un nivel de complejidad del 1 al 3 (tabla 2). Dichos niveles de complejidad se corresponden con los establecidos por Rico y Lupiáñez (2008) a partir del proyecto PISA:¹

- *Nivel 1 (Reproducción)*: Los estudiantes pueden resolver cuestiones en contextos simples o familiares donde la información relevante está claramente definida. Son capaces de hacer aplicaciones directas de conocimientos matemáticos ya estudiados. Realizan operaciones rutinarias.
- *Nivel 2 (Conexiones)*: Los estudiantes pueden trabajar situaciones relativamente desconocidas. Son capaces de seleccionar, interpretar e integrar diferentes representaciones. Aplican estrategias simples para resolver problemas y usan secuencias de cálculos. Pueden expresar brevemente sus interpretaciones y razonamientos.
- *Nivel 3 (Reflexión)*: Los estudiantes pueden trabajar con situaciones desconocidas. Son capaces de seleccionar y evaluar estrategias apropiadas para la resolución del problema, o diseñar otras nuevas. Poseen un alto nivel de interpretación, uniendo diferentes informaciones y representaciones, y se mueven flexiblemente entre ellas. Además, comunican sus acciones y reflexiones según sus propios hallazgos, interpretaciones y argumentaciones.

PROPÓSITO DE LA INVESTIGACIÓN

El predominio de la investigación cuantitativa sobre los efectos de la tecnología en educación matemática, tanto a nivel cognitivo como afectivo, deja un hueco en la agenda, ya que dichos efectos están ligados a *cómo* se produce su implementación en las aulas (Hoyle y Lagrange, 2010). De ahí la demanda de estudios, incluidos los de replicación, que identifiquen factores decisivos que determinen los beneficios en casos específicos. Dichos estudios deben estar bien diseñados metodológicamente, de acuerdo con los estándares actuales, a la vez que fundamentados en las teorías específicas de la educación matemática (Drijvers, 2018). Trabajos de este tipo, como el que presentamos, pueden avanzar respuestas a las siguientes cuestiones:

- ¿Es posible diseñar con GeoGebra un entorno de enseñanza en el que la predisposición de los estudiantes hacia el uso de la tecnología se aproveche para desarrollar favorablemente sus actitudes hacia la matemática y sus actitudes matemáticas?
- En caso afirmativo, ¿cómo influye el trabajo con GeoGebra y sus características en el desarrollo de cada tipo de actitud?
- ¿Es posible llegar a una estabilización actitudinal en los estudiantes? ¿En qué medida se mantiene cuando se deja de utilizar GeoGebra?
- ¿Cómo influye el trabajo con GeoGebra, y sus propiedades, en el desarrollo de la competencia matemática del alumnado?
- ¿Repercute el desarrollo actitudinal del alumnado en su desarrollo cognitivo? ¿De qué manera? ¿Es posible establecer una ruta de influencia positiva afecto-cognición a nivel de aula, sostenida por las propiedades y usos de GeoGebra?

1. La nomenclatura y el grado de especificidad en los niveles de complejidad se ha actualizado en los sucesivos informes PISA. No obstante, mantenemos la nomenclatura y los niveles descritos por Rico y Lupiáñez (2008), por ser más sencilla su aplicación en la evaluación de aula y ser coherente con desarrollos posteriores.

METODOLOGÍA

Atendiendo al propósito del estudio, el paradigma de la investigación de diseño puede contribuir al cuerpo de conocimiento, y proporcionar una perspectiva detallada sobre el aprendizaje matemático de los estudiantes en su entorno natural y los mecanismos que lo influyen. Dentro de este paradigma, se realizó un experimento de enseñanza en dos clases de 3.º de ESO de un centro TIC de educación pública, con 23 estudiantes cada una. La profesora encargada de la implementación es la primera autora del artículo y trabajó en colaboración con la segunda autora, investigadora universitaria. Para el experimento se diseñaron dos secuencias de tareas, la primera para ser trabajada con lápiz y papel e instrumentos de dibujo tradicionales (secuencia LP), y la segunda para ser abordada mediante GeoGebra (secuencia GG). Ambas secuencias se desarrollaron con planteamientos metodológicos comunes, siendo el empleo del *software* la única diferencia.

Durante 25 sesiones, distribuidas en dos meses, el alumnado trabajó en parejas sobre tareas contextualizadas que podían afrontar con conocimientos básicos de geometría y sin explicaciones previas. En la secuencia GG, cada pareja de estudiantes compartía un ordenador. De acuerdo con lo que la literatura de investigación considera como buenas prácticas en educación matemática con tecnología (Bray y Tangney, 2017), se estimuló en los estudiantes la exploración, la indagación y la colaboración; mientras que la profesora actuó como facilitadora del aprendizaje, supervisando, registrando y orquestando el aprendizaje. En total se necesitaron 13 sesiones para las tareas de LP, sobre polígonos y contenidos de geometría plana; y 12 sesiones para las tareas con GG, sobre teselaciones del plano.

Durante el proceso, se utilizaron diversos instrumentos para tomar datos tanto de forma declarativa como observacional. En el caso de las actitudes, se utilizó la escala EAHM-U (Bazán, 1997) para las actitudes hacia las matemáticas, y el cuestionario MIO (García y Romero, 2020), que fue diseñado y validado exprofeso para las actitudes hacia el aprendizaje de las matemáticas con ordenadores. Además, se recogieron opiniones del alumnado en un buzón virtual de sugerencias voluntarias, y se realizó una entrevista colectiva a cada clase. Los datos declarativos se contrastaron con observaciones en el aula a través de la parrilla de actitudes (tabla 1). Las observaciones fueron registradas por la profesora-investigadora y validadas por un observador externo.

Para la observación del desarrollo competencial en los estudiantes, se utilizaron parrillas de observación, elaboradas específicamente para cada tarea y contrastadas por un grupo de expertos en Análisis Didáctico. A modo de ejemplo, se muestra la parrilla correspondiente a la tarea 9 de la secuencia didáctica diseñada (tabla 2):

Tarea 9: Te propongo el trabajo inverso al que has venido haciendo hasta ahora: en lugar de que busques diseños de losetas que sirvan para hacer mosaicos, te doy dos diseños de mosaicos muy famosos (figuras 1 y 2) que se encuentran en la Alhambra, para que partiendo de un cuadrado, consigas dibujarlos usando GeoGebra. (Deberás usar traslaciones, giros o simetrías).

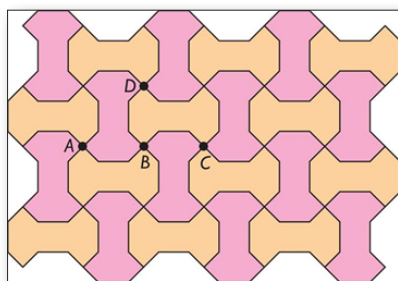


Fig. 1. Mosaico del hueso.

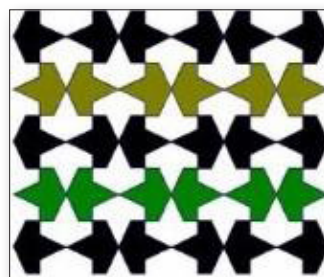


Fig. 2. Mosaico del avión.

Tabla 2.
Parrilla de capacidades específicas,
capacidades fundamentales y niveles de complejidad para la tarea 9

	<i>Capacidades fundamentales</i>	<i>Nivel</i>
1. Interpreta el enunciado del problema contextualizado en términos matemáticos (pasar del contexto de la tarea al matemático)	RA,M,RE	2
2. Expresa oralmente y por escrito estrategias seguidas y resultados		
2.1 Se expresa oralmente con sus palabras	C	1
2.2 Se expresa oralmente con vocabulario matemático adecuado	C	2
2.3 Se expresa por escrito con sus palabras	C, RP	1
2.4 Se expresa por escrito con vocabulario matemático adecuado	C, RP	2
3. Maneja distintas representaciones de polígonos para crear mosaicos	RE, UH	2
4. Distingue representaciones de mosaicos regulares dibujando y usando isometrías	RA, M, RE	2
5. Identifica y explica la obtención del motivo mínimo de un mosaico dada su representación contextualizada	C, M, RE	3
6. Crea teselas deformando por giros y/o traslaciones los lados de un triángulo, cuadrilátero o hexágono regular, explicando el procedimiento seguido	C, RE, UH	3
7. Crea mosaicos a partir de polígonos deformados con distintas isometrías o con combinaciones de ellas, explicando el procedimiento seguido		
7.1 No se plantea una estrategia: busca combinaciones por ensayo-error	RA, C, RE, RP, UH	1
7.2 Razona qué isometría debe aplicar identificando sus elementos: vector, centro, ángulo, eje	RA, C, RE, RP, UH	2
8. Argumenta cómo obtiene las teselas y los mosaicos (vectores y ángulos de giro)	A, C	3
9. Comprende razonamientos y argumentaciones de otros (compañeros o del profesor)	RA, C	3
10. Emplea correctamente las distintas herramientas isométricas del programa para teselar	RE, UH	2

Nota: RA = Razonar, A = Argumentar, C = Comunicar, M = Matematizar, RE = Representar, RP = Diseño de estrategias para resolución de problemas, UH = Uso de herramientas.

La secuencia completa de tareas GG, con sus correspondientes parrillas, pueden consultarse en García (2011, pp. 654-666).

Los datos procedentes de los instrumentos anteriores se analizaron para la totalidad de estudiantes. Además, se hizo un estudio en profundidad de una muestra de 12 de ellos, representativa del total, seleccionada a partir de los perfiles actitudinales y cognitivos identificados durante la secuencia de LP (tabla 3).

Tabla 3.
Perfiles de la muestra de estudiantes

		<i>Actitudes</i>		
		<i>Inadecuadas</i>	<i>Adecuadas</i>	<i>Buenas</i>
Competencia	Insuficiente	A2, A3, A7, A9	A5, A11	
	Suficiente	A6	A1, A8, A12	A10
	Buena			A4

Para estos estudiantes, se triangularon los datos procedentes de las soluciones escritas a las tareas, los archivos de su resolución con GeoGebra, las grabaciones en audio del proceso de resolución y las parrillas de observación anteriormente mencionadas, mediante el *software* Atlas.ti (figura 3).

En dicho *software* se insertaron las grabaciones de audio, los archivos de GeoGebra y los protocolos de resolución de cada tarea para cada estudiante de la muestra, integrados de forma que su trabajo durante cada sesión pudiera ser reconstruido. A continuación, se codificó el material, tomando como códigos los indicadores de las parrillas de actitudes y competencias. Se añadieron los datos declarativos relativos a las actitudes hacia la matemática y los comentarios realizados por la profesora-investigadora en su diario de clase. La codificación y el análisis de cada episodio significativo permitieron comprender el proceso evolutivo de actitudes y competencias, y establecer conexiones. Asimismo, permitieron observar qué factores apoyaban este proceso (propiedades de GeoGebra, interacción con compañeros e interacción con profesora). Este trabajo fue revisado y aprobado por un experto en Atlas.ti y en análisis del discurso en el aula.

Comentarios de la profesora-investigadora → Les pregunto que cómo lo han hecho y quieren hablar los dos a la vez. Me sorprende el hecho de que tan sólo lleven 1:30 minutos trabajando en esta actividad y ya tengan el motivo mínimo del hueso.

Transcripciones de audio

Construcciones de los estudiantes

55:5 Fco: hemos dibujado...
 Ramón: este cuadrado de aquí, hemos hecho aquí otro polígono y lo hemos girado (les digo: y después lo habéis hecho...) girando claro.
 Fco: 270°
 Ramón: por aquí (les pregunto: y éste y éste, ¿cómo lo habéis hecho? ¿con el ratón?) estos 2 con el ratón claro (y de aquí a aquí, ¿cómo habéis pasado?) pues girando 90° por aquí
 Les digo que continúen y cuando tengan unas cuántas losetas que pasen al otro mosaico

55:6 Fco: ¿cuántos?
 Ramón: 90 siempre creo yo

55:7 Ramón: ¡a ver! ¡sí!
 han girado 90° con centro en B'1

vuelven a girar 90° con centro en C'1

55:8 Fco: ahora intenta poner uno ahí en el medio
 55:9 Fco: ¿90 también?
 Ramón: sí

Códigos de las parrillas de competencias y actitudes

- CG2.2. Se expresa oralmente
- SS19. Es capaz de sintetizar
- CO26. Confía en poder resolver
- EC4. Analiza la solución o el problema
- T1_C2. Distingue representaciones
- AU16. Trabaja de modo autónomo
- CO26. Confía en poder resolver
- FP1. Resuelve los problemas

Fig. 3. Codificación y análisis de un fragmento del trabajo de una pareja de estudiantes con Atlas.ti.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La triangulación de datos cuantitativos y cualitativos permitió la construcción de una imagen consistente y detallada de los efectos del uso de GeoGebra en el aula, que presentamos y discutimos a continuación.

Desarrollo actitudinal con GeoGebra

Por lo que respecta a las actitudes hacia la matemática, los análisis estadísticos de las respuestas a la escala EAHM-U, completada antes y después de la experiencia con GeoGebra, revelaron que la mayoría de los estudiantes no experimentó mejoras en sus actitudes hacia las matemáticas. Sin embargo, cuando se les preguntó específicamente por estas actitudes durante el trabajo con GeoGebra mediante el cuestionario MIO, el 63 % de los estudiantes indicaron que el uso de los ordenadores les había ayudado a sentirse más seguros; el 72,1 % afirmó haber confiado más en sus capacidades y el 78,3 % señaló que el uso de GeoGebra les había motivado para trabajar en matemáticas (García y Romero, 2020). Estos resultados concuerdan con los anteriormente expuestos sobre la correlación más fuerte de la confianza y la motivación con las actitudes hacia la tecnología que con las actitudes hacia las matemáticas.

La triangulación de la información procedente de los restantes instrumentos empleados corrobora el resultado de los test. Así, en los buzones virtuales de sugerencias con las opiniones libres de los estudiantes, el 90,5 % de ellos expresó que el manejo de la herramienta ayudó a que les gustase más el trabajo en matemáticas, les resultase más fácil y mostrasen más confianza en sus posibilidades de éxito, como se aprecia en estas entradas del buzón:

- Opinión de J. P.: «Me ha gustado mucho lo de hacer las mates con el ordenador porque así mejoramos nuestro rendimiento, nos gustan más, se nos pasa más rápido el tiempo y nos esforzamos más y nos lo pasamos mejor».
- Opinión de M. R.: «Me ha gustado trabajar con los ordenadores, me ha parecido muy interesante y se me ha dado mejor. La asignatura se me ha hecho más amena y me ha resultado mucho más fácil. Sí, me ha gustado mucho».

También en las entrevistas grupales los estudiantes informaron sobre la motivación y la confianza promovidas por el SGD:

- Pregunta: ¿Qué es lo más importante o significativo de la experiencia de estudiar geometría con GeoGebra?
- Respuesta de E. S.: «Con los ordenadores estás más motivado. Cuando lo hacíamos con LP, antes de la clase pensabas que tocaba matemáticas y estabas desganado, pero con los ordenadores nos gusta más. (Varios compañeros opinan igual)»
- Respuesta de R. B.: «Es más entretenido. Con el ordenador se ve mejor porque puedes hacerlo tú, sacar la conclusión tú».

El análisis más completo llevado a cabo para los estudiantes de la muestra corrobora estos resultados. Así, el análisis de sus parrillas de actitudes informó de una mayor motivación (mayor gusto por las matemáticas) y de un aumento de la confianza en sus posibilidades de éxito propiciada por el trabajo con GeoGebra (figuras 4 y 5, respectivamente):

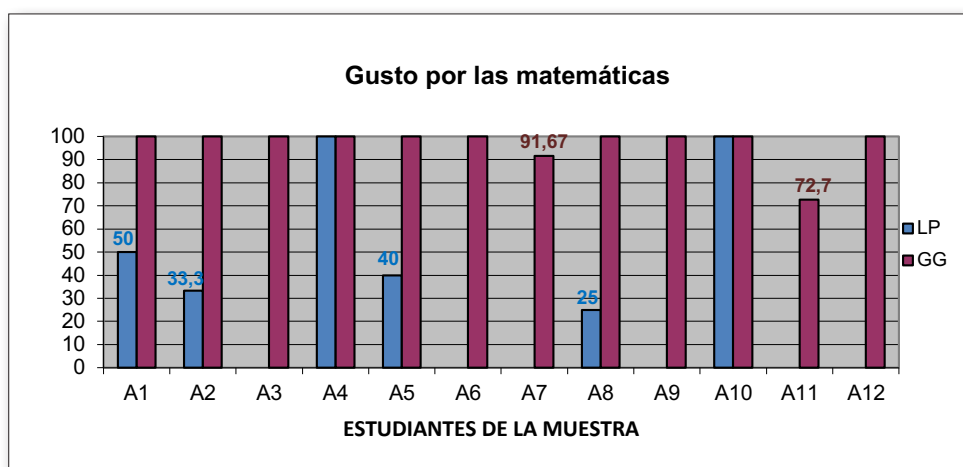


Fig. 4. Porcentajes medios obtenidos por los estudiantes de la muestra durante las tareas LP y GG en el gusto por las matemáticas.

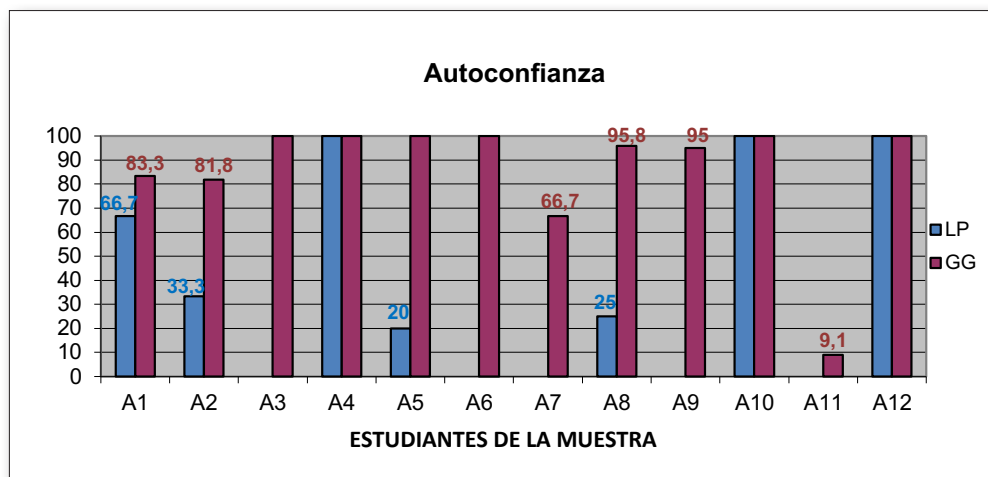


Fig. 5. Porcentajes medios obtenidos por los estudiantes de la muestra durante las tareas LP y GG en autoconfianza.

En el caso de las *actitudes matemáticas*, los resultados cuantitativos para el total de estudiantes (tabla 4) muestran un claro progreso en las sesiones GG. Durante las tareas LP, los alumnos mostraban escasas actitudes matemáticas, siendo las más desfavorecidas autonomía y creatividad. Con la introducción del *software*, tres de las cinco actitudes mejoraron notablemente: perseverancia, autonomía y precisión-rigor. En menor medida evolucionaron la flexibilidad de pensamiento y la creatividad.

Tabla 4.
Actitudes matemáticas en sesiones LP y GG

Actitud	Lápiz y papel ^{a)}			GeoGebra ^{a)}		
	Ninguno	Algunos	Mayoría	Ninguno	Algunos	Mayoría
Autonomía	72	28	0	4	0	96
Creatividad	68	27	5	25	42	38
Flexibilidad de pensamiento	51	34	15	21	12	67
Perseverancia	55	40	5	0	4	96
Precisión y rigor	50	45	6	8	0	92

^{a)} porcentaje de sesiones con lápiz y papel y con GeoGebra en las cuales ningún estudiante, algunos estudiantes (menos del 70 % del total) o la mayoría de ellos (70 % o más del total) manifestó cada una de las actitudes estudiadas.

Por lo que respecta a los 12 estudiantes de la muestra, la figura 6 muestra de forma simplificada los resultados obtenidos a partir de las parrillas de observación individuales. Los porcentajes se obtuvieron analizando el porcentaje de sesiones en las que los estudiantes de la muestra manifestaron adecuadamente cada actitud, tanto para las sesiones de LP como para las de GG.

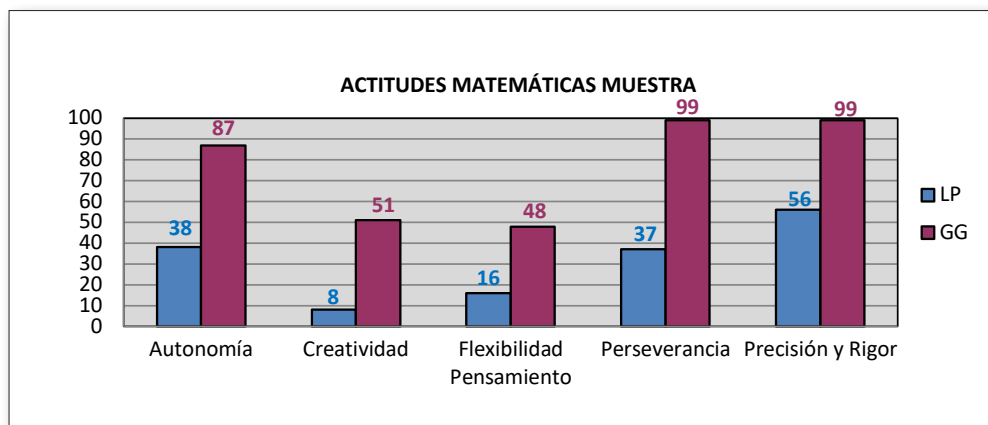


Fig. 6. Porcentajes de sesiones y actitudes evidenciadas por estudiantes de la muestra.

Factores de influencia en el desarrollo actitudinal

Respecto a los atributos de GeoGebra que influyeron en el desarrollo actitudinal, la constructividad ejerció mayor influencia para el desarrollo de la confianza de los estudiantes. Así, poder probar construcciones y tener actividad en todo momento los incitó a continuar trabajando en las tareas, y el ir comprobando cómo eran capaces de resolverlas les fue haciendo sentirse más seguros. También la interactividad del SGD contribuyó a ello, ya que la realimentación en tiempo real cuando probaban alguna idea, incluso en ausencia de una estrategia definida, ayudó a muchos estudiantes a vencer las situaciones de bloqueo, al tiempo que les informaba de la bondad de algunas de sus acciones, haciéndoles ganar poco a poco confianza en poder resolver las tareas por sí mismos. El siguiente fragmento extraído de la reconstrucción con Atlas.ti de la tarea 1 para A7 puede tomarse como ejemplo:

A7: «yo quiero hacer aquí una figura, pero no sé... voy a probar figuras ahí a mogollón».

A7: «Espérate (se dice a sí misma), vamos a concentrarnos».

A7: «¿Y qué era un pentágono? (se ríe y sigue hablando consigo misma y se para a pensar cómo continuar. Se muestra muy animada para encontrar más mosaicos y parece que la tarea no le disgusta)».

A7: «Yo no sé qué estoy haciendo aquí, pero conseguiré hacer una figura. ¡Vamos que si la hago!» (se muestra bastante confiada en que logrará su objetivo).

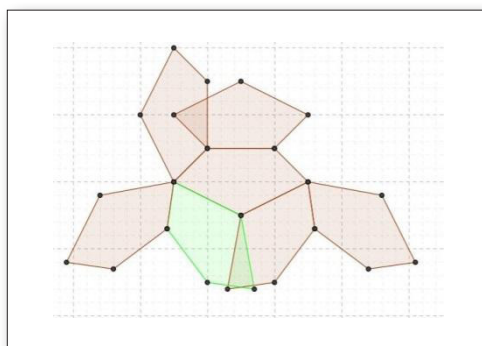


Fig. 7. Ejemplo del apoyo de GeoGebra al desarrollo de la autoconfianza en A7.

En el caso de las actitudes matemáticas, GeoGebra fue el factor más influyente en las de precisión-rigor, perseverancia y autonomía, que todos los estudiantes manifestaron de forma continuada. También fomentó la flexibilidad de pensamiento y, en menor medida, la creatividad durante todas las sesiones para algunos estudiantes. Sin embargo, para estas dos últimas actitudes no puede atribuirse la mejora solo al uso del recurso, sino que cobraron relevancia los factores sociales; a saber, la interacción con la pareja y con la profesora.

Por lo que respecta a las propiedades de GeoGebra que apoyaron las actitudes matemáticas, se observó que la constructividad procuró a los estudiantes una mayor perseverancia y autonomía. Durante la secuencia LP, la mayor parte de ellos se bloqueaba después de leer el enunciado de la tarea, y solicitaba ayuda inmediatamente. Con GeoGebra, el poder actuar por ensayo-error, en ausencia de una estrategia de resolución definida, así como el poder generar gran cantidad de ejemplos sobre los que razonar y argumentar de un modo sencillo, los mantuvo trabajando hasta concluir las tareas. También la navegabilidad favoreció que los estudiantes se responsabilizaran del propio trabajo, explorando de forma libre y flexible distintas ideas. Por otra parte, la interactividad (retroalimentación inmediata y efectiva proporcionada en tiempo real) adecuó el ritmo de trabajo a la situación particular de cada pareja, lo que favoreció la colaboración entre ellos y la autonomía respecto de la profesora.

El siguiente fragmento del diario de la profesora-investigadora muestra la perseverancia en dos estudiantes de la muestra:

Me sorprendió una conversación entre A7 y A8 durante la tarea 10. Ambos estaban frustrados por no haber acabado la tarea, pese a llevar toda la sesión intentándolo. Después de muchos intentos fallidos, no abandonaron la tarea, sino que demostraron mayor perseverancia, al plantearse instalar GeoGebra en sus casas y seguir intentándolo. A8 así lo hizo y me envió la tarea resuelta por *e-mail* (figura 8). A7, aunque lo intentó, tampoco consiguió resolverla en casa y, al no sentirse satisfecha con su trabajo, no la envió.

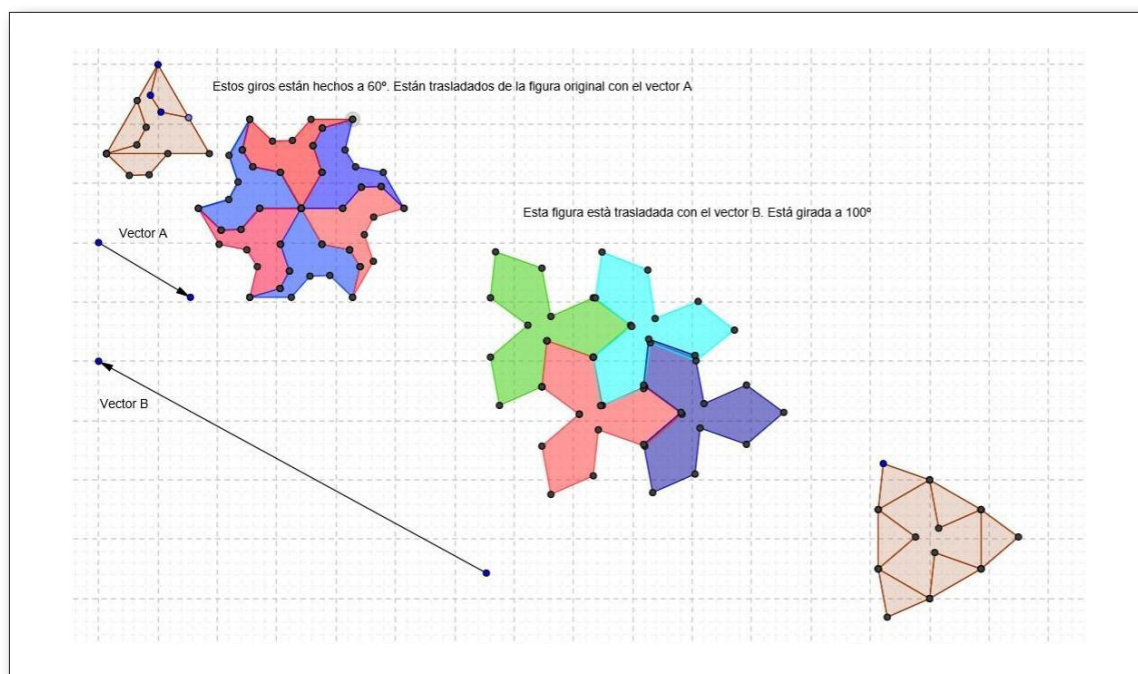


Fig. 8. Ejemplo del apoyo de GeoGebra en el desarrollo de la perseverancia de A8.

También la interactividad de GeoGebra, junto al interfaz y la precisión al ejecutar los cálculos, contribuyeron a que los estudiantes mostraran una actitud de rigor. La visualización precisa de los efectos de sus acciones los ayudó a tomar conciencia de los errores, y la rapidez de respuesta redujo el esfuerzo y tiempo necesarios para enmendarlos. A diferencia de lo que ocurría en las tareas LP, donde muchos estudiantes se contentaban con respuestas aproximadas, con el programa pudieron rehacer y deshacer las tareas tantas veces como fue necesario hasta lograr la precisión deseada. Con el tiempo, ello les incitó a plantearse si las estrategias empleadas eran adecuadas o no, lo que fomentó un comportamiento mucho más riguroso que el exhibido anteriormente. Estos mismos factores animaron a los estudiantes a buscar distintas vías de solución de las tareas y a cambiar de proceder convenientemente, y de forma razonada, contribuyendo así a desarrollar la flexibilidad de pensamiento. Al mismo tiempo, aquellos más creativos encontraron la manera de explotar estas propiedades para realizar producciones originales.

Permanencia de las transformaciones actitudinales

Las observaciones sistemáticas realizadas por la profesora-investigadora previamente, durante y después del trabajo con GeoGebra permiten informar sobre la permanencia de las transformaciones actitudinales experimentadas por los estudiantes. En este sentido, hay diferencias respecto a los dos tipos de actitudes consideradas. Así, la transformación favorable de las actitudes hacia la matemática estuvo ligada al uso de GeoGebra y no se extrapoló a la materia al acabar el experimento. Aquellos estudiantes con mala actitud inicial (en torno al 35 % del total), que el uso del *software* ayudó a revertir, a veces de un modo sorprendente, volvieron a manifestar actitudes hacia las matemáticas inadecuadas, algunos de forma inmediata y otros de forma más progresiva.

En cuanto a las actitudes matemáticas, es interesante notar que la herramienta no solo ayudó a su mejora, sino también a que los estudiantes tomaran conciencia de su importancia para la actividad matemática. En unidades didácticas posteriores, intentaron mantener estas actitudes sin la ayuda del *software* (especialmente la perseverancia y la precisión-rigor), tal como refleja la siguiente entrada en el diario de clase de la profesora-investigadora:

Al finalizar la unidad didáctica trabajada con GeoGebra, y continuar la siguiente con lápiz y papel (cuerpos geométricos), observo cómo muchos de los estudiantes que mejoraron actitudinalmente con GeoGebra siguen comportándose de este modo. Se siguen mostrando perseverantes y no abandonan las tareas hasta obtener una respuesta que les satisfaga. Además, tratan de hacer los cálculos y representaciones de la manera más rigurosa y precisa posible, si bien las representaciones gráficas de cuerpos geométricos y sus desarrollos planos sin el *software* les resultan algo complejas a muchos de ellos, y piden ayuda externa (lo que merma su autonomía).

No a todos los estudiantes les resultó sencillo seguir manteniendo estas actitudes sin el soporte de GeoGebra, y sin el plus de motivación y confianza que les aportaba. Una parte de ellos fueron abandonándolas conforme avanzó el curso, aunque de modo más lento y progresivo que en el caso de las actitudes hacia las matemáticas.

Desarrollo de la competencia matemática con GeoGebra y factores de influencia

El análisis del desarrollo de la *competencia matemática* se realizó para todo el alumnado a partir de la información recogida en las parrillas de competencias (tabla 2), los protocolos escritos de resolución entregados por cada pareja de estudiantes, los archivos de GeoGebra y las observaciones recogidas por la profesora-investigadora en sus diarios. En la tabla 5 se muestra el nivel de desarrollo de la compe-

tencia matemática de los estudiantes al término de la experiencia, de acuerdo con los niveles anteriormente expuestos:

Tabla 5.
Nivel de desarrollo de la competencia matemática en los estudiantes

Nivel	Competencia matemática	
	LP	GG
0	28	2
1	35	18
2	28	50
3	9	30

Nota. Valores expresados en porcentajes

En torno al 80 % de los estudiantes (37 estudiantes de 46) alcanzaron un nivel medio o superior, es decir, un nivel de conexión o reflexión. Así, la mitad del alumnado consiguió matematizar y resolver los problemas mediante la utilización de procedimientos y aplicaciones estándar, pero también a través de procedimientos que les llevaron a establecer conexiones entre distintas formas de representación y comunicación (tablas, gráficos, palabras e ilustraciones). Además, 14 de esos 37 estudiantes alcanzaron un nivel superior (aproximadamente el 30 % del total) que les permitió reflexionar sobre sus estrategias, razonamientos y resultados. A partir de varios ejemplos, consiguieron extraer reglas, hacer generalizaciones y completar argumentos deductivos.

En cuanto a las capacidades matemáticas fundamentales, en un trabajo precedente informamos del desarrollo específico de las siguientes: uso de herramientas, representaciones, matematización, resolución de problemas, razonamiento y argumentación (Romero, García y Codina, 2015). Resumidamente, informamos de que GeoGebra resultó ser muy intuitivo y fácil de usar. El alumnado alcanzó niveles adecuados de destreza en el manejo de la herramienta desde el principio, prácticamente sin instrucción previa. Coincidimos con Costa (2011) y Gómez-Chacón (2010) en que el mayor rendimiento se obtuvo en las destrezas más visuales y manipulativas.

A continuación, se desarrollaron las capacidades de matematización y resolución de problemas, en las que el alumnado alcanzó un buen nivel (2-3), mediante el uso del *software*. Así, la posibilidad de manipular representaciones les permitió comprobar, a menudo por ensayo y error, qué propiedades se mantenían invariantes para cada construcción. Ello, junto con el tiempo extra proporcionado por la rapidez de la herramienta, fomentó la capacidad de razonar en términos de propiedades geométricas. Por otra parte, gracias a la interactividad del SGD, los estudiantes pudieron comprobar de forma inmediata lo apropiado, o no, de sus acciones. Con el tiempo, un buen número de ellos abandonó su anterior costumbre de realizar acciones al azar. Progresivamente, sus procesos mentales se redirigieron a planificar metas e idear estrategias para alcanzarlas.

A partir de aquí, varios estudiantes consiguieron hacer razonamientos complejos y concebir argumentos y pruebas de calidad creciente. No obstante, en las capacidades ligadas a los procesos reflexivos y discursivos el desarrollo fue más lento, y no todos los estudiantes alcanzaron niveles apropiados. Conforme aumentó la demanda de razonamiento lógico, argumentación y empleo de lenguaje matemático preciso, se evidenció la importancia de los factores sociales: la interacción con los compañeros, la interacción con la profesora y la manera en la que esta orquestó las dinámicas que surgían en clase a partir de las tareas propuestas.

propiedades del *software*, resultaron fundamentales como activadoras del ámbito cognitivo, al propiciar que la mayoría de los estudiantes (más de un 70 %) mantuvieran niveles muy altos de perseverancia, autonomía y precisión-rigor, que contrastaban con los manifestados previamente. Para las actitudes matemáticas de flexibilidad de pensamiento y creatividad, las propiedades del *software* y las interacciones sociales ejercieron un mayor peso en su transformación positiva que el hecho de disfrutar y mostrarse motivados y confiados en matemáticas. Por otra parte, las actitudes hacia la matemática, mediadas por GeoGebra, tuvieron un desarrollo más rápido y menos estable al finalizar el uso de la herramienta que las actitudes matemáticas. El desarrollo actitudinal descrito constituyó una base sobre la que se fue desarrollando la competencia matemática del alumnado, de forma progresiva y fruto de la transformación actitudinal previa.

Por otra parte, la facilidad de uso de GeoGebra proporcionó a los estudiantes soporte suficiente para alcanzar un buen nivel de desempeño en las capacidades relacionadas con la visualización, la construcción y el manejo de representaciones. Ello les permitió involucrarse en procesos más complejos de comunicación matemática, matematización y resolución de problemas con sus compañeros. La autonomía de las parejas de estudiantes posibilitó a la profesora-investigadora ayudarlos de modo particular en las dificultades surgidas, especialmente en los procesos superiores vinculados a la capacidad de razonamiento y argumentación (Gómez-Chacón et al., 2016). La figura 10 esquematiza esta ruta de interacción afecto-cognición representativa del conjunto de la población estudiada, si bien estudiantes concretos presentaron variaciones particulares.

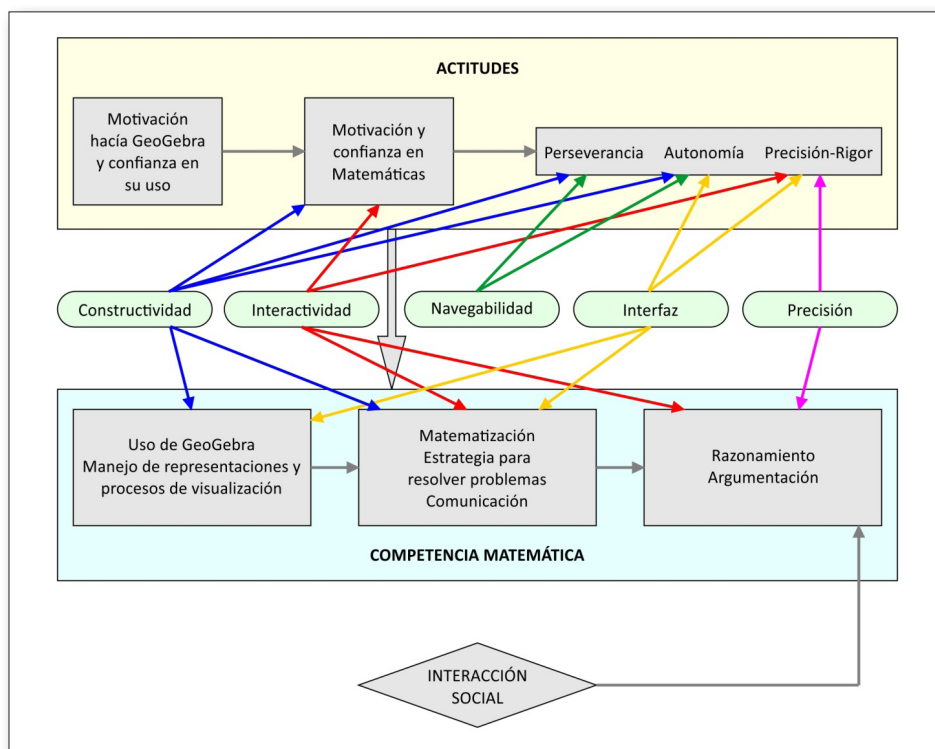


Fig. 10. Ruta de interacción afecto-cognición.

Las implicaciones señaladas resultaron más significativas para los estudiantes con actitudes hacia las matemáticas y competencia matemática previas negativas, que gracias al uso de GeoGebra lograron revertir. Al analizar a aquellos que mejoraron únicamente durante la secuencia con GeoGebra (16

estudiantes), se comprobó que fueron precisamente los que, debido al gusto y confianza depositado en la herramienta, experimentaron un sorprendente cambio en sus actitudes hacia las matemáticas, lo que provocó una mejora de sus actitudes matemáticas y de su competencia. Al dejar de trabajar con GeoGebra volvieron a manifestar actitudes hacia las matemáticas inadecuadas que los llevaron a no trabajar lo suficiente, con lo que sus actitudes y competencias matemáticas empeoraron y, por ende, también su calificación en unidades didácticas posteriores.

CONCLUSIÓN

En un mundo que nos aboca a integrar la tecnología en la educación a pasos agigantados, con programas de *software* libre como GeoGebra fácilmente accesibles, el experimento de enseñanza presentado contribuye a avanzar algunos puntos pendientes en la agenda. Por un lado, responde a la necesidad de compartir intervenciones en el aula que informen de la potencialidad de los SGD en la práctica. Esto minimiza el riesgo de que la investigación sobre innovaciones tecnológicas permanezca en la periferia del uso en las clases, perdiendo así su potencial transformativo (Wassie y Zergaw, 2018).

Por otro lado, este trabajo atiende a una doble demanda en la investigación sobre afecto en educación matemática: *a)* informar sobre el vínculo entre constructos afectivos y su conexión con la cognición, en estudios donde la actividad matemática tenga relevancia explícita en los aspectos afectivos investigados, y *b)* ligar la teoría con la práctica de modo que la primera sea útil para transformar la segunda (Hannula et al., 2019).

Atendiendo a los interrogantes planteados para esta investigación, se ha diseñado una secuencia de tareas basada en el uso GeoGebra, junto con sus instrumentos de evaluación de actitudes y competencia matemática, fundamentados en la teoría y avalados por expertos. El análisis de los datos obtenidos a partir de estos instrumentos nos informa de que es posible capitalizar las actitudes favorables del alumnado hacia las matemáticas con GeoGebra, en especial motivación y autoconfianza, para desarrollar actitudes matemáticas, inherentes a la competencia matemática. Con el tipo de tareas diseñadas y la metodología empleada, se ha mostrado cómo determinadas propiedades de GeoGebra permiten al alumnado alcanzar niveles altos de perseverancia, autonomía, precisión-rigor, manejo del recurso y buen uso de las representaciones que este provee. También posibilita alcanzar niveles adecuados de flexibilidad de pensamiento, diseño de estrategias para resolver problemas y matematización en la mayoría de estudiantes. Actitudes como la creatividad y los procesos de pensamiento matemático de orden superior (razonamiento y prueba) se desarrollan en menor número de individuos y, además del *software*, necesitan la capacidad del docente para orquestar dinámicas de interacción apropiadas con estudiantes particulares en tiempo real. Esta labor se facilita en gran medida por la autonomía que otorga al alumnado el uso del SGD.

La ruta colectiva de interacción afecto-cognición identificada nos informa del desarrollo en el tiempo de las distintas actitudes y capacidades, así como de su estabilización en el alumnado. Básicamente, las actitudes hacia las matemáticas se desarrollan más rápidamente que las actitudes matemáticas, están vinculadas al uso del SGD y desaparecen tras su uso. Las actitudes matemáticas se desarrollan de modo más progresivo a partir de las anteriores y tienen más permanencia, aunque es complicado mantenerlas sin el apoyo de la herramienta. Todo el desarrollo actitudinal subyace tras las capacidades matemáticas, y tiene también una graduación en el tiempo: desde las manipulativas y visuales, estrechamente ligadas al manejo del *software*, hasta el pensamiento estratégico y los procesos de reflexión y argumentación, para los que cobra cada vez más relevancia la interacción social en el aula basada en su uso. Ello trae a colación la distinción entre las actitudes y capacidades que se desarrollan *a través de* la tecnología y aquellas que se manifiestan *con* la tecnología. Dicha distinción es más significativa en el caso de estudiantes con bajo perfil actitudinal y cognitivo.

Por último, si bien la naturaleza contextualizada y en gran parte cualitativa de este estudio puede tomarse como una limitación, autores como Drijvers (2018) consideran indispensables los trabajos de este tipo y sus posibles replicaciones, por cuanto sirven de preliminar para identificar tendencias que informen el diseño de estudios a mayor escala. De esta forma, puede combinarse lo mejor de ambos planteamientos para atender a los retos educativos que se nos presentan.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baccaglini-Frank, A. (2019). Dragging, instrumented abduction and evidence, in processes of conjecture generation in a dynamic geometry environment. *ZDM Mathematics Education*. Online First, 1-13.
<https://doi.org/10.1007/s11858-019-01046-8>.
- Bazán, J. (1997) *Metodología estadística de construcción de pruebas. Una aplicación al estudio de actitudes hacia la matemática en la UNALM* (tesis doctoral no publicada). UNALM, España.
- Bray, A. y Tangney, B. (2017). Technology usage in mathematics education research - A systematic review of recent trends. *Computers & Education*, 114, 255-273.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.07.004>.
- Costa, J. (2011). Plataforma de matematización en un entorno GeoGebra dentro de un planteamiento didáctico «desde abajo hacia arriba». *Enseñanza de las Ciencias*, 29(1), 101-114.
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v29n1.527>.
- DeBellis, V. A. y Goldin, G. A. (2006). Affect and meta-affect in mathematical problem solving: A representational perspective. *Educational Studies in Mathematics*, 63(2), 131-147.
<https://doi.org/10.1007/s10649-006-9026-4>.
- Di Martino, P. y Zan, R. (2010). «Me and maths»: Towards a definition of attitude grounded on students' narratives. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 13, 27-48.
<https://doi.org/10.1007/s10857-009-9134-z>.
- Drijvers, P. (2018). Empirical evidence for benefit? Reviewing quantitative research on the use of digital tools in mathematics education. En L. Ball, P. Drijvers, S. Ladel, H. S. Siller, M. Tabach, C. Vale (Eds.), *Uses of technology in primary and secondary mathematics education* (pp. 161-175). Cham: Springer.
- García, M. M. (2011). *Evolución de actitudes y competencias matemáticas en estudiantes de secundaria al introducir GeoGebra en el aula* (tesis doctoral no publicada). Universidad de Almería. <http://funes.uniandes.edu.co/1768/2/Garcia2011Evolucion.pdf>.
- García, M. M. y Romero, I. M. (2020). Influencia de GeoGebra en las actitudes hacia las matemáticas de estudiantes de secundaria: diseño y validación de un cuestionario. En A. Codina y M. F. Moreno (Eds.), *Investigaciones en Pensamiento Numérico y Algebraico: 2018* (pp. 83-100). Almería, España: Editorial de la Universidad de Almería.
- Gómez Chacón, I. M. (2010). Actitudes de los estudiantes en el aprendizaje de la matemática con tecnología. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 227-244.
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v28n2.197>.
- Gómez-Chacón, I. M. (2011). Mathematics attitudes in computerized environments. A proposal using GeoGebra. En L. Bu y R. Schoen (Eds.), *Model-centered learning: Pathways to mathematical understanding using GeoGebra* (pp. 147-170). Rotterdam: Sense Publishers.
- Gómez-Chacón, I. M. y Marbán, J. M. (2019). Afecto y conocimiento profesional docente en matemáticas. 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. 397- 416). Salamanca: Ediciones Universidad Salamanca.

- Gómez-Chacón, I. M., Romero, I. M. y García, M. M. (2016). Zig-zagging in geometrical reasoning in technological collaborative environments: a Mathematical Working Space-framed study concerning cognition and affect. *ZDM*, 48(6), 909-924.
<https://doi.org/10.1007/s11858-016-0755-2>.
- Granberg, C. y Olsson, Y. (2015). ICT-supported problem solving and collaborative creative reasoning: Exploring linear functions using dynamic mathematics software. *Journal of Mathematical Behavior*, 37, 48-62.
<https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2014.11.001>.
- Gresalfi, M. S. (2009). Taking up opportunities to learn: constructing dispositions in mathematics classrooms. *The Journal of the Learning Sciences*, 18(3), 327-369.
<https://doi.org/10.1080/10508400903013470>.
- Grootenboer, P. y Marshman, M. (2015). *Mathematics, affect and learning*. Singapur: Springer.
- Hannula, M. S., Leder, G. C., Morselli, F., Vollstedt, M. y Zhang, Q. (Eds.) (2019). *Affect and mathematics education*. Cham: Springer.
- Hannula, M., Pantziara, M. y Di Martino, P. (2018). Affect and mathematical thinking. Exploring developments, trends and future directions. En T. Dreyfus (Ed.), *Developing research in mathematics education: twenty years of communication, cooperation, and collaboration in Europe* (pp. 323-329). Abingdon, Oxon: Routledge.
- Hoyles, C. y Lagrange, J. B. (2010). *Mathematics education and technology: Rethinking the terrain*. Nueva York: Springer.
- Jaramillo, P. E. y Ruiz, M. (2010). El desarrollo de la autonomía: más allá del uso de las TIC para el trabajo independiente. *Revista Colombiana de Educación*, 58, 78-95.
<https://doi.org/10.17227/01203916.637>.
- Lupiañez, J. L. y Rico, L. (2008). Análisis didáctico y formación inicial de profesores: competencias y capacidades en el aprendizaje de los escolares. *PNA*, 3(1), 35-48.
- Molina, M., Castro, E., Molina, J. L. y Castro, E. (2011). Un acercamiento a la investigación de diseño a través de los experimentos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(1), 75-88.
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v29n1.435>.
- OECD (2010). *PISA 2009 results: What students know and can do – Student performance in reading, mathematics and science* (vol. I). París: OECD Publishing.
- OECD (2017). *Marco de evaluación y de análisis de PISA para el desarrollo: Lectura, matemáticas y ciencias* (versión preliminar). París: OECD Publishing.
- Rico, L. y Lupiañez, J. L. (2008). *Competencias matemáticas desde una perspectiva curricular*. Madrid: Alianza Editorial.
- Romero, I. M., García, M. M. y Codina, A. (2015). Developing mathematical competencies in secondary students by introducing dynamic geometry systems in the classroom. *Eğitim ve Bilim*, 40(177), 43-58.
<https://doi.org/10.15390/EB.2015.2640>.
- Roth, W. M. y Walshaw, M. (2019). Affect and emotions in mathematics education: Toward a holistic psychology of mathematics education. *Educational Studies in Mathematics*, 102(1), 111-125.
<https://doi.org/10.1007/s10649-019-09899-2>.
- Santos-Trigo, M. (2008). On the use of technology to represent and explore mathematical objects or problems dynamically. *Mathematics and Computer Education*, 42(2), 123-139.
- Sinclair, N., Bussi, M. G. B., de Villiers, M., Jones, K., Kortenkamp, U., Leung, A. y Owens, K. (2016). Recent research on geometry education: An ICME-13 survey team report. *ZDM*, 48(5), 691-719.
<https://doi.org/10.1007/s11858-016-0796-6>.

- Sinclair, N. y Yurita, V. (2008). To be or to become: How dynamic geometry changes discourse. *Research in Mathematics Education*, 10(2), 135-150.
<https://doi.org/10.1080/14794800802233670>.
- Stolaki, A. y Economides, A. A. (2018). The creativity challenge game: An educational intervention for creativity enhancement with the integration of Information and Communication Technologies (ICTs). *Computers & Education*, 123, 195-211.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.009>.
- Takaci, D., Stankov, G. y Milanovic, I. (2015). Efficiency of learning environment using GeoGebra when calculus contents are learned in collaborative groups. *Computers & Education*, 82, 421-431.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.12.002>
- Wassie, Y. A. y Zergaw, G. A. (2018). Capabilities and contributions of the dynamic math software, GeoGebra—A review. *North American GeoGebra Journal*, 7(1), 68-86.
- Yoganci, S. (2018). A study on the views of graduate students on the use of GeoGebra in mathematics teaching. *European Journal of Education Studies*, 4(8), 63-78.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.1272935>
- Zengin, Y. (2017a). The potential of GeoGebra software for providing mathematical communication in the light of pre-service teachers' views. *Necatibey Faculty of Education Electronic Journal of Science and Mathematics Education*, 11(1), 101-127.
- Zengin, Y. (2017b). The effects of GeoGebra software on preservice mathematics teachers' attitudes and views toward proof and proving. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 48(7), 1002-1022.
<https://doi.org/10.1080/0020739X.2017.1298855>
- Zetriuslita, Z., Nofriyandi, N. y Istikomah, E. (2020). The effect of Geogebra-assisted direct instruction on students' self-efficacy and self-regulation. *Infinity*, 9(1), 41-48.
<https://doi.org/10.22460/infinity.v9i1.p41-48>

Effects of working with GeoGebra in the classroom on the affect-cognition relationship

M.^a del Mar García López, Isabel M.^a Romero Albaladejo, Francisco Gil Cuadra
Departamento de Educación, Universidad de Almería, Almería, España.
mgil711@ual.es, imromero@ual.es, fgil@ual.es

The rise of the dynamic approach to geometry requires well-founded empirical studies that inform its effective use in the classroom. To date, research mainly focuses on cognitive aspects, while the affective aspects and, furthermore, the affect-cognition relationship are paid less attention. This article responds to the demand for interventions that address both dimensions, as well as the relationship between them.

With respect to the attitudinal dimension, we distinguish between attitudes towards mathematics and mathematical attitudes. Within the first ones, we deal with motivation and self-confidence, which are considered the most influential in learning. Within the mathematical attitudes, which have a strong cognitive component and whose research is less developed, our work provides indicators for autonomy, creativity, flexibility of thought, perseverance and accuracy-rigor.

With regard to mathematical literacy, according to PISA framework (OECD, 2017), we consider 7 fundamental capabilities: communicating; mathematizing; representing; reasoning and arguing; devising strategies for solving problems; using symbolic, formal and technical language and operations; and using mathematical tools.

Under the design research paradigm, a teaching experiment is conducted in which GeoGebra is introduced in two secondary school classes, with the purposes of (a) promoting the attitudinal development and the mathematical literacy of students, and (b) analysing the role of software in the evolution of the affective and cognitive dimensions, and the relationship between both of them.

Two didactic sequences were designed with the same methodological principles for the students to work in peers. The first one for pencil, paper and traditional instruments on polygons and the second one for GeoGebra on plane tessellations.

The data sources were questionnaires, teacher-researcher diaries, students' opinions, interviews, and observation grids for attitudes and mathematical capabilities (based on theory and endorsed by experts). Besides, the GeoGebra archives and audio recordings while working on the tasks were collected for a sample of students.

The quantitative analysis of the data shows a positive evolution in all the studied variables. The qualitative analysis (by means of the software Atlas.ti) informs about how this evolution took place, the properties of the software that supported it, and the relationship between the affective and cognitive constructs.

In our experiment, students' initial motivation and self-confidence with the use of GeoGebra helped them to develop motivation and confidence in doing mathematical work. These attitudes toward mathematics were linked to the work with GeoGebra and they disappeared after its use.

A good attitude towards mathematics, together with GeoGebra affordances, allowed the students in general to reach high levels in capabilities related to visualization, construction, and representations management. They also sustained the development of high degrees of perseverance, autonomy, and accuracy-rigor in the students. Mathematical attitudes emerged more progressively than attitudes towards mathematics and they were more permanent. Students continued to manifest them even after the experiment; nevertheless, a number of them could not keep them without the support of GeoGebra.

In due time, the majority of the students could also reach adequate levels in communication, flexibility of thought, devising strategies for solving problems, and mathematizing. On this basis, attitudes like creativity and higher order capabilities, such as logical reasoning and argument, were developed by a smaller number of individuals. In addition to the software affordances, the later development required the teacher to orchestrate proper interactions in the classroom.



Tratados, Apuntes y Explicaciones: tres libros de química compitiendo en la década de 1920

Tratados, Apuntes, and Explicaciones: three chemistry textbooks competing in the 1920s

Ignacio Suay-Matallana

Instituto Interuniversitario López Piñero - Universidad Miguel Hernández, Alicante, España
isuay@umh.es; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0443-9427>

RESUMEN • Este trabajo compara dos libros publicados por estudiantes de Química con el tratado publicado por el profesor de la asignatura. Las tres obras trataban sobre las lecciones impartidas en el aula y se dirigían a los estudiantes de análisis químico que cursaban el doctorado en Medicina en la Universidad de Madrid a mediados de la década de 1920. Sus autores se esforzaron por cautivar a un público con intereses diversos, con la colaboración de editores y libreros. Los apuntes y explicaciones estudiados muestran el activo y creativo trabajo de creación científica de los dos estudiantes que los publicaron y ofrecen interesantes detalles sobre la construcción del conocimiento en el ámbito académico.

PALABRAS CLAVE: Libros de texto y apuntes; Estudiantes; Análisis químico; Historia; España.

ABSTRACT • This work compares two books published by chemistry students with the treatise published by the professor of the subject. All three works were based on the lessons taught in the classroom and were aimed at students of chemical analysis taking the doctoral program in medicine at the University of Madrid in the 1920s. Their authors tried to captivate an audience with diverse interests, in collaboration with publishers and booksellers. Thus, the notebooks and explanations studied in this paper show how both students developed an active and creative scientific work and provide relevant details on the construction of knowledge in the academic sphere.

KEYWORDS: Notebooks and textbooks; Students; Chemical analysis; History; Spain.

Recepción: abril 2020 • Aceptación: septiembre 2020

Suay-Matallana, I. (2021). Tratados, Apuntes y Explicaciones: tres libros de química compitiendo en la década de 1920. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 199-214.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3297>

INTRODUCCIÓN

Existe una rica historiografía reciente sobre el papel de los manuales y los libros de texto de ciencias en la historia, considerándolos una valiosa herramienta para analizar la circulación del conocimiento científico. Algunos de estos trabajos han sido posibles gracias a la colaboración de personas dedicadas a la historia de la ciencia, junto con docentes en ciencias, en diferentes niveles de la enseñanza. Un ejemplo de estos esfuerzos conjuntos son las bases de datos de libros de texto creadas gracias a proyectos de investigación como «MANES» o «Emmanuelle», o bien ligadas a proyectos transnacionales de libros de países tradicionalmente considerados como periféricos, como por ejemplo el proyecto «STEP».¹ Los libros de texto también han sido objeto de estudio en volúmenes especiales de conocidas revistas de historia de la ciencia como *Isis* o *Science & Education*.² En el caso de la química y la física resultan de mucho interés el libro colectivo *Communicating chemistry* y el más reciente *Communicating physics*, en los que se estudia la historia de los libros de ambas disciplinas (Lundgren y Bensaude-Vincent, 2001; Simon, 2011). Todos estos estudios han mostrado que la publicación de un libro de texto implicaba un proceso creativo de selección, organización y estructuración de los contenidos, así como la toma de decisiones para interpretar los fundamentos de la química (Bertomeu-Sánchez, García-Belmar y Bensaude-Vincent, 2002, p. 249). En ese proceso no solo participaban los autores, sino que también eran protagonistas relevantes los lectores, editores, impresores, distribuidores y vendedores, cada uno de ellos con distintos condicionantes intelectuales, publicitarios, económicos, sociales, políticos y legales (Darnton, 2007, p. 503; Muñoz, 2015).

El análisis de los libros de texto resulta mucho más rico si se consideran también las notas de clase, apuntes o explicaciones que los estudiantes realizaban a partir de las lecciones de los profesores y que, dependiendo de sus posibilidades e intereses, circulaban de forma manuscrita o impresa. Estos materiales tienen un peso fundamental en la construcción del conocimiento escolar, tanto en épocas pasadas como en otras más recientes (García-Martínez e Izquierdo, 2014, p. 267). La riqueza de los materiales producidos por los estudiantes es muy grande, ya que abarca tanto notas y apuntes como ejercicios y problemas copiados de la pizarra o resueltos por los propios estudiantes, cuadernos de clase, cuadernos de laboratorio, revisiones de exámenes o textos realizados fuera del aula. El manejo de esta variedad de fuentes tiene sus propios desafíos historiográficos. En ocasiones son difíciles de contextualizar, ya que no siempre se dispone de suficiente información sobre sus autores o bien resulta complicado identificar las experiencias, valores y actitudes que motivaron su creación. Aun así, estas fuentes resultan de gran utilidad para conocer no solo cómo se enseñaba ciencia (y otras materias), sino también para analizar mejor cómo era aprendida y asimilada por los estudiantes (Olesko, 2014, p. 1980). La conservación de estos materiales en bibliotecas o archivos es mucho más infrecuente que la de los libros publicados por editoriales consolidadas o profesores prestigiosos, debido a que habitualmente son considerados como documentación personal que no suele ser conservada por las instituciones y tampoco por los propios estudiantes después de graduarse. El estudio de este tipo de fuentes ayuda a dejar de considerar la producción y la comunicación de la ciencia como dos actividades independientes y a mostrar las actividades escolares como parte fundamental del proceso científico (Pardo, 2010, p. 7).

Los apuntes de clases desempeñan roles pedagógicos muy variados, desde facilitar la comprensión y el estudio de la materia, hasta formar parte de los requisitos de evaluación establecidos por los docentes, algo bastante frecuente en disciplinas relacionadas con prácticas de laboratorio (Rudolph, 2019,

1. *Base de datos MANES*. Página web. <http://www.centroman.es/8080/> visitada el 01/09/2020; *Emmanuelle*, INRP. Página web. <http://emmanuelle.bibliotheque-diderot.fr/web/> visitada el 01/09/2020; *STEP Science and Technology in the European Periphery*. <https://step2.hicido.uv.es/> visitada el 01/09/2020.

2. Textbooks in the Sciences (2012). *Isis*, 113(1); Textbooks in the Scientific Periphery. (2006). *Science & Education* November, 15(7-8).

p. 53) También son un elemento que muestra la riqueza de los procesos de enseñanza-aprendizaje en los que la adquisición y discusión de conocimientos se produce en diferentes planos –muy alejados de un supuesto método científico aplicado a la docencia– en los que los estudiantes ocupan un papel protagonista y creador fundamental (Rudolph, 2019, p. 2-4). Por ello, ejemplos que consideren los apuntes tomados en clases de ciencias, como sucede en este trabajo, ayudan a considerar con perspectiva histórica tres cuestiones fundamentales en la enseñanza de las ciencias: la relación entre la idea de progreso científico y la pedagogía, la naturaleza de la actividad realizada en el aula y los objetivos sociales de la enseñanza de las ciencias (Rudolph, 2019, pp. 8-9).

Los apuntes de estudiantes permiten discutir sobre la imagen de la química en un momento determinado, el papel de los profesores en las clases, las estrategias de apropiación de los contenidos por los propios alumnos y la actitud con la que los recibían en clase (Bensaude-Vincent, 2000). Esta cuestión resulta fundamental en el campo de la historia de la educación, en la que existen más trabajos centrados en los libros de texto que en los cuadernos o apuntes de estudiantes. Algunos estudios previos sobre cuadernos de estudiantes han ayudado a identificar –concretamente en las universidades francesas de mediados del siglo XIX– cómo las clases se adaptaban al público presente. En estos se han establecido distinciones entre los «cursos como espectáculo» –impartidos en horarios vespertinos que contaban con la asistencia de damas, trabajadores, ociosos, público libre y gratuito– las clases impartidas en horarios matutinos, que eran seguidas mayoritariamente por estudiantes. Estos trabajos también han analizado las transformaciones producidas entre las conferencias magistrales, las lecciones y las clases, donde no solo se transformaban los contenidos didácticos, sino que también se generaban nuevos conocimientos científicos (Bruter, 2008, p. 9). Las posibilidades que supone su estudio y comparación son aún mayores en aquellos casos –como sucede en este trabajo– en los que los apuntes y explicaciones de los estudiantes estaban basados en las clases de un profesor especialmente influyente en la ciencia de su época (Bertomeu-Sánchez y García-Belmar, 2004). Por este motivo, la compilación y publicación de las lecciones de un profesor podía responder a diferentes objetivos. En determinados casos, tenían una función conmemorativa y se basaban en las notas recogidas durante la última lección dictada por algún conocido catedrático antes de su jubilación ante una clase abarrotada de estudiantes y colegas con el objetivo de preservar la memoria de un gran maestro.³ También podían responder a los intereses de sus autores por disponer de materiales que les sirvieran de ayuda no solo para aprobar la asignatura en cuestión, sino también para estudios futuros (García-Belmar, 2015). En otros casos, estaban relacionados con los viajes de estudios que resultaron fundamentales en las trayectorias académicas de numerosos alumnos (Simões, 2003).⁴ Finalmente, la publicación de los apuntes y las explicaciones podía responder a motivos pedagógicos muy concretos y pueden ubicarse en un contexto didáctico y unos públicos muy determinados, como sucede con las tres obras analizadas en este artículo.

En este trabajo se comparan varios libros de química utilizados por los estudiantes de la Facultad de Medicina de Madrid durante el primer tercio del siglo XX. El trabajo se divide en dos partes, en primer lugar, se presentan los tres libros de químicos analizados y se discute sobre su contexto de utilización y sus autores: dos estudiantes de Medicina y uno de los catedráticos de Ciencias más conocidos en España durante el primer tercio del siglo XX. En segundo lugar, se estudia con más detalle las características de las obras publicadas por los estudiantes, así como el contexto editorial en el que circularon y, finalmente, se presentan las conclusiones del trabajo.

3. Este tipo de prácticas eran muy habituales en el siglo XIX y fueron continuadas en el siglo XX. Existen incluso ejemplos mucho más recientes en las que las últimas lecciones de cátedra fueron registradas en cintas magnetofónicas Ver Fondo Román Casares López. Página web. <https://www.ucm.es/fondo-roman-casares-lopez>. Visitada el 01/09/2020.

4. Un ejemplo cercano a las obras analizadas es el curso de Química Orgánica dictado por uno de los químicos alemanes más prestigiosos, transcrito en 1905 por un profesor español que fue enviado por el Gobierno en misión de estudio para informar sobre posibles mejoras aplicables a la enseñanza universitaria de la química en España (Murua, 1905).

J. CASARES, J. B. ARROYO Y J. ESTEBAN: TRES AUTORES PARA UNA MISMA ASIGNATURA

En la década de 1920, José Casares Gil (1866-1961) era un destacado miembro de la comunidad académica española. Desde 1888 era catedrático de Análisis Químico, primero en la Facultad de Farmacia de Barcelona y posteriormente en la de Madrid, en las que también fue decano. Además de ejercer como director del Laboratorio Central de Aduanas, Casares fue presidente de la Real Sociedad Española de Física y Química, de la Real Academia de Farmacia y de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. También ocupó cargos políticos, como los de senador por la Universidad de Santiago (entre 1905-1919), en la que su padre Antonio Casares Rodríguez (1812-1888) había sido rector, y procurador en las Cortes franquistas. Casares ejerció un importante papel en la renovación de la ciencia española, especialmente como miembro fundador de la Junta de Ampliación de Estudios (JAE), y por su interés en la realización de viajes de estudio al extranjero, principalmente a Alemania (Suay-Matallana, 2014a). Fruto de sus numerosos viajes Casares publicó en 1897 *Elementos de Análisis Químico Cualitativo Mineral*, que supuso el punto de partida de su conocido *Tratado de Análisis químico*, del que se publicaron diez ediciones entre 1911 y 1978 (Casares, 1911). Casares también fue autor del *Tratado de Técnica Física*, otro libro que tuvo mucho éxito y que contó con cuatro ediciones entre 1908 y 1932, así como de un gran número de artículos, folletos y discursos. En uno de los homenajes celebrados con motivo de su fallecimiento, un antiguo estudiante recordaba que «sus lecciones orales eran completadas por los magníficos libros, plenos de valor didáctico, que escribió, y por los trabajos prácticos en su laboratorio» (Corral, 1961, p. 194).

A pesar de las alabanzas anteriores pronunciadas por un estudiante de Química que había cursado el doctorado en la Facultad de Medicina de Madrid, lo cierto es que los alumnos matriculados en su asignatura no solo contaban con el libro publicado por Casares. En la década de 1920, los alumnos de la Facultad de Medicina contaban también con otras dos obras sobre esa misma materia publicadas por otros estudiantes que se basaban en las lecciones del propio Casares. Ambas fueron publicadas con el apoyo editorial de dos librerías médicas madrileñas. A continuación, se estudian dichas obras, sus autores y los públicos a los que iban dirigidas (figura 1).

Se realiza un estudio comparando el *Tratado de análisis químico* publicado por José Casares en 1911 con las otras dos publicaciones a cargo de estudiantes de su asignatura en la Facultad de Medicina de Madrid. El primero de ellos se tituló *Apuntes de análisis químico: con arreglo a las explicaciones dadas en cátedra por el Dr. Casares* y fue publicado por J. B. Arroyo. Mientras que el título del segundo era *Explicaciones razonadas de análisis químico adaptadas al programa del doctorado de medicina* y fue realizado por José Esteban Cepero. A diferencia de las extensas y numerosas biografías que hay sobre Casares, existen muy pocos datos sobre los otros dos autores. Las portadas de sus libros ofrecen alguna información sobre ambos e indican que estaban relacionados con la Facultad de Medicina de Madrid en la década de 1920. Arroyo se presentaba en la portada de sus *Apuntes* como «alumno de la asignatura» (Arroyo, 192?a). También fue el autor de publicaciones similares relacionadas con otras asignaturas de la Facultad, como las tituladas *Apuntes de parasitología* y unos *Apuntes de hidrología médica* (Arroyo, 192?b; Arroyo, 1929). Por su parte, José Esteban Cepero (1882-?) se presentaba en la portada de sus *Explicaciones* como «antiguo dependiente de los laboratorios de este grado de enseñanza» (Esteban, 1923). Además de este libro, también publicó *Apuntes de historia de la medicina*, *Apuntes de hidrología médica*, *Apuntes de antropología* y *Lecciones elementales de hematología general y de parasitología* (Esteban, 1924; Esteban, 1925; Esteban 1925b; Esteban, 1925c). En estas obras Esteban se presentaba como «ex dependiente y ex interno de las asignaturas de este grado de enseñanza y ayudante de la Facultad» (Esteban, 1923). Existen más datos biográficos sobre Esteban –nacido en Brihuega (Guadalajara)– debido a que realizó los cursos preparatorios en la Facultad de Ciencias de Madrid y llegó a completar sus estudios en la Facultad de Medicina

de Madrid, mientras ejercía de enfermero y mozo de clínica en esa facultad.⁵ Durante la Guerra Civil ejerció de cirujano en el Socorro Rojo Internacional (SRI), una organización asistencial gestionada por la Internacional Comunista en 1922, a pesar de lo cual fue admitido como facultativo en el escalafón del cuerpo médico de asistencia pública domiciliaria en 1942.⁶ Sus éxitos académicos fueron debidos, en gran parte, a los recursos obtenidos gracias a la publicación de apuntes y notas de clase como las estudiadas en este trabajo. Tal y como elogió la prensa con motivo de su graduación, Esteban había llegado a Madrid habiendo cumplido ya 30 años y siendo casi analfabeto. La preparación de sus obras fue realizada sin descuidar «un día su labor profesional» y, según la prensa, le supusieron «grandes esfuerzos» que le permitieron aumentar sus ingresos y licenciarse en Medicina en 1923.⁷

El estudio de los públicos de las obras de Casares, Arroyo y Esteban es otro elemento relevante que se debe tener en cuenta. Al publicar sus obras, los autores pensaban en unos destinatarios que no siempre coincidían con el público lector que finalmente compraba o consultaba la obra (Nieto-Galán, 2011, p. 41). Tanto Arroyo como Esteban utilizaron la portada de su obra para explicitar la vinculación de sus textos con la facultad en la que se impartía (Medicina) y seleccionaron un título suficientemente descriptivo que aludía específicamente a la asignatura (Análisis Químicos) e incluso al profesor que la impartía (Casares). El propio Casares también aprovechó la portada de su tratado para poner de manifiesto su condición de «catedrático de la Universidad de Madrid», lo cual, en realidad, significaba una estrategia habitualmente utilizada en los libros de texto de diferentes niveles para encontrar mejor su nicho de lectores (Bensaude-Vincent, 2000). Es decir, los autores redactaban sus obras pensando en unos lectores concretos a los que se dirigía su obra (por ejemplo, los estudiantes de una asignatura determinada o de nivel de enseñanza específico) y por ello también presentaban sus credenciales para convencer a ese público específico de la idoneidad de esta.

El *Tratado de Análisis Químico* de Casares se componía de dos gruesos volúmenes y evolucionó a lo largo de sus diez ediciones, en las que contribuyó a formar a «millares de químicos españoles de diversas ramas profesionales» (Casares, 1948, p. 7). Sin embargo, muy posiblemente su exhaustivo tratado resultaba excesivo para las necesidades de los estudiantes de doctorado de medicina. Como indicó el antiguo alumno de Casares en su discurso, esa asignatura de doctorado «sólo podría tener interés para un grupo muy reducido de médicos» por lo que «nunca forzó la asistencia a su clase. Se limitaba a exigir en el examen el mínimo de conocimientos necesarios para poder salvaguardar la dignidad de la cátedra y del catedrático» (Corral, 1961, p. 193). Es decir, que el propio Casares era consciente de que la mayoría de los estudiantes de medicina no necesitaban tantos conocimientos analíticos, a diferencia de los que atendían sus lecciones de química en las facultades de Ciencias o Farmacia, que, posiblemente realizarían en el futuro análisis de productos químicos, alimentos y aguas. Por esta razón, los apuntes y las explicaciones de las lecciones de ese profesor aparecieron vinculadas a la Facultad de Medicina, en vez de a las de Ciencias o Farmacia con las que Casares estaba más vinculado.

Posiblemente un cierto número de estudiantes matriculados en la asignatura de Casares no pudiera acudir a la mayoría de sus clases y tuviera que estudiar con el tratado del autor o bien con los otros dos textos disponibles. Esta cuestión muestra lo complejo que puede resultar distinguir entre los públicos inmediatos y los públicos diferidos, es decir, entre aquellos que atienden las lecciones (tomando notas o no) y aquellos que siguen las lecciones del curso gracias a los materiales impresos o manuscritos (Bruter, 2008, p. 16). A diferencia de la versatilidad y exhaustividad del *Tratado* de Casares, las notas de clase

5. Archivo Histórico Nacional, Universidades, 5518, Exp. 13. Madrid. Ver también Expedientes Personales Esteban y Cepero, José. P-0483. Archivo General de la Universidad Complutense de Madrid, P-0483. Madrid.

6. Centro Documental de la Memoria Histórica, DNSD-Secretaría, Fichero, 17, E0041991. Salamanca. Ver también Orden por la que se aprueba el concurso de antigüedad o de prelación en la Escalafón del Cuerpo Médico de Asistencia Pública Domiciliaria. *Boletín Oficial del Estado*, 191, 10/07/1942, 50006-5030.

7. Banquete a un nuevo médico. *La Voz*, 17/11/1923, 2.

publicadas por Arroyo y Esteban se ajustaban exactamente a los contenidos impartidos en la cátedra. Es decir, las obras de Arroyo y Esteban podían resultar especialmente valiosas para los alumnos que no dispusieran de tiempo suficiente para asistir a clase, debido a que residieran en otros lugares o compatibilizaran su doctorado con otras actividades académicas o laborales, o bien porque no estuvieran dispuestos a resumir y estudiar largos manuales o profundas monografías, e incluso para aquellos que no pudieran permitirse el gasto de comprar los tratados publicados por los profesores. En todo caso, estas dos obras alternativas al libro del profesor permitían a los estudiantes contar con textos sencillos y adaptados a los contenidos de los que previsiblemente serían examinados. Los *Apuntes* y las *Explicaciones* se anunciaron como un «rapidísimo repaso teórico-práctico, puramente objetivo» enfatizando la utilidad de la obra. También interpelaban directamente a los lectores a los que se dirigía el libro al anunciar que sería especialmente útil durante su «corta estancia en Madrid», una cuestión especialmente valiosa para aquellos alumnos que se desplazaban a la capital ya que, hasta varias décadas después, era la única ciudad en la que se podía obtener el título de doctor (Esteban, 1923, p. 119). Pero no solo se dirigían a los estudiantes de Medicina que acudían con asiduidad a la cátedra; también animaban a que usaran la obra aquellos estudiantes de la asignatura que estuvieran «fuera del contacto universitario», bien por compatibilizar sus estudios con otras actividades o bien por residir en otras provincias. Por todo ello, se proponían «facilitar en lo que sea posible la ruda labor» de aquellos alumnos que no pudieran seguir las lecciones del profesor (Esteban, 1923, pp. 3-4). En sus *Explicaciones*, Esteban se esforzó en captar el interés de los alumnos no presenciales al enmarcar su libro –junto a los que había preparado sobre otras materias– dentro de una especie de red de apoyos, pues anunciaba que los estudiantes podían contactar con él para recibir ayuda sobre «gestiones de matrículas, apuntes programas y todo lo que con este grado se relacione» (Esteban, 1923, p. 119). Algunas de estas actividades complementarias fueron incluso anunciadas en la prensa local e incluían la preparación de «lecciones y repases a los escolares», ya que Esteban se presentaba ante los estudiantes como «un compañero capaz de ayudarles en la preparación de los exámenes».⁸ Todas estas facilidades dadas por Esteban a sus compañeros de facultad podían implicar que algunos alumnos consideraran los trabajos de Esteban no solo como un material complementario a las clases de Casares, sino que incluso llegaran a sustituir las lecciones de ese profesor y su *Tratado* (Bensaude-Vincent, 2000, p. 274). En el apartado siguiente se comparan diferentes características de las tres obras, como la extensión, la existencia de figuras, imágenes o tablas, la organización seleccionada, así como las relaciones entre competencia editorial, precios y autoría.

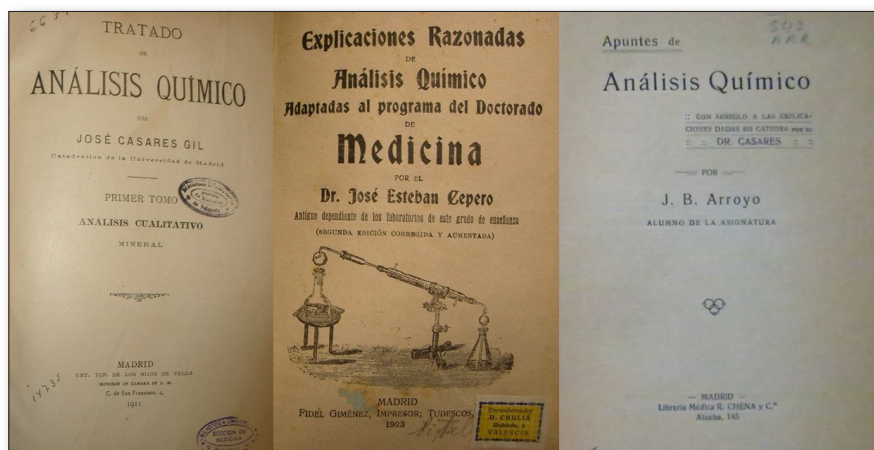


Fig. 1. Portada de las obras estudiadas publicadas por Casares, Esteban y Arroyo.

8. «Justo homenaje. De mozo de clínica a doctor en Medicina». *La Acción*, 18/11/1923, 2.

TRATADOS, APUNTES Y EXPLICACIONES: CARACTERÍSTICAS, ORGANIZACIÓN, EDITORIALES, COMPETENCIA, PRECIO Y AUTORÍA

Los cuadernos de estudiantes son un valioso elemento para discutir si el papel de los estudiantes se limitaba a transcribir directamente las ideas del profesor o bien a describir lo experimentado durante las clases (Bertomeu-Sánchez y García-Belmar, 2004). El estilo utilizado, la inclusión de notas, tablas, esquemas e imágenes son algunos de los detalles importantes que muestran que los editores –y en el caso de los cuadernos de clase los estudiantes– tenían un papel fundamental para dar forma a las notas tomadas en clase y transformarlas en un libro.

El *Tratado* de Casares está repleto de elementos que muestran un culto por el detalle de gran importancia en este tipo de obras, en las que era necesario ofrecer información muy detallada para describir operaciones y análisis químicos (Tomic, 2005). El estilo utilizado por Arroyo y por Esteban es muy similar, ambos combinaron los verbos en segunda persona del plural (procederemos, colocamos, sabemos, recordamos, miramos, etc.) con un estilo impersonal (se coloca, se hace, se obtiene, se utiliza, hay que disolver, etc.). La inclusión de notas y comentarios a pie de página, tablas, y de resúmenes o esquemas con marchas analíticas, no solo evitaba complejas descripciones para organizar y secuenciar los procedimientos químicos, sino que también pretendía superar el reto que implicaba explicar mediante la palabra escrita ese tipo de operaciones de laboratorio para guiar a los estudiantes en la descripción de los materiales e instrumentos y tratar de evitar o prevenir errores experimentales. Por el contrario, las obras de Arroyo y Esteban carecen de notas a pie de página para ampliar información o añadir aclaraciones o datos críticos, aunque en el libro de Esteban sí que se incluyó una única nota en la que se remitía a los lectores a otro de sus apuntes (Esteban, 1923, p. 102). En el libro de Arroyo es destacable que no incluye ninguna imagen, pero sí numerosas tablas. Como, por ejemplo, tablas volumétricas, tablas con propiedades de la leche o tablas con las propiedades de la orina (Arroyo, 192?, p. 31, 86 y 132). Por el contrario, el libro de Esteban incluye muy pocas tablas, pero sí veintitrés imágenes que, además, son muy similares a las que aparecen en el *Tratado* de Casares. La distinta presencia de tablas e imágenes en los textos de Arroyo y Esteban puede deberse a que la contribución y la ayuda aportada por sus respectivos editores fuera distinta en función de sus posibilidades. La ausencia de imágenes o la peor calidad de estas suponía una notable limitación en una asignatura como la de análisis químico en la que tenía gran importancia la transmisión de determinados conocimientos tácitos y de numerosos detalles relativos al «lenguaje del experimento», como el manejo de instrumentos y la colocación de los dispositivos, así como la transmisión de saberes sensoriales, por ejemplo, colores de líneas de líneas espectrales o de disoluciones (Tomic, 2005).

El estudio de la organización de los *Apuntes* y las *Explicaciones* ofrece más detalles sobre la compleja circulación de los conocimientos químicos desde la oralidad de las lecciones impartidas en el aula hasta su impresión en un libro de texto. Esta cuestión puede analizarse considerando la presencia de fórmulas químicas en los libros de Arroyo y Esteban, que es muy similar, así como la frecuencia con la que se utilizaron. La notación química estaba ya plenamente integrada en los libros de química desde mediados del siglo xx. Como han apuntado otros trabajos, el uso de estos nuevos signos supuso una «matematización silenciosa» de la química y desempeñó un papel muy relevante en las prácticas experimentales y las docentes, ya que facilitó el estudio de las reacciones químicas, la representación de las sustancias y la enseñanza de la química (Muñoz, 2018, p. 213). En comparación con la obra de Casares, sí que se han detectado algunas erratas en los textos de Arroyo y Esteban que pueden deberse tanto a errores tipográficos como a fallos en la transcripción de las lecciones que no siempre son fáciles de detectar por los lectores cuando no se siguen al mismo tiempo las lecciones del profesor. Se han comparado ejemplares de la obra de Esteban localizados en varias bibliotecas universitarias españolas que muestran el papel de los lectores en la corrección manuscrita de algunos errores, los cuales pasaron

inadvertidos tanto para los autores de la obra como para sus editores. Por ejemplo, la comparación entre un volumen localizado en la biblioteca de la Universidad Complutense de Madrid y otro conservado en la biblioteca del Instituto Interuniversitario López Piñero (IILP-UV) permite apreciar señales manuscritas sobre algunos errores tipográficos con correcciones diferentes, así como con errores que pasaron inadvertidos en uno de los casos (figura 2).

No todas las publicaciones realizadas por los estudiantes –y muy especialmente las manuscritas– fueron revisadas con la misma intensidad y existe el peligro de considerarlas un fiel reflejo de lo dictado por el profesor en el aula debido a distracciones, errores de interpretación o alteraciones introducidas en el proceso de puesta en limpio de las notas de clase. Como han mostrado otros trabajos, era frecuente que los cuadernos tomados en clase por los alumnos contuvieran no solo errores de transcripción sino también problemas para contextualizar el contenido o fallos en la enunciación de algunos conceptos clave (Arce, Conejo-Garrote y Ortega, 2016, p. 168). Tanto Arroyo como Esteban contaron con el apoyo de dos conocidas librerías médicas madrileñas que les facilitaron dicho trabajo de revisión. Esteban indicó además que su libro se debía a su «criterio fundado en diez años al servicio de estas cátedras», algo que no impidió que en el libro aparezcan numerosos errores tipográficos como los mencionados anteriormente sobre las fórmulas químicas.

El libro de Esteban estaba mucho mejor organizado que el de Arroyo, ya que no solo incluía un índice general en las últimas páginas, sino que además indicaba la correspondencia exacta entre los contenidos de sus *Explicaciones* y las lecciones del programa seguido por Casares en sus clases. Esteban decidió seguir escrupulosamente el orden seleccionado por el profesor, correspondiendo el capítulo primero a la lección 19 y avanzando sucesivamente hasta el último capítulo, que correspondía a la lección número 48. En todo caso, las obras de Arroyo y Esteban muestran unos contenidos similares, en las que se justifica y explica la noción de análisis químico, se explican las diferencias entre los distintos de análisis existentes, se continua mostrando la preparación de diferentes tipos de disoluciones necesarias para realizar dichos análisis y cómo utilizarlas en la determinación de sustancias inorgánicas y se concluía dedicando una especial atención al análisis de las aguas minerales, la leche y la orina, tres sustancias de gran interés para un estudiante de Medicina que podía trabajar posteriormente como hidrólogo, higienista o clínico.

En torno a la circulación de estos apuntes y explicaciones existía un importante negocio editorial del cual se beneficiaban tanto los autores como los editores. Esta relación de interés, así como la firma de contratos de fidelidad, facilitaba que los autores publicaran casi siempre con la misma editorial, lo cual posiblemente favoreció su colaboración. Los tres libros escritos por Arroyo (sobre las materias de hidrología, parasitología y análisis) fueron publicados por la librería médica R. Chena y Cía, una librería radicada en el número 145 de la calle de Atocha en Madrid, fundada en 1918 y especializada, como indica su nombre, en la comercialización de libros de medicina (Martínez, 1994, p. 357). Su propietario era Ricardo Chena Montes, el cual estaba vinculado a los entornos progresistas de la época debido a que llegó a figurar como candidato socialista en las elecciones municipales de Madrid en 1923.⁹ En el caso de Esteban, cuatro de sus obras (sobre hidrología, antropología, hematología e historia de la medicina) fueron publicadas por la imprenta de Mario Anguiano, situada también en Madrid, mientras que la segunda edición de *Explicaciones de Análisis Químico* fue publicada por el impresor Fidel Giménez. Debido a que no se han encontrados datos sobre la primera edición, es difícil conocer si se trata de una reimpresión realizada por la misma casa editorial o bien se produjo un cambio de editorial en la segunda edición. Sin embargo, todos los libros publicados por Esteban –tanto con Fidel Giménez como con Mario Anguiano– incluían la misma nota en la que se informaba sobre dónde se podían adquirir. En ella se indicaba que se encontraban a la venta «sobre todo en casa del autor», pero

9. «Elecciones Municipales». *El Liberal*, 04/02/1922, p. 3.

también en «las librerías de las capitales universitarias» y en las librerías madrileñas de Vidal y de D. Nicolás Moya, pero «no en ninguna otra que a esta clase de textos se dedique» (Esteban, 1923, p. 119). La librería de Nicolás Moya —que aparece como distribuidora de todas las obras de Esteban— era una de las más antiguas de Madrid, fue fundada en 1862 y estaba especializada en obras de medicina, al igual que sucedía con la editorial elegida por Arroyo. Por ello, en ambos casos se aprecia la preocupación de los autores por escoger una editorial que les pudiera apoyar, así como la preocupación de las librerías por su competencia y su interés por controlar la venta de estos manuales y apuntes.

La competencia existente entre los distintos autores y editores se refleja también en la coexistencia de dos textos muy similares —que se sumaban al propio libro del profesor— destinados al mismo público. Como se ha mostrado, las obras de Arroyo y Esteban eran bien valoradas y utilizadas por los estudiantes de la Facultad, ya que su estudio resultaba mucho más sencillo que el de los manuales y monografías de sus profesores. Los libreros y editores que los publicaron también tenían mucho interés en el éxito de su obra, en publicarlos y venderlos al máximo número de alumnos posibles (Palló, 2000, p. 378). Por ello, el precio de estos trabajos era otro elemento de competitividad de dichos trabajos y condicionaba el éxito de los libros (Bensaude-Vincent, 2000). El análisis de los precios de los libros resulta relevante tanto para la historia del libro como para la historia de la enseñanza y la historia de la ciencia. El precio de los libros (precio de catálogo) no dependía únicamente de la voluntad de los autores, sino que incorporaba los costes industriales o de fabricación, los de distribución y los costes varios (Botrel, 2004, p. 515). Algunos trabajos han apuntado a la relación existente entre el abaratamiento de los libros y el aumento en la lectura, es decir, la generalización de la lectura por públicos más diversos y su mayor presencia en bibliotecas públicas y privadas (Botrel, 2004, p. 519). En el caso de los libros de ciencias, un trabajo reciente —centrado en textos naturales en el primer tercio del siglo xx en España— ha considerado que el precio editorial de salida de 5 pesetas suponía un criterio que permite diferenciar las obras de popularización —de extensión reducida y no dirigidas a especialistas— del resto de textos científicos (Alba, 2015, p. 6). Gracias a la información suministrada por los editores en las páginas iniciales del libro o acudiendo a catálogos bibliográficos, es posible comparar el precio de ambas obras con las publicadas por Casares. Los *Apuntes de análisis químico* de Arroyo se vendían por 10 pesetas, exactamente el mismo precio que las *Explicaciones razonadas de análisis químico* publicadas por Esteban. Esto suponía una sustancial rebaja respecto a las 17 pesetas que costaba el primer tomo del *Tratado de análisis químico* de Casares y las 25 pesetas que costaba el segundo tomo (Catálogo, 1932, p. 556). Este margen de precios no parece una casualidad, ya que los precios de las obras de Arroyo y Esteban no podían diferir significativamente ante el riesgo de que los estudiantes se decantaran por la alternativa más barata; simultáneamente tenían que ser más económicas que el *Tratado* publicado por el profesor de la asignatura, que era más denso, pero también más completo y detallado. En el caso concreto de José Casares, había publicado unos años antes otros dos pequeños libros de análisis químico al asequible precio de 1,5 pesetas cada uno. Estos fueron publicados en las editoriales Espasa y Soler con una intención «popularizadora» para quien «no está familiarizado con el método de la ciencia» (Casares, 1905, p. 5). Es decir, estaban dirigidos a un público general, incluso sin estudios universitarios o de bachillerato, por lo que resultarían de poco interés para los estudiantes de Medicina y no entraban en competencia con los publicados por Arroyo y Esteban. En el caso de ambos autores, no se sabe si sus textos fueron el resultado de un encargo de los editores para que alumnos aventajados confeccionaran una obra a partir de las explicaciones tomadas en clase. También era posible que el propio estudiante propusiera por sí mismo la publicación de su obra a algún editor interesado en comercializarla, especialmente si tenía contactos dentro de la Facultad, como sucedía con Esteban.

No solo el precio y la competencia editorial eran posibles elementos de confrontación relacionados con la publicación de este tipo de libros. La propia autoría de la obra también causó conflictos que

llevaron a que algunos países prohibieran la publicación y la venta de los apuntes y notas de clases tomados por los alumnos en sus clases hasta bien entrado el siglo (Suay-Matallana, 2014b).

La discusión sobre la cuestión de la autoría comportaba discusiones sobre el reconocimiento material e inmaterial, es decir, sobre cuestiones monetarias y de prestigio, pero también ha fomentado discusiones de más calado sobre la creación del concepto de autoría y los límites de esta, así como debates sobre la fragmentación o reparto de la autoría (Biagioli y Galison, 2003, p. 5). En el caso de la historia de la educación y la historia de la ciencia muchos de estos problemas sobre la autoría estaban relacionados con las traducciones. La mayor parte de estas no se limitaban a la traducción lingüística de la obra original, sino que añadían notas, seleccionaban contenidos, eliminaban y compilaban secciones, creaban nuevos términos y nomenclaturas y realizaban adaptaciones al contexto local (Bensaude-Vincent, García Belmar y Bertomeu, 2003). Los libros publicados a partir de las notas de clase también podían causar quejas y reclamaciones por parte de profesores que reivindicaban su autoría (Simon, 2009, p. 76). En otros casos, los profesores aducían que sus libros eran publicados como respuesta a las notas y apuntes de clases de sus estudiantes. Algunos profesores ya habían apuntado anteriormente que la publicación de su obra respondía al «gran número de inexactitudes consignadas» en los «cuadernos manuscritos formados con las notas que toman por sí mismos en cátedra durante la explicación, o que se van transmitiendo de unos a otros», y manifestaban que su intención al publicar el libro era que desaparecieran esos problemas y evitar a los alumnos «el penosísimo trabajo de copiar toda la explicación» (Bonilla, 1880, p. vi). A pesar de estas preocupaciones, también es cierto que existía un lucrativo mercado editorial y que los propios profesores se veían recompensados tanto económica como académicamente con la publicación de sus obras, como sucedió con Casares.

La defensa de sus derechos intelectuales y comerciales era una cuestión que preocupaba a muchos profesores cuando tenían conocimiento de la existencia de apuntes y notas basados en sus clases (García-Belmar, Bertomeu-Sánchez, 2010, p. 110). Los trabajos de Arroyo y Esteban no tuvieron impedimentos legales para poder ser editados y vendidos y no circularon de forma anónima, sino que la autoría de ambos se anunciaba en la propia obra. En la contraportada de los *Apuntes* publicados por Arroyo aparecía una leyenda indicando «es propiedad del autor», y en las *Explicaciones* de Esteban, además de indicar «es propiedad», se añadía «queda hecho el depósito que marca la ley». Efectivamente, esta última obra fue incluso inscrita en el registro de la propiedad intelectual del Ministerio de Instrucción, lo cual parece indicar que ni el autor ni la editorial tuvieron problemas para poner en circulación las obras.¹⁰ Seguramente Casares, el profesor de la asignatura y autor del tratado de referencia, no considerara que la circulación de los textos de Arroyo y Esteban cuestionara la originalidad de sus ideas, amenazara su autoría, ni afectara a su reconocimiento público, debido a que en esa época ya era uno de los científicos más conocidos en España, formaba parte de numerosas academias y ocupaba diversos cargos institucionales y políticos. Quizá por ese motivo no se ha encontrado ninguna mención del propio Casares a los otros dos libros, ni en los prólogos de las sucesivas ediciones de su *Tratado* ni tampoco en periódicos o revistas profesionales.

10. Dirección general de Bellas Artes. Registro general de la propiedad intelectual. Obras inscritas en este registro durante el tercer trimestre del año próximo pasado. *Gaceta de Madrid*, 11, 11/01/1925, 136-137.

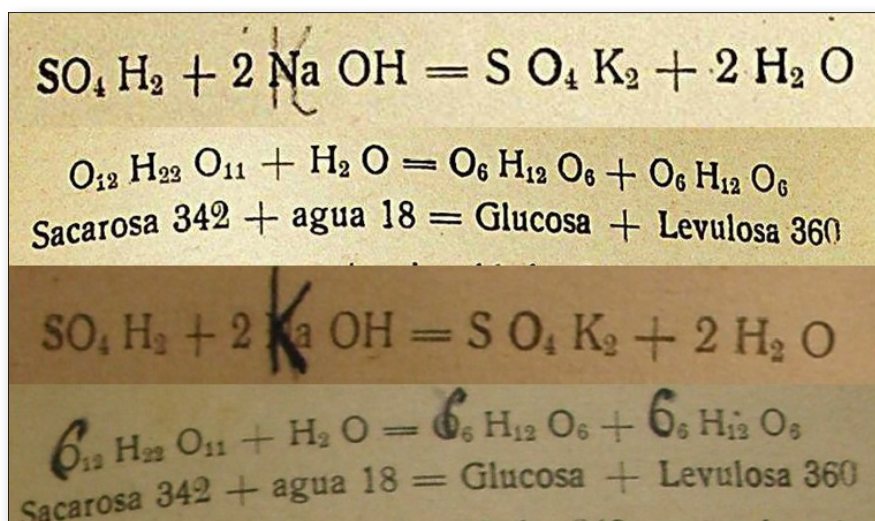


Fig. 2. Errores tipográficos en varias ecuaciones químicas, corregidos a mano por lectores en ejemplares localizados en la UCM (arriba) y el IILP (abajo) (Esteban, 1923, pp. 10 y 61).

CONCLUSIONES

El estudio de notas de clases, apuntes y explicaciones publicados por estudiantes permite conocer con más detalle las complejas relaciones existentes entre las prácticas docentes y su apropiación por parte de los estudiantes, así como estudiar la circulación del conocimiento en el entorno docente. Para ello, resulta de gran interés no solo estudiar los manuales y tratados publicados por aquellos catedráticos y profesores que tenían más prestigio. Junto a estos textos famosos existían otros materiales, como apuntes y explicaciones tomadas en clase, que circulaban por los centros de enseñanza de forma manuscrita y, a veces, de forma impresa. Estos materiales tenían un gran valor pedagógico porque no solo eran utilizados frecuentemente por distintos tipos de alumnos, sino que además habían sido realizados por ellos mismos, basándose en las lecciones recibidas en las aulas. Por ello, su estudio histórico pone el foco en un tipo de fuentes menos conocidos que los libros de textos recomendados para las asignaturas. Estos ofrecen nuevas posibilidades para conectar la didáctica con la historia de la ciencia y mostrar el activo papel desempeñado por algunos estudiantes que repercutía no solo en su propia formación sino también en la de sus compañeros de clase.

Como han mostrado otros trabajos históricos, la transformación de un curso en un libro de texto podía deberse a la iniciativa del propio profesor, interesado, por ejemplo, en obtener méritos que le permitieran avanzar en su carrera docente. También podía ser fruto del interés de la institución académica en la que se realizaba con el fin de contar con una serie de materiales propios. En otros casos, podía deberse al trabajo de ciertos estudiantes que o bien realizaban la transcripción de las clases como una tarea requerida, o bien lo hacían por iniciativa propia para facilitar el estudio de la asignatura. Finalmente, la publicación de los cursos podía ser fruto de razones comerciales, por las que editoriales, taquígrafos o libreros pretendían conseguir un beneficio económico (Bruter, 2008, p. 24). Por todo ello, la edición de los cuadernos de estudiantes requería de una estrecha colaboración entre autores y editores. Esto llevó a que existieran librerías y editoriales especializadas en la comercialización de este tipo de apuntes de ciencia y medicina. Algunas de estas obras contaron con varias ediciones o reimpressiones, lo cual muestra la existencia de un mercado nada despreciable, con un elevado número de lectores interesados en comprarlas. La realización de varios libros de apuntes para distintas asignaturas

refuerza la idea de que no se trataba de trabajos esporádicos de estudiantes aislados, sino que era frecuente la colaboración entre estos autores, editores y libreros en la búsqueda de beneficios e ingresos. Los *Apuntes* y las *Explicaciones* publicados por Arroyo y Esteban competían con los textos publicados por los propios profesores encargados de las asignaturas. En este caso, es posible que el *Tratado de análisis químico* de Casares fuera más adecuado para los estudiantes de Química y Farmacia, con un mayor conocimiento de cuestiones analíticas, que para los estudiantes de la asignatura de Análisis en un doctorado de Medicina. En todo caso, muchos de los futuros médicos prefirieron utilizar otros libros redactados especialmente para ellos y adaptados a los contenidos de la asignatura y del docente con quien se iban a examinar. Como publicitaron Arroyo y Esteban, sus textos eran escritos por estudiantes y para estudiantes, con la intención de ofrecer un producto que conviniera más a sus necesidades y a un precio considerablemente menor que el publicado por el profesor. Estas obras suponían una magnífica oportunidad para acceder, de forma más sencilla, a los contenidos supuestamente explicados en el aula, especialmente para los estudiantes que no pudieran asistir a clase o que no pudieran residir durante todo el curso académico en la capital. También es posible apuntar, tentativamente, una posible conexión entre los diferentes textos analizados y la ideología de los autores. Casares era un químico que pertenecía a la Junta para la Ampliación de Estudios, pero fue transitando hacia posiciones cada vez más reaccionarias. Su *Tratado* parece adecuarse más a los intereses de aquellos estudiantes que contaban con tiempo para acudir a sus clases, así como con recursos para costearse un tratado completo y detallado. Mientras que el libro de Arroyo fue publicado por un editor vinculado a los ambientes socialistas, Esteban colaboró durante la guerra con instituciones comunistas. En ambos casos, sus obras parece que estaban más ajustadas a atender las necesidades de los estudiantes con menos recursos materiales o con menor disponibilidad para poder seguir de forma completa las lecciones impartidas en el aula.

Sin embargo, sería problemático considerar que los *Apuntes* y las *Explicaciones* de Arroyo y Esteban se limitaban a transcribir y recoger fielmente las explicaciones dictadas por el profesor. Más que reflejar el papel de Casares en el aula, estos textos muestran la activa contribución de ambos autores en sus obras. Ambos tuvieron que tomar notas en clase lo más completas posible —quizá en más de una ocasión—, y posteriormente tuvieron que transcribirlas y pasarlas a limpio, así como resumirlas, seleccionar los contenidos y estructurar los apartados. Además, trabajaron con los editores para organizarlas y revisarlas y tomaron decisiones sobre la inclusión de esquemas, tablas o imágenes que tan necesarias resultaban en una asignatura dedicada a los análisis químicos. A pesar del esfuerzo realizado tanto por Arroyo como por Esteban, se aprecia una notable diferencia en la calidad y cantidad de las imágenes y tablas existentes en sus textos, en comparación con las incluidas en el *Tratado* de Casares. Resulta evidente que este último contaba con mayores recursos personales profesionales y editoriales. Un ejemplo de estas diferencias se refleja en las erratas tipográficas existentes en las obras de Arroyo y Esteban, que requerían una atenta lectura de los textos por parte de los lectores para detectarlas y corregirlas en cada ejemplar.

El precio, la autoría y los intereses intelectuales y económicos son otro de los elementos que afectan a este tipo de obras. Los autores defendieron de forma pragmática la utilidad de sus textos y su circulación fue apoyada por los editores gracias a su bajo precio, asequible a distintos tipos de alumnos, especialmente los no presenciales. En este caso, el prestigio plenamente asentado de Casares, así como que su principal público destinatario se encontrara entre los estudiantes de Farmacia y de Química, no amenazaron su propiedad intelectual, ni implicó que se preocupara por la aparición de estos libros. El éxito de las obras de Arroyo y Esteban permitió crear un activo mercado editorial que también supuso una respetable fuente de ingresos para algunos estudiantes, que como sucedió en el caso de Esteban tuvieron el valor añadido de permitirles culminar su itinerario académico.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo ha sido posible gracias a los proyectos «PID2019-106743GB-C21» (Ministerio de Ciencia e Innovación, 2020) y «PGC2018-097817-B-C33» (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, 2019).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alba Maderuelo, P. (2015). *Los libros de divulgación de la naturaleza en España, de 1900 a 1936*. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá.
- Arce Sánchez, M., Conejo Garrote, L. y Ortega del Rincón, T. (2016). ¿Cómo son los apuntes de matemáticas de un estudiante? Influencia de los elementos matemáticos y sus relaciones. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(1), 149-172.
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1706>
- Arroyo, J. B. (192?a). *Apuntes de análisis químico: con arreglo a las explicaciones dadas en cátedra por el Dr. Casares*. Madrid: Librería Médica R. Chena y Cía.
- Arroyo, J. B. (192?b). *Apuntes de parasitología: con arreglo a las explicaciones dadas en cátedra por el profesor D. Gustavo Pittaluga*. Madrid: Librería Médica R. Chena y Cía.
- Arroyo, J. B. (1929). *Apuntes de hidrología médica con arreglo al programa y explicaciones del Dr. H. Rodríguez Pinilla*. Madrid: Librería Médica R. Chena y Cía.
- Bensaude-Vincent, B. (2000). From teaching to writing: lecture notes and textbooks at the French École Polytechnique. En A. Lundgren, B. Bensaude-Vincent (Eds.), *Communicating chemistry. Textbooks and their audiences, 1789-1939* (pp. 273-294). Canton: Science History Publications.
- Bertomeu-Sánchez, J. R., García-Belmar, A. y Bensaude-Vincent, B. (2002). Looking for an order of things: Textbooks and chemical classifications in Nineteenth Century France. *Ambix*, 49(3), 227-250.
<https://doi.org/10.1179/amb.2002.49.3.227>
- Bensaude-Vincent, B., García Belmar, A. y Bertomeu Sánchez, J. R. (2003). *L'émergence d'une science des manuels. Les livres de chimie en France 1789-1852*. París: Editions des Archives Contemporaines.
- Bertomeu-Sánchez, J. R. y García-Belmar, A. (2004). *Les cahiers d'élèves sources pour une histoire des contenus et des pratiques de l'enseignement de la chimie*. http://the.ish-lyon.cnrs.fr/?q=coursmag_ressdoc (consulta: 01/09/2020).
- Biagioli, M. y Galison, P. (Eds.) (2003). *Scientific Authorship. Credit and Intellectual Property in Science*. Nueva York: Taylor & Francis Books.
- Bonilla Mirat, S. (1880). *Tratado elemental de química general y descriptiva*. Valladolid: Imprenta de Hijos de Rodríguez.
- Botrel, J. F. (2004). El precio del libro (España, siglos XIX-XX). En P. M. Cátedra García, M. I. de Páiz Hernández, M. L. López-Vidriero Abello (Coords.), *La memoria de los libros: estudios sobre la historia del escrito y de la lectura en Europa y América*, vol. 2 (pp. 511-527). Madrid: Instituto de Historia del Libro y de la Lectura.
- Bruter, A. (2008). Le cours magistral comme objet d'histoire. *Histoire de l'éducation*, 120, 5-32.
<https://doi.org/10.4000/histoire-education.1829>
- Catálogo (1932). *... general de la librería española e hispanoamericana, años 1901-1930*, v.1. Madrid: Instituto Nacional del libro español.
- Casares Gil, J. (1905). *Análisis químico: (tratado elemental)*. Barcelona: Manuel Soler.
- Casares Gil, J. (1911). *Tratado de análisis químico: tomo I Análisis Cualitativo mineral*. Madrid: Imp. Viuda e Hijos de Tello.

- Casares Gil, J. (1948). *Tratado de análisis químico: tomo 1 Análisis cualitativo mineral, 5 ed. continuada por Román Casares López*. Madrid: Estades.
- Corral García, J. M. (1961). Intervención del Dr. Corral. *Anales de la Real Academia Nacional de Medicina*, 78(2), 192-196.
- Darnton, R. (2007). «What is the history of books?» revisited. *Modern Intellectual History*, 4(3), 495-508.
<https://doi.org/10.1017/S1479244307001370>
- Esteban Cepero, J. (1923). *Explicaciones razonadas de análisis químico adaptadas al programa del doctorado de medicina*, 2ed. Madrid: Fidel Giménez.
- Esteban Cepero, J. (1924). *Apuntes de historia de la medicina: arreglados al programa de la asignatura*. Madrid: Imprenta de Mario Anguiano.
- Esteban Cepero, J. (1925a). *Apuntes de hidrología médica: arreglados al programa de la asignatura*. Madrid: Imprenta de Mario Anguiano.
- Esteban Cepero, J. (1925b). *Apuntes de antropología: arreglados al programa de la asignatura*. Madrid: Imprenta de Mario Anguiano.
- Esteban Cepero, J. (1925c). *Lecciones elementales de hematología general y de parasitología microscópica con un apéndice sobre algunos gusanos: con especial aplicación al grado de Doctor en Medicina*. Madrid: Imprenta de Mario Anguiano.
- García-Belmar, A. y Bertomeu-Sánchez, J. R. (2010). Palabras de química. Oralidad y escritura en la enseñanza de una ciencia experimental. *Cultura Escrita & Sociedad*, 10, 107-148.
- García-Belmar, A. y Bertomeu-Sánchez, J. R. (2015). Learning by writing. Chemistry student notebooks and lecture demonstrations in early 19th century France. *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 65(175), 599-615.
<http://dx.doi.org/10.1484/J.ARIHS.5.112779>
- García-Martínez, A. y Izquierdo Aymerich, 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>
- Lundgren, A. y Bensaude-Vincent, B. (Eds.). (2001). *Communicating Chemistry: Textbooks and their Audiences*. Canton: Science History Pub.
- Martínez, P. P. (1994). *Escritores y editores en la Restauración canovista (1875-1923)*. Madrid: Ediciones de la Torre.
- Muñoz Bello, R. (2009). Autores y traductores de libros de texto de química en España, 1788-1845. *Actes d'Història de la ciència i de la tècnica*, 2(1), 411-418.
- Muñoz Bello, R. (2015). *Los manuales de química en España (1788-1845). Protagonistas, terminología, clasificaciones y orden pedagógico*. Valencia: Universitat de València. <http://hdl.handle.net/10550/49211>
- Muñoz Bello, R. (2018). La notación química: El lenguaje algebraico de Berzelius en España. En C. Garriga Escribano, M. L. Pascual, M. Betulia Pedraz (Eds.). *Lengua de la ciencia y lenguajes de especialidad* (pp. 261-278). Coruña: Universidade da Coruña.
- Murua, A. (1906). *Un curso de química orgánica experimental del Profesor Adolfo V. Baeyer dado en el Universidad de Munich durante el Semestre de verano de 1905. (Notas é impresiones recojidas durante el mismo)*. Barcelona: Imprenta de Francisco Badia.
- Nieto-Galan, A. (2011). *Los públicos de la ciencia: Expertos y profanos a través de la historia*. Madrid: Marcial Pons.
- Olesko, K. M. (2014). Science Education in the Historical Study of the Sciences. En M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1965-1990). Ámsterdam: Springer Verlag.

- Palló, G. (2000). Roles and goals of chemical textbooks on the periphery. En A. Lundgren, B. Bensaude-Vincent (Eds.), *Communicating chemistry. Textbooks and their audiences, 1789-1939* (pp. 367-396). Canton: Science History Publications.
- Pardo Tomás, J. (2010). Ciencia, historia y escritura, *Cultura Escrita & Sociedad*, 10, 7-16. <http://hdl.handle.net/10261/28863>
- Rudolph, J. (2019). *How We Teach Science: What's Changed, and Why It Matters*. Cambridge: Massachusetts: Harvard Univ. Press.
- Simões, A. Carneiro, A. y Diogo, M. P. (Eds.) (2003). *Travels of Learning. A Step Towards a Geography of Science in Europe*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Simon, J. (2009). *The Production, Distribution and Use of Ganot's Textbooks* (tesis doctoral). Leeds: University of Leeds.
- Simon J. (2011). *Communicating Physics: The Production, Circulation and Appropriation of Ganot's Textbooks in France and England (1851-1887)*. Londres: Pickering and Chatto.
- Suay-Matallana, I. (2014a). *Análisis químico y expertos en la España contemporánea: Antonio Casares Rodríguez (1812-1888) y José Casares Gil (1866-1961)*. Ann Arbor: ProQuest UMI Dissertations Publishing.
- Suay-Matallana, I. (2014b). La colaboración científica y los espacios de la química: un estudio de caso español en la primera mitad del siglo xx. *Revista Española de documentación científica*, 37(4), 1-11. <http://dx.doi.org/10.3989/redc.2014.4.1163>
- Tomic, S. (2005). *Transmettre le savoir-faire: les cours d'analyse chimique au 19e siècle, Le cours magistral: modalités et usages (XVII^e-XX^e siècles)*. http://rhe.ish-lyon.cnrs.fr/?q=coursmag_ressdoc (consulta: 01/09/2020).

Tratados, Apuntes, and Explicaciones: three chemistry textbooks competing in the 1920s

Ignacio Suay-Matallana

Instituto Interuniversitario López Piñero - Universidad Miguel Hernández, Alicante, España
isuay@umh.es; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0443-9427>

This work compares two books published by chemistry students, with the treatise published by the professor of the subject. They are the *Tratado de análisis químico* published by José Casares Gil, as well as the *Apuntes de análisis químico*, and the *Explicaciones razonadas de análisis químico* published respectively by J. B. Arroyo, and J. Esteban Cepero. All three works were based on the lessons taught in the classroom, and were aimed at students of chemical analysis taking the doctoral program in medicine at the University of Madrid in the 1920s. Their authors tried to captivate an audience with diverse interests, in collaboration with publishers and booksellers. Thus, the notebooks and explanations studied in this paper show how both students developed an active and creative scientific work, and provide relevant details on the construction of knowledge in the academic sphere.

The study of student books, class notes and explanations published by students offers an unusual point of view to the large variety of the activities developed in the academic context. It also facilitates to understand how students appropriated the knowledge discussed in their classrooms, and how they created their own materials with a high pedagogical value. The publication and sale of these materials was also a source of funding for their authors, in many cases became decisive for the payment of their academic fees and to complete their degrees.

This article explores the reasons why these authors published their works, the role of these materials in their academic contexts, their possible uses according to their different readers, the most relevant differences and similarities existing between the three books, as well as the relationship between their price, their authorship, and the publisher selected in each case. All of this shows a rich framework where not only the activities and materials designed by the teachers but also the ones produced by students were relevant. Their notebooks had a central role for both the development of the academic pathway of its authors, as well as the training of their classmates.



El boletín Faraday (1928-29) y las relaciones entre historia y didáctica de las ciencias

The bulletin Faraday (1928-29) and the relations between history and didactics of science

Luis Moreno Martínez

Instituto Interuniversitario López Piñero, Universitat de València (España)

luis.moreno-martinez@uv.es

RESUMEN • *Faraday* ha sido considerada una de las primeras publicaciones especializadas en didáctica e historia de la ciencia en España. Sin embargo, hasta la fecha su recuperación y estudio se revelaba pendiente. A través del análisis inédito de esta publicación de principios del siglo xx, se abordan las relaciones entre historia y didáctica de las ciencias desde una mirada diacrónica. Dicho análisis ha puesto de manifiesto cómo la didáctica de las ciencias contribuyó a impulsar la forja disciplinar de la historia de la ciencia y cómo esta última nutrió a la didáctica de las ciencias de un amplio sustrato metodológico y epistemológico. Este análisis también ha ofrecido varios elementos de reflexión para pensar críticamente retos de la actual didáctica de las ciencias experimentales, tales como su conexión con el profesorado y los usos didácticos de la historia de la ciencia.

PALABRAS CLAVE: Historia de la ciencia; Didáctica de las ciencias experimentales; Enseñanza de las ciencias; Disciplinas académicas; Revistas pedagógicas.

ABSTRACT • *Faraday* has been pointed out as one of the first specialized journals on the didactics and history of science in Spain. Starting from the analysis of this unstudied journal, this paper examines the relations between history and didactics of science in the early twentieth-century Spain. I argue that didactics of science was a key factor in the emergence of history of science as an academic discipline. Likewise, history of science provided didactics of science with a wide range of methodological and epistemological resources. Besides, the analysis of *Faraday* has highlighted several reflection elements for thinking critically about the relations between didactics of science and science teachers, and the didactic uses of the history of science.

KEYWORD: History of science; Didactics of science; Science teaching; Academic disciplines; Pedagogy journals.

Recepción: abril 2020 • Aceptación: noviembre 2020

Moreno Martínez, L. (2021). El boletín Faraday (1928-29) y las relaciones entre historia y didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 215-230.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3304>

OBJETIVOS, MARCO TEÓRICO Y APROXIMACIÓN METODOLÓGICA

El presente artículo indaga en las relaciones entre historia y didáctica de las ciencias a través de una publicación que, pese a haber sido señalada como la «primera revista española dedicada a la didáctica e historia de la ciencia» (Checa Godoy, 2002, p. 243), no ha sido objeto de recuperación ni análisis hasta ahora: el boletín *Faraday*. Mediante el análisis inédito de esta publicación se pretenden tres objetivos de investigación. En primer lugar, contribuir a recuperar esta publicación científico-pedagógico pionera, dado su olvido generalizado tanto en el seno de la historiografía científico-educativa como en la propia genealogía del colectivo didacta. En segundo lugar, se analiza el papel que la didáctica de las ciencias tuvo en el impulso disciplinar de la historia de la ciencia. En tercer lugar se estudia el papel desempeñado por la historia de la ciencia en el desarrollo de la didáctica de las ciencias experimentales.

El estudio de las relaciones entre historia y didáctica de las ciencias se inscribe en un marco cronológico de gran interés analítico: el primer tercio del siglo xx. Al tratarse de un periodo en el que ambas disciplinas estaban lejos de ostentar su carácter disciplinar actual, su análisis ofrece un proscenio privilegiado para pensar conexiones que no necesariamente encontraremos en las disciplinas actuales. Ello permitirá así evitar la visión teleológica que destaca de este «periodo adisciplinar» solo aquellos elementos que después vertebraron las respectivas disciplinas. Asimismo, al abandonar el «periodo disciplinar» es posible abordar un análisis que huya de una visión internalista del desarrollo de la disciplina. Se trata de miradas analíticas en clara consonancia con la actual historia social y cultural del conocimiento (Burke, 2017), las nuevas perspectivas historiográficas en historia de la ciencia (Simon y Herrán, 2008), la historia de la ciencia promovida desde la investigación didáctica (Quintanilla Gatica et al., 2014) y las pautas metodológicas sobre análisis diacrónico de cuestiones actuales en educación científica (Rudolph, 2019). Sin embargo, para acometer dichos objetivos, se hace fundamental una previa reflexión sobre la propia concepción de disciplina en la que se enmarca el análisis.

Las disciplinas académicas del presente pueden entenderse como constructos en una constante tensión entre pasado y futuro. En el marco de la sociología del campo intelectual de Bourdieu, es posible concebir las disciplinas científicas como territorios propios cuyos miembros integrantes comparten lenguajes, valores, instituciones y una serie de problemas no resueltos (Nye, 1993), entre otros elementos vertebradores. Al igual que los Estados nación, una disciplina requiere del reconocimiento externo de otros «territorios» a fin de lograr legitimidad en su correspondiente campo del saber. La interacción con otras disciplinas constituye así un aspecto de gran relevancia para su desarrollo (Gavroglu y Simoes, 2012), algo que *Faraday* ilustra para el caso de la didáctica y la historia de las ciencias. Precisamente, la historia constituye otro elemento vertebrador de las disciplinas, actuando a modo de genealogía que conecta a los integrantes del presente con tradiciones y saberes pretéritos de los que se erigen legítimos descendientes, a los que también cuestionan y en ocasiones silencian. Si estas genealogías conectan la disciplina con el pasado, la enseñanza la conecta con el futuro; motivo por el cual la selección y organización de saberes que acarrea la enseñanza ha sido señalada como un factor clave en la forja de las propias disciplinas científicas, que tendrían así un origen didáctico (Hannaway, 1975). Así, los futuros miembros de las disciplinas han de ser instruidos en los valores, prácticas, lenguajes y saberes de esta a fin de garantizar su continuidad. La didáctica de las ciencias experimentales ilustra todos estos elementos definitorios de una disciplina académica.

La didáctica de las ciencias experimentales es, no obstante, una disciplina joven en comparación con la dilatada tradición de las ciencias de cuya enseñanza-aprendizaje se ocupa, las cuales gestaron su conformación disciplinar a lo largo del siglo xix. Desde esta perspectiva es posible asumir que la reflexión epistemológica sobre el desarrollo histórico de las ciencias sea mucho más amplia, diversificada y problematizada que la historia de su didáctica. No obstante, desde finales del siglo xx, varios didactas de las ciencias (o didactólogos) asumieron de forma pionera el estudio del pasado de su disciplina.

En este terreno cabe destacar los trabajos de Porlán Ariza (1998), Adúriz Bravo e Izquierdo Aymerich (2002) para la disciplina en España. Así, en un primer esfuerzo por abordar el pasado de la entonces emergente didáctica de las ciencias experimentales, se distinguieron varias etapas en su desarrollo histórico. Para el contexto español, en el que se inscribe el presente trabajo, se apuntó la existencia de una primera etapa adisciplinar (desde finales del siglo XIX hasta mediados del siglo XX) caracterizada por la producción discontinua de trabajos sobre enseñanza de las ciencias; una etapa tecnológica (localizable en las décadas de 1950 y 1960) definida por el interés en el estudio de las reformas curriculares; una etapa protodisciplinar (situable en la década de 1970) en la que se produjeron los primeros consensos en torno a cuestiones como la importancia de las concepciones alternativas del alumnado en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias; una etapa emergente (que abarcaría las décadas de 1980 y 1990) en la que los cada vez mayores consensos teóricos y metodológicos en torno al constructivismo se articulaban en una creciente estructura académica universitaria; y la etapa actual, en la que la didáctica de las ciencias constituye una disciplina consolidada caracterizada por modelos genuinamente didácticos y una amplia presencia universitaria (Porlán Ariza, 1998; Adúriz Bravo, 2000; Adúriz Bravo e Izquierdo Aymerich, 2002).

Estos primeros trabajos contribuyeron a dotar a la didáctica de las ciencias experimentales de un pasado. Las propias ciencias experimentales también produjeron dichas narrativas genealógicas sobre su pasado a lo largo de su consolidación durante el siglo XIX. Estas narrativas fueron producidas por los propios científicos, hoy conocidos como científicos-historiadores. Las narrativas históricas de estos científico-historiadores sirvieron de sustrato para los análisis producidos por la primera generación de historiadores de la ciencia. La historia de la ciencia tuvo su forja disciplinar en las primeras décadas del siglo XX. Por ello, a lo largo del siglo XX las ciencias experimentales han visto ampliadas, matizadas y problematizadas sus primeras narrativas históricas (Kragh, 2007). Se ha transitado así de una historia netamente genealógica basada en estadios o etapas y centrada en el desarrollo interno de las disciplinas científicas (la producida por el científico-historiador) a una historia social, cultural y material de las ciencias (la producida por el historiador de la ciencia) (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2008; Nieto-Galan, 2014). Todo ello permite trazar un paralelismo en el tiempo entre la producción de nuevas narrativas históricas y el nivel de maduración de las propias disciplinas. Esta misma situación es identificable para el ámbito de la didáctica de las ciencias experimentales. Así, trazadas las primeras genealogías disciplinares, en las últimas décadas se han producido nuevas narrativas históricas.

Desde esta óptica, Bernal Martínez (2001) señaló la necesidad de una historia de la didáctica de las ciencias experimentales que incorporase personajes, espacios y experiencias escolares que hasta entonces habían recibido una escasa atención por parte de la disciplina. Progresivamente, la historia de la didáctica de las ciencias experimentales fue experimentando una notable expansión en el ámbito académico, atrayendo la atención tanto de historiadores de la ciencia interesados en las aulas (Bertomeu Sánchez, 2016) como de historiadores de la educación interesados en la ciencia escolar (Viñao, 2004). En esta línea, las primeras dos primeras décadas del siglo XXI han sido testigo de una profunda renovación, consolidación y diversificación de los estudios históricos sobre ciencia en las aulas (Kaiser, 2005; Olesko, 2006, 2014), habiéndose afirmado que «no parece que la historia de la ciencia pueda prescindir de la historia de la educación científica» (Nieto Galán, 2011, p. 203).

La didáctica de las ciencias experimentales ha mantenido desde su consolidación disciplinar una estrecha relación con la historia de la ciencia, trazable al ser posible localizar múltiples trabajos sobre historia y epistemología de las ciencias en publicaciones propias de la disciplina. En este ámbito es sobresaliente el caso de la revista *Enseñanza de las Ciencias*, que incluyó en su primer número un artículo reivindicando la importancia de la historia de la ciencia en la enseñanza (Navarro Brotons, 1983). La propia investigación didáctica ha puesto de manifiesto la necesidad de que la historia escolar de la ciencia sea aquella que parta del trabajo del historiador de la ciencia, adaptándolo a las necesidades del

profesorado en un marco avalado por la investigación didáctica (Quintanilla Gatica et al., 2014). Esta misma premisa se erige como fundamental no solo para la producción y uso de narrativas escolares sobre historia de la ciencia, sino también para la construcción de la propia historia de la didáctica de las ciencias experimentales y su incorporación a la reflexión epistemológica en el seno de la disciplina. Se trata de una línea de investigación que, si bien mucho menos transitada que el estudio de los usos didácticos de la historia de la ciencia, ha experimentado un notable impulso en los últimos años en el ámbito internacional. En este punto cabe destacar los trabajos de Olesko (2014) sobre la categorización de la enseñanza de las ciencias para la investigación histórica y los análisis de Rudolph (2019) sobre el análisis diacrónico de cuestiones didácticas actuales en la enseñanza de las ciencias. Se trata, asimismo, de una línea de investigación que exige miradas metodológicas necesariamente interdisciplinarias, ampliamente asumibles en el seno de la didáctica de las ciencias experimentales, desde el cual ya se señaló hace décadas la «apertura interdisciplinar» como una muestra de consolidación que en el futuro debía caracterizar a la disciplina (Porlán Ariza, 1998, p. 182).

Desde esta «apertura interdisciplinar» y partiendo del alto valor de la historia para comprender, conocer, saber y relacionar en la enseñanza de las ciencias (Izquierdo Aymerich, 2011), se ha analizado *Faraday*, atendiendo a dos miradas metodológicas propias de la interfase entre el trabajo del didacta y del historiador de la ciencia. En primer lugar, se han adoptado las pautas propias de la investigación histórica a fin de identificar los elementos definitorios de esta publicación pedagógico-científica. El olvido de *Faraday* en la literatura académica ha hecho necesario acometer un trabajo de descripción de la publicación (primer objetivo de investigación) antes de abordar el análisis de las relaciones entre historia y didáctica de las ciencias (segundo y tercer objetivo). La búsqueda, recuperación y análisis de los ejemplares de *Faraday* ha sido posible gracias al catálogo de la Biblioteca de Catalunya, donde se conservan 12 de los 13 ejemplares localizados. El examen realizado ha mostrado que se trató de una publicación de periodización cuasimensual, con la excepción del periodo estival, cuyo primer número fue publicado en enero de 1928. Tal y como se pudo observar en la tabla 1, el último número localizado corresponde a mayo de 1929. Como se podrá comprobar en el próximo epígrafe, la descripción de *Faraday* se ha llevado a cabo atendiendo a los elementos definitorios propios de publicaciones pedagógicas de la época, como la *Revista de Escuelas Normales* (Díez Torre et al., 1988) o *Escuela Moderna* (Montes Moreno, 2003). Entre estos elementos se incluyen el editor, los objetivos de la publicación y su estructura, a la que hay que añadir un elemento revelado como clave en el marco de la historiografía actual de las ciencias: los públicos (Nieto-Galan, 2011). Como se verá a través de las páginas de *Faraday*, lejos de meros receptores pasivos, los públicos han desempeñado un papel activo que ha condicionado la circulación de saberes científicos y pedagógicos.

Tabla 1.
Números del boletín *Faraday* publicados y localizados (1928-1929)

Núm.	Mes / año	Núm.	Mes / año	Núm	Mes / año
1	Enero /1928	6	Septiembre / 1928	11	Marzo / 1929
2	Febrero / 1928	7	Octubre / 1928	12	Abril / 1929
3	Marzo / 1928	8	Nov.-Dic. / 1928	13	Mayo / 1929
4	Abril / 1928	9	Enero / 1928	Números localizados: todos excepto el número de abril de 1928	
5	Mayo / 1928	10	Febrero, / 1929		

En segundo lugar, la consecución de los otros dos objetivos de la investigación ha sido posible gracias a una aproximación metodológica cimentada en tres estadios fundamentales. Primero se ha contextualizado la publicación del boletín en el marco histórico correspondiente, a fin de evitar presentismos y anacronismos. Así, la abundante literatura académica sobre enseñanza de las ciencias en el primer tercio del siglo xx (Moreno Martínez, 2020a) permite situar a *Faraday* en un contexto de profunda renovación de la enseñanza de las ciencias. En esta renovación jugó un papel clave el profesorado normalista de ciencias, docentes encargados de formar en ciencias a los futuros maestros. La existencia de instituciones (las Escuelas Normales), un colectivo reglado (los docentes normalistas), una formación específica (los estudios de la Escuela de Estudios Superiores del Magisterio) y órganos de comunicación propios (como *Revista de Escuelas Normales* o *Faraday*) muestran la didáctica de las ciencias como un campo profesional claramente conectado en intereses y objetivos con la disciplina actual.

Esa conexión es precisamente la que ha permitido transitar al segundo estadio metodológico: la mirada diacrónica a cuestiones didácticas actuales. En consonancia con los trabajos de Rudolph (2019), el estudio diacrónico de cuestiones didácticas actuales ha de implicar un ejercicio de análisis que evite asumir un contexto educativo como consecuencia directa, lógica y esperable del anterior. En contextos pasados, muchos futuros fueron plausibles, quedando fuera de nuestro presente y, por tanto, del estado de la disciplina actual. Es por ello por lo que la mirada diacrónica permite enriquecer el conocimiento sobre la disciplina didáctica actual al incorporar voces y problemáticas que quedaron excluidas de las genealogías disciplinares. En el presente trabajo, el estudio de las relaciones entre historia y didáctica de las ciencias ha sido la cuestión didáctica actual que ha guiado el análisis realizado.

Finalmente, el tercer estadio metodológico ha permitido transitar del análisis diacrónico de las relaciones entre historia y didáctica en el pasado al análisis epistemológico de la disciplina didáctica en el presente. En este terreno mestizo entre historia y didáctica de las ciencias ha sido especialmente relevante la «apertura interdisciplinar» a la que se aludía en líneas anteriores. Así, al no haberse abordado todavía una sociogénesis panorámica de la didáctica de las ciencias experimentales en España, el análisis realizado se ha nutrido de las perspectivas analíticas empleadas por Mainer Baqué (2009) en su amplio estudio sobre la forja profesional de la didáctica de las ciencias sociales en España. En su análisis, el autor piensa esta didáctica específica como consecuencia de complejos procesos históricos (en absoluto lineales) que establecieron jerarquías y exclusiones en la toma de decisiones sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias sociales. Esta mirada crítica ha resultado de especial interés para conectar el análisis de *Faraday* con otro ineludible reto de la didáctica de las ciencias experimentales en la actualidad: el largo camino entre reflexión didáctica y práctica docente en la enseñanza de las ciencias o lo que es lo mismo, las relaciones entre la didáctica de las ciencias experimentales como disciplina académica y el profesorado de ciencias.

FARADAY: EDITOR, OBJETIVOS, PÚBLICOS Y ESTRUCTURA

Faraday nació del empeño de uno de los más destacados actores de la enseñanza de las ciencias en España durante el primer tercio del siglo xx, el profesor Modesto Bargalló Ardévól (1894-1981), cuya trayectoria profesional ha sido recuperada y analizada por recientes investigaciones históricas (Moreno Martínez, 2020b, 2021c). Su fundación en enero de 1928 y su publicación hasta al menos mayo de 1929 no puede entenderse separada del quehacer profesional de su editor, quien lo fue también de otra publicación clave en el contexto pedagógico de las escuelas normales de la época: la *Revista de Escuelas Normales*, un órgano de expresión que fue fundamental para la comunicación entre el profesorado normalista –formadores de docentes– durante las décadas de 1920 y 1930 (Díez Torre et al., 1988). Bargalló participó de su fundación en 1922 como *Boletín de Escuelas Normales* y fue director de la

rebautizada *Revista* desde 1923 hasta 1927 y entre 1931 y 1932. En retrospectiva, podemos entender *Faraday* como un proyecto nacido de la dilatada tradición como editor de Modesto Bargalló y como una publicación que rivalizó en públicos con la *Revista de Escuelas Normales*.

Rodolfo Llopis, quien tomó el relevo de Modesto Bargalló como director de la *Revista de Escuelas Normales* en 1928, se refería así a *Faraday* como una publicación que tenía por objetivo «coadyuvar a realizar el afán que nuestro profesorado siente por los problemas de la didáctica de los conocimientos fisicoquímicos tan íntimamente ligados con su génesis» (Llopis, 1928, p. 80). Las palabras de Llopis reflejan literalmente la apuesta del recién creado boletín por potenciar la relación entre historia y didáctica de las ciencias, con especial atención a la física y la química. El mismo objetivo aparece recogido en el editorial con que Bargalló iniciaba el número de enero de 1928 de *Faraday*. Además, el editor invitaba a los profesores «que sientan la bienhechora necesidad de exponer a la consideración de los demás los resultados y las dudas en la labor a que nos debemos» a compartir en las páginas de *Faraday* «sus trabajos de índole didáctica». Al profesorado normalista de ciencias, que comparte con el didacta actual la formación en ciencias de los futuros docentes, Bargalló añadía otros colectivos profesionales, como el profesorado de enseñanzas técnicas y de institutos de segunda enseñanza, vinculados a la formación de «alumnos de enseñanzas medias» (Bargalló, 1928a, p. 1). Profesores normalistas, maestros de escuela y profesores de enseñanza secundaria y enseñanzas técnicas se convertían así en los potenciales públicos lectores a los que *Faraday* destinaba sus páginas, tratando de implicar al profesorado de ciencias de las distintas enseñanzas en el debate metodológico sobre cómo enseñar ciencias. Páginas que estaban organizadas en cuatro secciones, cuyos títulos pueden observarse en la cubierta del boletín (figura 1): «Historia, Didáctica, Información y Profesorado». El propio nombre de la revista en honor al célebre científico británico Michael Faraday, y los elementos decorativos de la cubierta, incluyendo el famoso experimento del *mercurius praecipitatus per se* realizado en la década de 1770 por Antoine Laurent Lavoisier y sus colaboradores, ya anticipan la importancia que tendrá la historia de la ciencia en esta publicación científico-pedagógica.

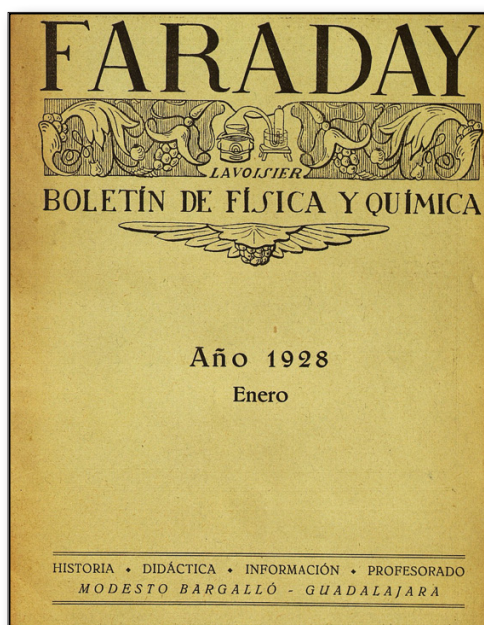


Fig. 1. Cubierta del primer número de *Faraday* publicado en enero de 1928.

Los contenidos de la sección Didáctica se recogen en la tabla 2, los cuales fueron elaborados tanto por Bargalló como por otros docentes como Ernesto Caballero, profesor del Instituto de Segunda Enseñanza de Pontevedra; Francisco Manuel Nogueras, profesor de la Escuela Normal de Maestros de Tarragona, y Tomás de la Rica, vinculado a las enseñanzas técnicas como químico de La Hispano en Guadalajara. Este aspecto ilustra la diversidad de colectivos docentes invitados a tomar parte de los debates y reflexiones sobre didáctica de las ciencias promovidos por *Faraday*. Como puede observarse, se trata de artículos que versaban mayoritariamente sobre diversos aspectos de la enseñanza de la física y de la química, pero también sobre ciencias naturales y sobre problemáticas específicas del profesorado normalista de ciencias. La sección Didáctica solapaba así con las temáticas de algunos editoriales en los que se discutía sobre cuestiones curriculares que implicaban al profesorado de las escuelas normales, como los cambios en los planes de estudio, los concursos de traslado o los procesos de oposición al magisterio. Esto revela otro objetivo subyacente en *Faraday* aunque no explicitado en la declaración de intenciones inicial: la de servir como órgano de expresión y comunicación entre el profesorado normalista de ciencias, rivalizando claramente con la *Revista de Escuelas Normales*. Este aspecto se refuerza al examinar la sección Profesorado, donde se incluía información sobre el colectivo normalista en España, como nombramientos, jubilaciones y necrológicas.

Tabla 2.
Artículos publicados en la sección Didáctica del boletín *Faraday* (1928-1929)

Número	Título (autor)
1928	
Enero	Ante una posible reforma de Normales. Programas de Física y Química (Modesto Bargalló)
Febrero	Algunas minucias en la enseñanza de la física (Modesto Bargalló)
Marzo	Espectros magnéticos (Ernesto Caballero) y Un pequeño perfeccionamiento al aparato de Silbermann empleado en la reflexión de la luz (Francisco Manuel Nogueras)
Abril	Desconocido
Mayo	Enseñanzas de la práctica. Las cualidades de los aceros (Tomás de la Rica)
Septiembre	Nota sobre la enseñanza de la mineralogía (Francisco Manuel Nogueras)
Octubre	Aparato para demostrar las leyes del tornillo, torno y polea (Francisco Manuel Noguera)
Nov. - Dic.	Algunas minucias en la enseñanza de la física II (Modesto Bargalló)
1929	
Enero	Reformas en la nomenclatura química según la novena Conferencia Internacional de Química. Resumen de los extractos publicados en <i>Anales de la Sociedad Española de Física y Química</i> y de la Revista Catalana <i>Ciència</i> , tomados del <i>Bulletin de la Société Chimique de France</i> (Modesto Bargalló)
Febrero	Al margen de las oposiciones al magisterio. La enseñanza de las ciencias físicas (Modesto Bargalló)
Marzo	Ante la anunciada reforma del plan de las Normales. Las ciencias físico-químicas y naturales (Modesto Bargalló)
Abril	Ante la reforma de las Escuelas Normales. El material de enseñanza de las Escuelas Normales (Modesto Bargalló)
Mayo	Los exámenes libres de Física y Química (Modesto Bargalló)

Los contenidos de la sección Historia se recogen en la tabla 3. Estos también dan cuenta de otro objetivo clave de *Faraday*: traducir al castellano breves fragmentos de textos clásicos de la historia de la

ciencia para hacerlos accesibles al profesorado. Los artículos de la serie «Las doctrinas fundamentales de la química» y «Las experiencias clásicas de la física» estaban conformados por extractos de varias obras de Isaac Newton, John Dalton o Amadeo Avogadro, entre otros. La importancia de disponer de colecciones de textos clásicos de la historia de la ciencia fue otra empresa por la que Bargalló abogó a través de las páginas de *Faraday*. Una herramienta de especial interés para ello fue la sección Información, donde recopiló títulos de varias obras sobre historia de la ciencia publicadas en otros países, denunciando el desinterés de las instituciones españolas. Esta sección, como veremos, también albergaba información relevante sobre instituciones, revistas y congresos de historia de la ciencia de diversos países. Bargalló pretendía así hacer circular información sobre la emergente comunidad internacional de historiadores de la ciencia y señalar su escasa presencia en España, donde «solo *Faraday* con su extrema modestia, sin auxilio de nadie» se ocupaba «con asiduidad» de «textos y problemas» de la historia de la ciencia (Bargalló, 1928b, p. 1).

Tabla 3.
Artículos publicados en la sección Historia del boletín *Faraday* (1928-1929)

Número	Título
1928	
Enero	Las experiencias clásicas de la Física I. La Óptica de Isaac Newton (1704)
Febrero	Las doctrinas fundamentales de la Química. Teoría atómicomolecular I. La labor de John Dalton
Marzo	Las experiencias clásicas de la Física II. La Óptica de Isaac Newton (1704)
Abril	Desconocido, pero posiblemente se trató de: Las doctrinas fundamentales de la química. Teoría atómicomolecular II
Mayo	Las doctrinas fundamentales de la química. Teoría atómicomolecular III
Septiembre	Las doctrinas fundamentales de la química. Teoría atómicomolecular IV. Labor de Ampere y de Gaudin
Octubre	El diario de Faraday. La experiencia del Puente de Waterloo. Extracto de <i>The Observer</i> enviado por la profesora Doña Bárbara Aitken. «Valor del estudio de los clásicos de la ciencia» firmado por L. Poincaré (conferencia del Museo Pedagógico de París, 1904).
Noviembre-Diciembre	Las experiencias clásicas de la Física. La «óptica» de Isaac Newton (1704) III. Separación de los rayos heterogéneos de la luz compuesta
1929	
Enero	La pequeña máquina electromagnética de Pacinotti (1860). Extracto de <i>Nuevo Cimento</i> (1864)
Febrero	
Marzo	La organización de los historiadores de la ciencia. Extracto de <i>Coopération Intellectuelle</i> , por Aldo Mieli
Abril	Las experiencias clásicas de la Física IV. La Óptica de Newton (1704)
Mayo	Las experiencias clásicas de la Física. Acción de la corriente sobre la aguja imantada: Experiencia de Oersted y regla de Ampere (1820)

FARADAY: UNA VENTANA A LAS RELACIONES ENTRE HISTORIA Y DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

El análisis de *Faraday* desde el marco historiográfico y metodológico detallado al inicio del presente trabajo revela esta publicación como una ventana privilegiada para explorar las relaciones entre historia y didáctica de las ciencias en la España del primer tercio del siglo xx. En este periodo tuvo lugar la emergencia y paulatina consolidación disciplinar de la comunidad internacional de historiadores de la ciencia (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2008). Todo ello se plasmó en la creación de instituciones

dedicadas a la investigación histórica sobre ciencia, la producción de trabajos escritos y la celebración de congresos. Las páginas de *Faraday* se hicieron eco de todos estos aspectos. Así, parapetado en un plural mayestático, Bargalló escribía en el editorial del número de octubre de 1928 que:

Uno de los fines que nos propusimos al iniciar nuestra publicación [*Faraday*] fue estimular el interés del profesorado hacia la historia de las ciencias fisicoquímicas. Nuestro país no se ha interesado como debe por las investigaciones sobre la génesis de la ciencia; debido, tal vez en parte, a que no ha existido acicate de descubrir ningún oculto tesoro científico nacional, creencia que pudiera pecar de exagerado pesimismo. Urge, como han hecho otras naciones, crear un Instituto dedicado a la Historia de las Ciencias, cuyo estudio tanto habrían de contribuir a completar la propia Ciencia (Bargalló, 1928c, p. 1).

Faraday apostaba así por la visibilidad de los estudios sobre historia de la ciencia en la comunidad académica española. Se trata de un argumentario defendido por algunos intelectuales de la época, como Francisco Vera Fernández de Córdoba, uno de los impulsores de la Asociación Española de Historiadores de la Ciencia que se creará en 1934, o Eugenio D'Ors (Cobos Bueno, 2003). Este último había expresado unos años antes del nacimiento de *Faraday* que convenía «dar amplio estado universitario» a la historia de la ciencia, afirmando que:

Siempre he pensado que unos cuantos años de calor dado a los mismos [los estudios de la historia de la ciencia] de cuidado en su eficacia psicológica y social, tendría virtud de mudar para siempre la faz científica de España... No menos ha alcanzado, en su orden respectivo, los estudios de historia de la literatura o de historia del arte (D'Ors, 1925, p. 8).

Todos estos aspectos reflejan cierto interés por parte de algunos intelectuales de la época en la institucionalización de la historia de la ciencia. No obstante, *Faraday* también mostraba la existencia de algunas posturas entre el desdén y el desinterés. Así, Bargalló empleaba su editorial en el número de mayo de 1928 para tratar de excusar las palabras del entonces presidente de la Sociedad Española de Física y Química, Julio Palacios, en el acto de las bodas de plata de dicha institución. Tras destacar la labor de algunos científicos españoles como Andrés Manuel del Río o los hermanos Delhuyar, el eminente físico señaló en su discurso que «la gloria científica» había que buscarla «en los laboratorios y no en los archivos»; a lo que Bargalló respondía a través de *Faraday* y, de nuevo, refugiado en un plural mayestático, que «sentiríamos que, amparándose en la autoridad de su autor y no desgajándola del discurso, se diera a esta frase un valor que no tiene» (Bargalló, 1928d, p. 1). En esta línea, alabó que otros países hubiesen publicado «obras admirables, fundado revistas y hasta Escuelas e Institutos especiales de investigación en Historia de las Ciencias» (Bargalló, 1928d, p. 1).

Faraday, una publicación nacida por y para el profesorado de escuelas de primera enseñanza, escuelas normalistas, institutos y escuelas técnicas, se revela de este modo como una herramienta para la difusión de la institucionalización de la historia de la ciencia durante un periodo efervescente para esta disciplina histórica. El boletín difundió abundante información sobre colecciones de obras, publicaciones, congresos e instituciones de historia de la ciencia de diferentes países. Estas referencias serán frecuentes desde el primer número de *Faraday*, como ilustran las siguientes líneas:

Hace dos años el Instituto Nacional Italiano para la Historia de las Ciencias Físicas y Matemáticas publicaba bajo la dirección de Federico Enriques una colección de obras sobre Historia de las Ciencias Matemáticas y Físicas. Cumple Italia el desempeño que en Alemania, en proporciones mucho mayores, han tenido los *Ostwald's Klassiker*; en Francia, en escala más modesta a los *Clásicos de Ostwald*, las colecciones *Les maîtres de la pensée scientifique*, y *Science et Civilisation*, dirigida por Solovine, o *Les classiques de la Science*, de H. Abraham, Gauthier, Le Chatelier, Lemoine; o en los países de habla inglesa los *Mathematical Monographs* o los *Open Court Classics of Science and Philosophy*. ¿Cuándo tendremos en lengua española una colección semejante? (Bargalló, 1928d, p. 10).

Otro ejemplo de interés lo encontramos en el número de octubre de 1928, en el que se referenciaba la creación reciente de un instituto de historia de la medicina, de las matemáticas y de las ciencias fisiconaturales en Leiden, a lo que se añadía:

Poco a poco todas las naciones crean organismos para cultivar la Historia de las Ciencias: indicio de que es comprendido el gran valor que tiene el conocimiento de la evolución de las disciplinas científicas, para la enseñanza y para el progreso de la cultura, y muchas veces para el honor de las propias naciones (Bargalló, 1928e, p. 10).

Especial mención merece el artículo publicado en el número de marzo de 1929. En la sección Historia Bargalló incluía el extracto de una nota que había sido publicada por Aldo Mieli en *Coopération Intellectuelle* tan solo un mes antes, como se puede observar en la figura 2. *Faraday* cedía así sus páginas a uno de los principales actores históricos en el impulso disciplinar a la historia de la química del primer tercio del siglo xx (Bertomeu Sánchez y García Belmar, 2008). También aparecerán recomendados en *Faraday* los trabajos de George Sarton, pionero de la historia de la ciencia a nivel internacional, incluyendo artículos publicados en la prestigiosa revista *Isis*.

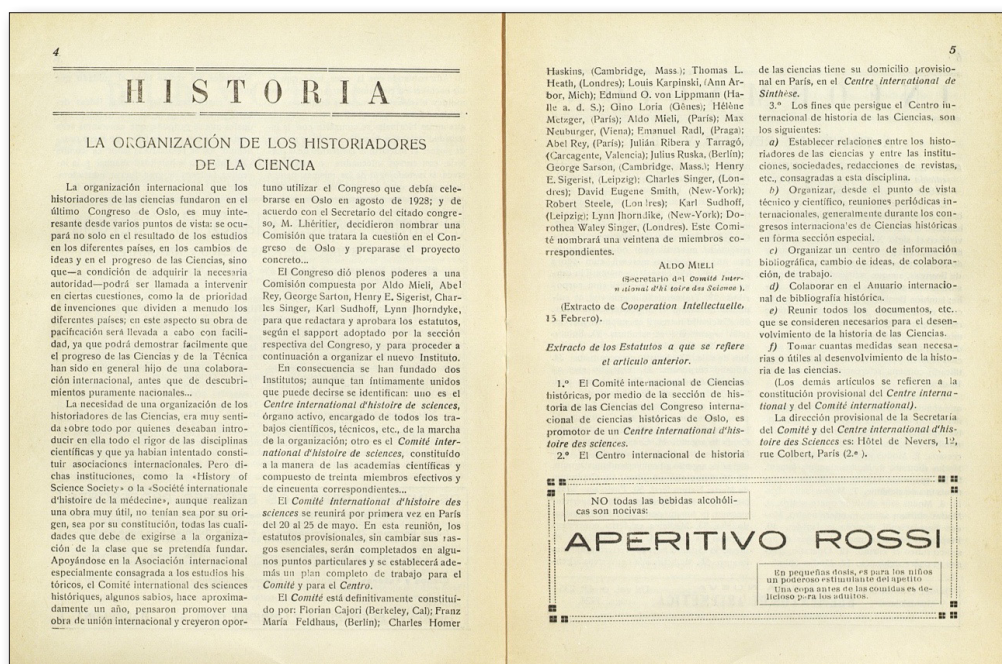


Fig. 2. Sección Historia del boletín *Faraday* correspondiente al número de marzo de 1929.

Si Bertomeu Sánchez y García Belmar (2008) han mostrado la profunda relación entre historia y didáctica de la química a través del *Journal of Chemical Education*, *Faraday* nos ofrece un ejemplo excepcional en este sentido para la historia y la didáctica de las ciencias en el contexto español, pues ilustra cómo la didáctica de las ciencias nutrió de espacios comunicativos y públicos a la historia de la ciencia, lo que propició la circulación de los emergentes productos de su forja disciplinar (instituciones, congresos, órganos de expresión, etc.).

No obstante, la relación entre historia y didáctica de las ciencias en modo alguno puede entenderse como unidireccional. Este aspecto puede colegirse de una de las líneas anteriores en las que Bargalló destacaba «el gran valor que tiene el conocimiento de la evolución de las disciplinas científicas para la enseñanza» (Bargalló, 1928e, p. 10). La historia de la ciencia dotó a la didáctica de las ciencias del

primer tercio del siglo xx de un fértil andamiaje epistemológico y metodológico. Modesto Bargalló fue una de las principales voces en la defensa de la historia en la didáctica de las ciencias en España y en la propia demarcación de la didáctica de las ciencias en el seno de la reflexión pedagógica. En esta línea, una década antes de la fundación de *Faraday*, este maestro de maestros catalán escribía en su lengua natal:

No caiguem en la ridícula de voler posseir una formació pedagògica sense tenir contingut per a formar. El coneixement fonamental de l'evolució d'una ciència porta en si mateix el mètode, el pla d'ensenyament, que no es pot confondre de cap manera amb l'art, la gràcia d'ensenyar, que tampoc s'aprèn per mitjà d'estudis pedagògics (Bargalló, 1918, p. 219).

Bargalló delimitaba así la didáctica de las ciencias como campo en el terreno pedagógico en el que el conocimiento de la historia de las ciencias resultaba fundamental. Por ello, se requería formar en historia de la ciencia a los futuros docentes. Así, en su conferencia en la *Escola d'Estiu* de Barcelona de 1930, cuyo contenido se publicó en forma de libro dos años después, Bargalló hacía una petición al profesorado asistente:

Yo os pido que cuando tengáis en la enseñanza de las ciencias alguna duda de orden metodológico, no busquéis solamente una solución en el buen libro de Didáctica: consultad también un buen manual de Historia de la Cultura o de la Ciencia respectiva y tal vez tengáis inspiraciones no sospechadas (Bargalló, 1932, p. 12).

El proyecto pedagógico de Bargalló como docente normalista ha sido objeto de análisis detallado recientemente (Moreno Martínez, 2020b, 2020c). Dicho proyecto cimentó las prácticas pedagógicas y la cultura material del aula de ciencias sobre las fases que, de acuerdo con una concepción comteniana de la historia de la ciencia, habrían atravesado las disciplinas científicas en el tiempo. Si de acuerdo con el pensamiento del filósofo francés Auguste Comte la historia de las ciencias habría transitado por una fase netamente observacional (cualitativa), una fase experimental (cuantitativa) y una fase en la que el conocimiento científico se estructuraba en leyes y teorías; la ciencia en las aulas debía partir de la observación, para después introducir la experimentación y solo en los niveles superiores, el estudio de leyes y teorías científicas. Este «alto valor» de la historia de la ciencia para inspirar la metodología didáctica se apoyaba en el estudio del «desenvolvimiento mental» del niño, promovido por diferentes filósofos y pedagogos en el marco de la entonces llamada paidología (Pozo Andrés, 2003). Esta profunda imbricación entre ontogenia (el desarrollo del discente) y filogenia (el desarrollo del conocimiento científico) será compartida por educadores de distintos países, auspiciados desde finales del siglo xix por la conocida como *cultural epoch theory* de Herbert Spencer (Rudolph, 2019), y fue reapropiada activamente por el célebre epistemólogo Jean Piaget en la década de 1980 (Piaget y García, 1982).

A fin de poder cimentar la didáctica de las ciencias sobre el conocimiento de su génesis y desarrollo histórico, se erigía fundamental dotar al profesorado encargado de formar a los futuros maestros –el profesorado normalista– de herramientas materiales e intelectuales sobre historia de la ciencia. Desde *Faraday* se asumió esta tarea. Los diferentes textos históricos incluidos por Bargalló en el boletín dan cuenta de ello. Así, por ejemplo, en la sección Didáctica del número de noviembre y diciembre de 1928 Bargalló recomendaba al profesorado de ciencias definir el movimiento uniforme en base al *Traité de Dynamique* de D'Alembert, donde se definía como «aquel que no fuese modificado por fuerza alguna» (Bargalló, 1928f, p. 3). Se trata de una recomendación que Bargalló defendía con frecuencia en muchas de sus obras para maestros y manuales de ciencias, argumentando que «nadie tan anheloso en describir experiencias y en exponer las leyes con claridad y sencillez que en general lo han hecho los fundadores de la ciencia» (Bargalló, 1929, nota inicial). La historia de la ciencia aportaría así a la didáctica de las ciencias una mayor claridad a la hora de presentar los conceptos estructurantes de las ciencias

escolares. Bargalló, en la línea defendida entonces por el filósofo de la ciencia Jules Henry Poincaré, destacaba el valor de los textos clásicos en la enseñanza de las ciencias frente a las presentaciones didácticas de muchos manuales que «se dicen elementales», pero en los que «los autores contadas veces llegan a las fuentes, y que copiándose a menudo unos de otros han reproducido con deformaciones cada vez más señaladas las ideas primitivas de los inventores» (Bargalló, 1932, p. 19). *Faraday* respondió a esta necesidad didáctica produciendo textos clásicos que proporcionaban al profesorado-lector una plétora de referencias históricas para enseñar conceptos fundamentales de las ciencias, como átomo y molécula a través de textos de Dalton y Avogadro o conceptos básicos de óptica mediante textos de Newton.

El análisis de *Faraday* ha permitido identificar otro uso didáctico históricamente desempeñado por la historia de la ciencia en la enseñanza. Se trata de su papel para motivar al alumnado y promover una serie de valores sobre la ciencia como empresa intelectual. Este aspecto queda patente en el propio nombre del boletín. Que *Faraday* tomara su nombre del célebre científico británico no fue en modo alguno una decisión arbitraria. El propio Bargalló explicaba la elección en el editorial del primer número:

Véase en el nombre FARADAY que hemos adoptado, un símbolo que nos guía. Sirvan de norma la vida y la obra del sabio inglés. Sencilla y templada, impregnada por la avidez de superarse con los escasos medios de que disponía, aprendiendo siempre, solitario, sin maestros, con el noble empeño de saciarse en todas las ramas del espíritu; y con el admirable tesón de que está poseído quien confía vencer en la lucha [...]. Hombrs de esta naturaleza son los que verdaderamente educan: aquellos cuyo espíritu une al genio una voluntad pura, tenaz y cordial (Bargalló, 1928a, p. 1).

En un contexto de escasa tradición de las ciencias en la escuela primaria y de deficitaria formación científica del profesorado, la didáctica de las ciencias encontró en la historia de la ciencia una valiosa aliada para educar y motivar. *Faraday* nos revela así una profunda imbricación entre historia y didáctica de las ciencias solamente comprensible desde una concepción de relación bidireccional y estrecha entre ambas, que supera las lindes disciplinares que hoy las separan.

CONCLUSIONES Y COMENTARIO FINAL

A tenor del análisis del boletín *Faraday* presentado en las líneas anteriores es posible colegir con claridad la importancia que la historia de la ciencia ha tenido para la didáctica de las ciencias. Facilitar la enseñanza de los conceptos estructurantes de la ciencia escolar, promover valores, motivar al alumnado y propiciar el diseño de prácticas pedagógicas eficaces son algunos de los usos didácticos que los docentes de ciencias y los docentes encargados de su formación (el profesorado normalista) encontraron en la historia de la ciencia. De este modo, el interés de la historia para enseñar ciencias en modo alguno puede entenderse como una consecuencia del constructivismo piagetiano heredado por la actual disciplina didáctica. La didáctica de las ciencias, ya fuese como actividad profesional o como disciplina académica, ha encontrado en la historia de la ciencia una fuerza motriz para su desarrollo. *Faraday* lo muestra poniendo de manifiesto una interconexión hasta ahora poco o nada transitada: la vinculación entre la forja disciplinar del colectivo de historiadores de la ciencia y la renovación pedagógica de la enseñanza de las ciencias del primer tercio del siglo xx. Ambos procesos históricos confluyeron en las páginas de *Faraday*, reforzando así el papel de la historia de la ciencia como herramienta intelectual de la didáctica de las ciencias. De este modo, su uso fue más allá del aporte de ciertas biografías para el aula o de definiciones más claras para entender conceptos de física y química. Además, la historia de la ciencia dotó a la didáctica de las ciencias de una plétora de concepciones epistemológicas y metodológicas sobre la que se estructuró el diseño de estrategias de enseñanza-aprendizaje. Se trata de un aspecto clave al no contar entonces la didáctica de las ciencias de un andamiaje epistemológico propio. Al mismo tiempo, las páginas de *Faraday* han ilustrado cómo la discusión en torno a cuestiones sobre

didáctica de las ciencias propició la circulación de obras, problemáticas e instituciones que entonces comenzaban a edificar a la disciplina histórica.

Si bien la consolidación disciplinar de la historia y la didáctica de las ciencias ha tenido múltiples beneficios para ambas, también ha introducido desconexiones entre las respectivas comunidades académicas, pese a que, tal y como ha mostrado el análisis de *Faraday*, ambas se desarrollaron con puntos de contacto y notables sinergias en el pasado. El examen de *Faraday* permite así ofrecer otro elemento de reflexión epistemológica sobre la didáctica de las ciencias experimentales: su vínculo con el docente de ciencias. El colectivo normalista, encargado de formar en ciencias a los futuros maestros y maestras y en cuyo seno nació *Faraday*, tuvo que gestar su identidad rivalizando con otros colectivos con los que al mismo tiempo debía colaborar. Así, en las páginas de *Faraday* coincidieron docentes de escuela primaria –educandos de los docentes normalistas– y docentes de enseñanza secundaria, con quienes el profesorado normalista rivalizó ante los cambios legislativos y normativos que llegaron a llevar parte de la formación de los futuros docentes a los institutos. Todos estos colectivos constituyeron el público lector que condicionó la elaboración de los contenidos de *Faraday*. Esta situación, si bien con importantes limitaciones (como la ausencia de estatus universitario para el magisterio), revela no obstante una mayor horizontalidad y pluralidad entre colectivos docentes implicados activamente en los debates sobre enseñanza y aprendizaje de las respectivas disciplinas escolares. Este aspecto, ya señalado para la didáctica de las ciencias sociales, ha sido perfectamente identificable en *Faraday* para el ámbito de la enseñanza de las ciencias físicas, químicas y naturales. Este «periodo adisciplinar» de la didáctica de las ciencias experimentales se revela como una oportunidad para pensar también las limitaciones de los procesos de conformación disciplinar y la necesidad de propiciar una mayor reflexión epistemológica sobre la disciplina basada en las nuevas perspectivas historiográficas y resultados de investigación histórica sobre ciencia en las aulas. Estas nuevas miradas permitirán recuperar personajes e iniciativas –como Bargalló y *Faraday*– que contribuyan a humanizar y contextualizar la enseñanza de las ciencias como actividad profesional y a fomentar una mayor colectividad entre los distintos profesionales vinculados a la educación científica, contribuyendo así a acortar la distancia entre investigación en didáctica de las ciencias experimentales y práctica docente.

AGRADECIMIENTOS

La investigación en que se inscribe el presente artículo se realizó en el marco de una Beca de la Fundación Juanelo Turriano a Tesis Doctorales en Historia de la Ciencia y fue ampliada gracias a una Beca de Excelencia Postdoctoral del Gobierno de México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adúriz Bravo, A. (2000). La didáctica de las ciencias como disciplina. *Enseñanza*, 17-18, 61-74.
- Adúriz Bravo, A. e Izquierdo Aymerich, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 130-140.
- Bargalló, M. (1918). Preliminars a l'ensenyament de la química. *Quaderns d'estudi*, 2, 216-221.
- Bargalló, M. (1928a). Propósitos. *Faraday*, I(1), 1.
- Bargalló, M. (1928b). Los clásicos de la ciencia. *Faraday*, I(8), 1.
- Bargalló, M. (1928c). La evolución de las ciencias. *Faraday*, I(7), 1.
- Bargalló, M. (1928d). Información. *Faraday*, I(1), 10.
- Bargalló, M. (1928e) Información. *Faraday*, II(7), 10.
- Bargalló, M. (1928f). Algunas minucias en la enseñanza de la física II. *Faraday*, I(8), 2-3.

- Bargalló, M. (1929). *Manual de Física* (2.^a ed.). Reus: Ediciones Sardá.
- Bargalló, M. (1932). *La enseñanza experimental en la escuela. Su relación con el desarrollo histórico de la física y de la química*. Reus: Ediciones Sardá.
- Bernal Martínez, J. M. (2001). *Renovación pedagógica y enseñanza de las ciencias. Medio siglo de propuestas pedagógicas y experiencias escolares (1882-1936)*. Madrid: Biblioteca Nueva.
- Bertomeu Sánchez, J. R. (2016). Beyond borders in the History of Science Education. En T. Arabatzis, J. Renn y A. Simoes (Eds.), *Relocating the History of Science. Essays in Honor of Kostas Gavroglu* (pp. 159-173). Dordrecht: Springer.
- Bertomeu Sánchez, J. R. y García Belmar, A. (2008). La historia de la química: Pequeña guía para navegantes. Parte I: Viejas y nuevas tendencias. *Anales de Química*, 104(1), 56-63.
- Burke, P. (2017). *¿Qué es la historia del conocimiento? Cómo la información dispersa se ha convertido en saber consolidado a lo largo de la historia*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- Checa Godoy, A. (2002). *Historia de la prensa pedagógica en España*. Sevilla: Publicaciones de la Universidad de Sevilla.
- Cobos Bueno, J. M. (2003). La Asociación Española de Historiadores de la Ciencia: Francisco Vera Fernández de Córdoba. *Llull*, 26, 57-81.
- Díez Torre, A. R., Pozo Andrés, M. M. del y Segura Redondo, M. (1988). La Revista de Escuelas Normales: Una publicación de regeneración normalista nacida en Guadalajara (1923-1936). *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 1, 9-29.
- D'Ors, E. (3 de diciembre de 1925). *ABC*, p. 8.
- Gavroglu, K. y Simoes, A. (2016). Philosophical issues in (sub)disciplinary contexts. The case of Quantum Chemistry. En E. Scerri y G. Fisher (Eds.), *Essays in the Philosophy of Chemistry* (pp. 60-79). Nueva York: Oxford University Press.
- Hannaway, O. (1975). *The Chemists and the World: The Didactic Origins of Chemistry*. Estados Unidos: John Hopkins University Press.
- Izquierdo Aymerich, M. (2011). Historia de la química y enseñanza de la química. En A. Caamaño (coord.), *Física y Química. Complementos de Formación Disciplinar* (pp. 53-73). Barcelona: Graó.
- Kaiser, D. (2005). *Pedagogy and the practice of science. Historical and Contemporary Perspectives*. Londres: MIT Press.
- Kragh, H. (2007). *Una introducción a la historia de la ciencia*. Barcelona: Crítica.
- Llopis, R. (1928). Prensa y noticias. *Revista de Escuelas Normales*, 51, 80.
- Mainer Baqué, J. (2009). *La forja de un campo profesional. Pedagogía y didáctica de las ciencias sociales en España (1900-1970)*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Montes Moreno, S. (2003). *La Escuela Moderna. Revista pedagógica hispanoamericana (1891-1934)*. Barcelona: Pomares.
- Moreno Martínez, L. (2020a). Ciencia en las aulas: actores, espacios, prácticas pedagógicas y cultura material de la enseñanza de las ciencias en España durante el primer tercio del siglo xx. *Dynamis*, 40(1), 225-235.
- Moreno Martínez, L. (2020b). *Ciencia en las aulas: Prácticas pedagógicas, cultura material e historia de la ciencia en la obra de Modesto Bargalló en España (1894-1939)*. Valencia: Universitat de València.
- Moreno Martínez, L. (2020c). Modesto Bargalló en España (1894-1939). Una biografía entre la historia de la educación y la historia de la ciencia. *Historia y Memoria de la Educación*, 13, pp. 635-674.
- Navarro Brotons, V. (1983). La historia de las ciencias y la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 1(1), 50-53.
- Nieto-Galan, A. (2011). *Los públicos de la ciencia. Expertos y profanos a través de la historia*. Barcelona: Marcial Pons.

- Nieto-Galan, A. (2014). Las «historias de la ciencia» y sus adaptaciones a la enseñanza: un debate abierto. En M. Quintanilla Gatica, S. Daza Rosales y H. G. Cabrera Castillo (Eds.), *Historia y filosofía de la ciencia. Aportes para una «Nueva aula de ciencias», promotora de ciudadanía y valores* (pp. 66-75). Santiago de Chile: Bellaterra.
- Nye, M. J. (1993). *From Chemical Philosophy to Theoretical Chemistry. Dynamics of matter and dynamics of disciplines, 1800-1950*. California: University of California Press.
- Olesko, K. (2006). Science Pedagogy as a Category of Historical Analysis: Past, Present, and Future. *Science & Education*, 15, 863-880.
- Olesko, K. (2014). Science Education in Historical Study of Sciences. En M. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1965-1990). Amsterdam: Springer.
- Piaget, J. y García, R. (1982). *Psicogénesis e historia de la ciencia*. México: Siglo XXI Editores.
- Porlán Ariza, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 16(1), 175-185.
- Pozo Andrés, M. M. del (2003). La renovación pedagógica de los métodos de enseñanza: El movimiento de la escuela nueva. En G. Ossensbach Sauter (Coord.), *Psicología y pedagogía en la primera mitad del siglo XX* (pp. 43-72). Madrid: UNED.
- Quintanilla Gatica, M., Daza Rosales, S. y Cabrera Castillo, H. (Eds.) (2014). *Historia y filosofía de la ciencia. Aportes para una «nueva aula de ciencias», promotora de ciudadanía y valores*. Santiago de Chile: Bellaterra.
- Rudolph, J. L. (2019). *How we teach Science? What's changed and why it matters*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Simon, J. y Herrán, N. (Eds.) (2008). *Beyond Borders. Fresh Perspectives in History of Science*. Newcastle: Cambridge Scholars Publishing.
- Viñao, A. (2004). *Escuela para todos. Educación y modernidad en la España del siglo XX*. Madrid: Marcial Pons.

The bulletin *Faraday* (1928-29) and the relations between history and didactics of science

Luis Moreno Martínez

Instituto Interuniversitario López Piñero, Universitat de València (España)

luis.moreno-martinez@uv.es

This paper analyses one of the first Spanish journals on the history and didactics of science: *Faraday*. This journal was founded in 1928 by Modesto Bargalló (1894-1939), who was one of the most outstanding science educators of the first third of the 20th century in Spain. This journal was an important part of his work in Spain, where he developed a successful career as a science teacher educator, editor and author of several science textbooks for primary school teachers, high school teachers and normal school educators.

The unprecedented analysis of *Faraday* has been designed attending to the fresh perspectives in history of science education. Starting from the contents of this journal, I have studied the relations between the history and didactics of science in the first decades of the 20th century in Spain. This analysis has pointed out that history of science had a key role in the pedagogical renewal of science education during this period. *Faraday* reveals that history of science provided science teachers with a wide range of epistemological approaches and didactic tools in order to promote new methodologies in science teaching. The use of historical sources and the relations between student development and the history of scientific knowledge were some examples of the role of history of science in teaching.

Likewise, the analysis of *Faraday* has highlighted that science teaching served as a circulation framework to the international community of historians of science. Thus, many references to journals (like *Isis*), books, research institutions, conference and authors (like Aldo Mieli and George Sarton) were found in *Faraday*. I argue that this double relation between history and didactics of science was a key factor in the emergence of history of science as an academic field in Spain. The paper also concludes that history of science had a major role in the methodological reflection on science teaching, even though the disciplinary origin of the didactics of science in Spain has been situated in the last decades of the 20th century.

Finally, it should be noted that, although during the first third of 20th century history and didactics of science were not consolidated academic disciplines, the relations between both fields of knowledge were strong and crucial. Despite of the advantages of the current academic structure for both disciplines, *Faraday* shows the wide range of possibilities that collaboration between didactics and history of science can offer us in order to improve our current science education and foster a fruitful dialogue between science teachers and researchers in history of science and science education.



¿Cómo hacemos crecer una planta? Una indagación con niños de 3 años de educación infantil

How do we grow a plant? An inquiry with 3-year-olds

Ana M.^a Rodríguez Melero
CEIP Colmenarejo. Campanillas, Málaga, España.
anarodmel@gmail.com

M.^a José Cáceres Ruiz, Antonio Joaquín Franco-Mariscal
Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Málaga. Málaga, España.
mariajosecaceres.1996@uma.es, anjoa@uma.es

RESUMEN • La práctica científica de indagación se considera idónea para aprender ciencias en educación infantil. Este trabajo presenta una indagación sobre germinación y crecimiento de plantas implementada con niños de 3 años durante 12 días, en la que se fomenta la toma de decisiones, desde la elección de semilla hasta la forma de riego o el lugar más adecuado para el crecimiento. Se exploran los avances logrados y se halla que el 62,5 % de los niños reconocen la semilla y el agua como factores necesarios para el crecimiento, y el 37,5 % incluye además la luz solar. A pesar de que algunos niños reconocieron que es necesaria para la germinación materia viva, y no inerte, otros no avanzaron en este sentido. Estos logros son relevantes porque algunas de estas dificultades se mantienen a los 6-7 años, y en este caso algunos niños de 3 años fueron capaces de expresarlo de forma sistemática en sus conclusiones.

PALABRAS CLAVE: Indagación; Plantas; Educación infantil; Toma de decisiones.

ABSTRACT • Scientific inquiry is ideal for learning science in early childhood education. This paper presents an inquiry on germination and growth of plants implemented with children of 3 years old during 12 days, in which decision making is encouraged, from the choice of seed to the way of watering or the most suitable place for the growth. The progress made is explored finding that 62.5 % of the children recognize seed and water as necessary factors for growth and 37.5 % also include sunlight. Despite the fact that some children recognized that it is necessary living matter, and not inert, for the germination, others did not advance in this sense. These achievements are relevant because some of these difficulties remain at the age of 6-7 years, and in this case, some 3-year-old children were able to express it systematically in their conclusions.

KEYWORDS: Inquiry; Plants; Early childhood education; Decision making.

Recepción: mayo 2020 • Aceptación: octubre 2020

Rodríguez Melero, A. M., Cáceres Ruiz, M. J. y Franco-Mariscal, A. J. (2021). ¿Cómo hacemos crecer una planta? Una indagación con niños de 3 años de educación infantil. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 231-253.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3345>

INTRODUCCIÓN

La literatura muestra un escaso número de investigaciones en didáctica de las ciencias experimentales en la etapa de educación infantil (en adelante, EI) (Monteira y Jiménez, 2019), a pesar de que estos estudios indican beneficios importantes para el aprendizaje de las ciencias (OCDE, 2012). Este aprendizaje se favorece porque los niños¹ muestran desde pequeños una curiosidad importante por comprender la naturaleza y el mundo que los rodea, y en este afán por descubrir son capaces de experimentar, adquirir información, reflexionar, construir ideas y probarlas (Cañal, 2006; Peterson y French, 2008), desarrollando diferentes capacidades para indagar.

Investigaciones recientes con niños de EI (Cruz, García-Carmona y Criado, 2017; Hinojosa y Sanmartí, 2016) ponen de relieve que pueden adquirir un pensamiento lógico básico que les permite iniciarse en los procesos elementales de la ciencia, quedando cada vez más lejana la idea piagetiana de que los preescolares no son capaces de realizar razonamientos abstractos.

Desde la perspectiva de los maestros de EI, existen diferencias en su visión para abordar la enseñanza de las ciencias en el aula. Así, los maestros en formación inicial lo consideran una tarea compleja (Cantó, Pro y Solbes, 2016), mientras que los maestros en ejercicio indican que ciertas habilidades, como la observación, el planteamiento de preguntas o el pensamiento crítico, son viables en esta etapa y ayudan a los niños a construir sus conocimientos científicos y su razonamiento, así como a crear actitudes positivas hacia las ciencias (Mazas, Gil, Martínez, Hervas y Muñoz, 2018).

En todo caso, la enseñanza de las ciencias en EI debe considerarse una oportunidad para iniciar su aprendizaje, por lo que es importante dotar a los maestros de herramientas para descubrir, interpretar e interactuar con el medio natural, valorarlo y cuidarlo (García-Carmona, Criado y Cañal, 2014). Una herramienta es la práctica científica de indagación, fundamental para el logro de la alfabetización científica, extendida considerablemente en las aulas a partir de las recomendaciones de la NRC (2000) y del informe *Science Education Now* (Rocard, 2007), y que se beneficia por el interés de los niños a edades tempranas por manipular, explorar y preguntar sobre fenómenos del mundo que los rodea (Worth y Grollman, 2003).

Como indican Cruz et al. (2017), el reto del profesorado es fomentar experiencias de indagación en EI para que los escolares tomen conciencia de que la ciencia es útil para conocer y comprender el mundo natural. Desde nuestro punto de vista, es necesario mostrar a los maestros experiencias de indagación en edades tempranas y los resultados que producen para introducirlos en esta práctica. Por ello, este trabajo muestra los resultados de una indagación sobre el crecimiento de las plantas con niños de 3 años, muy alejada de la actividad de sembrar una semilla siguiendo las instrucciones del maestro.

MARCO TEÓRICO

La indagación en educación infantil

La indagación es un proceso complejo de construcción de significados y modelos conceptuales coherentes, en el que los estudiantes formulan cuestiones, investigan para encontrar respuestas, comprenden y construyen nuevo conocimiento y comunican su aprendizaje a otros, aplicando el conocimiento de forma productiva a situaciones no familiares (European Commission, 2015, p. 68).

Según la American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1998), la etapa de EI es la más adecuada para iniciar en el aprendizaje de las ciencias mediante indagación, al poderse trabajar la ciencia con grupos de niños que colaboren y respondan preguntas sobre el medio natural a la vez que

1. Este artículo utiliza lenguaje no sexista. Las referencias en género masculino se hacen por economía del lenguaje.

comparten experiencias. Tratar contenidos de ciencias mediante la indagación implica relacionarlos con hechos perceptibles por el niño en su vida diaria, en temas como los animales (Romero, 2000), las plantas (Gómez y Ruiz, 2016), el agua y el aire (Burtscher, 2011), los cambios de estado (Cruz et al., 2017; Monteiro y Jiménez, 2019) o la flotabilidad de objetos (Hsin y Wu, 2011), habituales de la etapa.

Las experiencias de indagación en EI son cada vez más habituales, y se centran solo en ciertas etapas o ciclos completos. Las experiencias realizadas por Siry y Max (2013) con niños entre 4 y 6 años revelaron cómo las investigaciones de los niños pueden ser mediadas por sus propias especulaciones y explicaciones para construir de forma colaborativa el conocimiento. Asimismo, una observación bien guiada por los maestros y discutida explícitamente presenta ventajas en el aprendizaje en la primera infancia (Monteiro y Jiménez, 2016; Romero, 2017).

Respecto al manejo de variables, Strand y Klahr (2008) mostraron que los niños a edades tempranas son capaces de manipular una variable si el resto se mantiene constante. Asimismo, niños de 4 años pueden interpretar datos de covariación que sustentan una hipótesis, capacidad que aumenta de manera significativa a los 5 años, mientras que a los 6 años se observa una mejora en la comprensión de la experimentación (Piekny, Grube y Maehler, 2014).

Otro aspecto clave es la selección del enfoque de indagación para el aula, siendo muy utilizado el denominado «5E learning cycle» (Bybee et al., 2006), que organiza la enseñanza en cinco etapas: motivación-involucramiento, exploración-investigación, explicación, extensión-elaboración y evaluación. A pesar de la diversidad de enfoques (Rönnebeck, Bernholt y Ropohl, 2016), todos ellos presentan elementos comunes, recogidos en el enfoque de Franco-Mariscal (2015) como planteamiento de la indagación, manejo de la información, diseño, recogida y procesamiento de datos, análisis de datos y emisión de conclusiones, comunicación de resultados, y actitud crítica y trabajo en equipo. Desde nuestra perspectiva, un enfoque simplificado que incluya estas dimensiones puede ser un modelo adecuado para EI.

Las plantas en educación infantil

Las plantas son un tópico recurrente en EI, abordado principalmente a partir de instrucciones para conseguir germinar una planta desde una semilla (Fernández y Rodríguez, 2006), su cuidado en el aula (Del Valle, 2011) o en el huerto escolar (Aragón y Cruz, 2016).

Las ideas previas son bien conocidas y han sido exploradas mayoritariamente en niños de primaria. Diferentes estudios muestran que el entendimiento del concepto de planta es limitado (Boulter, Tunnicliffe y Reiss, 2003; Tunnicliffe, 2001). Una primera dificultad es no considerar a los vegetales como seres vivos (Bebbington, 2005), debido a que los niños tienen problemas para diferenciarlos de los inertes y suelen identificar solo al ser humano y los animales como seres vivos, atribuyéndoles el movimiento y la alimentación como principales características (Garrido, 2007). Otra dificultad se encuentra al nombrar las semillas, siendo habitual que a los 4 años conozcan el nombre de algunas y confundan otras (Fernández, Medrano y Bello, 2006).

Respecto al conocimiento de la anatomía de las plantas, entrevistas a niños malteses de 4-5 años revelaron que *planta* significaba algo pequeño, con tallo delgado, hojas y una flor (Gatt, Tunnicliffe, Borg y Lautier, 2007). Bartoszeck, Cosmo, Silva y Tunnicliffe (2015) analizaron las representaciones de niños brasileños cuando se les pedía dibujar qué pensaban que era una planta, y observaron que a los 3 años no comprendían la tarea, pero con 4 y 5 años eran capaces de representar una planta con flores (angiosperma con hojas, tallo o una gimnosperma con hojas, tronco y piñas). El estudio, realizado hasta los 10 años, mostró que muy pocos niños eran capaces de representar angiospermas de flores/arbustos con hojas, tallos y raíces, o árbol de angiospermas con hojas, flores y/o fruto, tallo y raíces. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Vicente (1994) para niños españoles de 6-7 años, que reconocen todas las partes de una planta excepto las raíces; indican que es necesario echar semillas en

agua para que una planta crezca, y además necesitan agua, tierra y luz para vivir, aunque este último factor es poco citado. Asimismo, identifican las plantas con las flores (Vicente, 1994). Por otro lado, los niños de primaria afirman que las plantas se alimentan del suelo por las raíces, entendiendo que el agua es un alimento para ellas (Fernández y Rodríguez, 2006).

No obstante, son escasas las investigaciones centradas en la aplicación en el aula de propuestas relacionadas con el medio natural: plantaciones, clasificaciones de plantas, cuidado de estas, creaciones de huertos, etc., u otras enfocadas desde la indagación. A pesar de ello, la literatura recoge unas pocas indagaciones algo menos guiadas (Acosta et al., 2011; De la Blanca, Hidalgo y Burgos, 2013). Es el caso del estudio de Acosta et al. (2011), que plantea varias investigaciones sobre plantas con niños de 4-5 años: cómo nacen, qué necesitan las semillas para germinar, cuáles son sus partes, el crecimiento hacia la luz, su clasificación, hojas y troncos de diversos árboles, etc. Los resultados de este estudio muestran una disparidad de opiniones a los 4-5 años en torno a que una semilla germine sin luz, sin tierra o sin agua, aunque la mayoría pensaba que no era posible. Para comprobar sus hipótesis siembran distintas semillas en tierra y sin tierra (en algodón), con agua y sin agua, y con luz y sin luz (dentro de una caja), manteniendo el resto de los factores fijos, y haciendo la observación tras una semana. El trabajo de De la Blanca et al. (2013) indica que niños de 4 años, a través de la manipulación de la semilla de aceituna, pueden establecer relaciones causa-efecto y verbalizar las consecuencias de las acciones sobre semillas y frutos, además de contribuir a valorar y respetar el entorno.

Germinación y crecimiento de una planta

Este apartado describe brevemente la germinación y el crecimiento de una planta, dos procesos fisiológicamente muy distintos, que puede ayudar a maestros de EI a abordar este tema en el aula.

La germinación depende de las reservas acumuladas en el endospermo de la semilla, y, por tanto, requiere de unas condiciones de humedad, pero no de luz solar, debido a que el crecimiento de los tejidos sucede a expensas de los tejidos de almacén y no requiere fotosíntesis. Sin embargo, el crecimiento de tallo y hojas, y que adquieran su color verde, depende de la cantidad de luz. En ausencia de luz, la planta puede llegar a crecer unos días, pero etiolada, es decir, con tallos blanquecinos largos y muy finos.

La intensidad del riego es una variable relativa relacionada con la evapotranspiración del día anterior. Por ello, no es necesario regar con mucha o poca cantidad de agua, sino con la necesaria para que el algodón esté húmedo. Para evitar anegar las raíces y permitir su oxigenación es conveniente hacer un agujerito en el fondo del recipiente.

OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son:

1. Mostrar cómo llevar a cabo una secuencia de indagación relacionada con la germinación y crecimiento de plantas con niños de EI de 3 años.
2. Documentar el avance producido en la comprensión conceptual del crecimiento de una planta tras la indagación.
3. Fomentar la observación, realización de predicciones, experimentación, recogida de datos, toma de decisiones y emisión de conclusiones en niños de 3 años.

METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Este estudio se enmarca en una perspectiva cualitativa y el diseño es un estudio de caso.

Participantes y contexto

Los participantes son 8 estudiantes de EI de 3 años (5 niñas y 3 niños) del CEIP Colmenarejo de Campanillas (Málaga), su maestra y una alumna en prácticas del 4.º curso del grado en EI de la Universidad de Málaga. El carácter limitado de la muestra permite realizar un mejor seguimiento de la indagación.

Las maestras tomaron como punto de partida las preguntas de los niños para desarrollar una indagación sobre plantas. Los niños habían sido criados en entornos diferentes y tenían distinto nivel de estimulación. Tenían distinta fluidez en el habla e intención comunicativa, poseyendo algunos todavía un lenguaje inmaduro con escasa comunicación (lengua de bebé), razón por lo que su participación en la asamblea fue desigual: 4 niños tuvieron participación alta (70 % de los días) y otros 4 niños, media (50-60 %). La adquisición del lenguaje es un proceso de gran importancia en el desarrollo de los infantes, ya que de él depende el correcto funcionamiento de las áreas cognitiva, social, emocional y de los procesos de autorregulación de la conducta (Campo, 2009). Influye en el desarrollo de la inteligencia y el razonamiento, este último aspecto clave de la indagación.

El centro donde se desarrolló la investigación pertenece a una población rural muy pequeña de 700 personas de clase media-baja, bastante aislada y con carencias en servicios.

Descripción de la experiencia

La experiencia se realizó durante enero y febrero de 2020 en 12 días consecutivos, que incluían un fin de semana (días 6 y 7), y para la que se pidió colaboración de las familias. Se desarrolló en las fases de la figura 1, que corresponden a un modelo simplificado para EI del enfoque de indagación de Franco-Mariscal (2015). Dos aspectos que cabe destacar de este ciclo de indagación son su carácter recursivo y la evolución en las ideas de la ciencia, desde las pequeñas a las grandes ideas (Harlen, 2010).

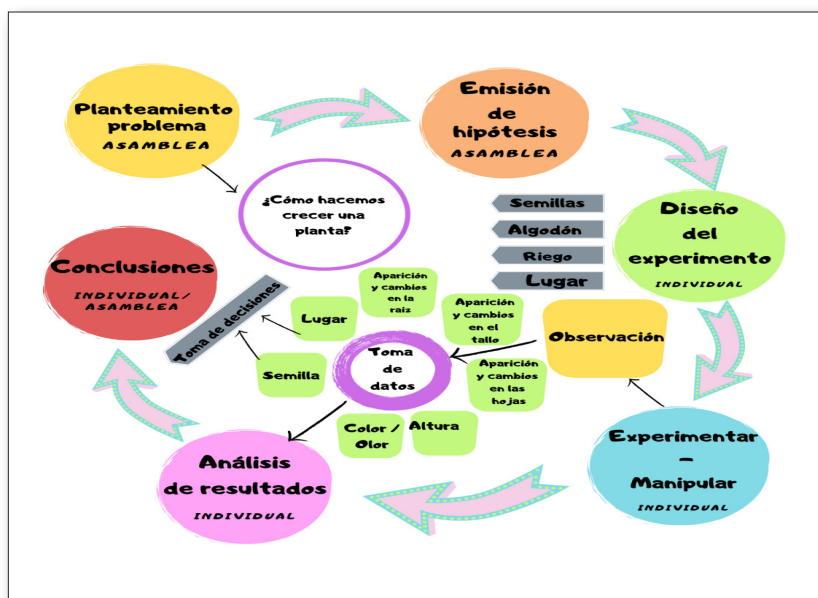


Fig. 1. Fases de la indagación.

En algunas actividades los niños debían tomar decisiones. Las posibles opciones se ofrecieron bastante pautadas debido a que la autonomía del niño es reducida a estas edades. En estas decisiones trabajaron de forma individual para permitir una mejor monitorización de la evolución de cada niño y evitar el

aprendizaje social por medio de la observación y de la imitación de comportamientos. Para fomentar oportunidades de aprendizaje entre pares tras cada acción se hizo una puesta en común en asamblea.

Fase 1. Planteamiento del problema y emisión de hipótesis

En la asamblea, la maestra planteó cómo podía hacer más bonita su terraza, y concluyó que era buena idea poner plantas. Para que los niños pudieran emitir sus hipótesis preguntó: «¿Cómo hacemos crecer una planta?».

Fase 2. Diseño del experimento

Una vez emitidas las hipótesis, la maestra dio a cada niño un vaso de plástico y ofreció alternativas para que pudieran diseñar su experimento. En la asamblea vieron las distintas posibilidades de semillas que se podían elegir, pudiéndolas tocar y preguntar lo que quisieran sobre ellas. Se dedicó un tiempo a trabajar algunas propiedades, como tamaño, color o forma. Luego, la maestra apartó del grupo a los niños de uno en uno para que eligieran entre legumbres (garbanzos o lentejas) o materia inerte (Lacasitos o tizas).

Una vez escogida la semilla, se ofreció la posibilidad de mojar el algodón con agua. Por último, se indicaron posibles zonas del aula con diferente iluminación, donde podían colocar su vaso para que su semilla germinara. En sucesivos días los niños seguirían tomando decisiones, de forma independiente, en las variables implicadas en una indagación con plantas (naturaleza de la semilla, forma de riego o ubicación).

Fase 3. Experimentar-manipular

Durante cada sesión se dedicaron 15 minutos al seguimiento individual de la planta. Cada niño debía observar su planta, explicar qué cambios observaba y tomar algunos datos (aparición y cambios en la raíz, tallo y hojas, altura del tallo, y color y olor de la planta). Los datos se recogieron en un panel visible en el aula y en el diario de observación de las maestras.

Fase 4. Análisis de resultados y toma de decisiones

Tras la observación y toma de datos, se preguntó a los niños qué querían hacer a su planta, dejando a su libre elección el riego o cambio de ubicación. De nuevo, cada niño realizó estas acciones de forma individual, sin conocer lo que hacía el resto. Las diferentes acciones y cambios se recogieron en el panel, que luego se comentaba en grupo. Durante el primer fin de semana, llevaron las plantas a sus casas para continuar allí la indagación, informando a las familias de que no podían influir en sus acciones.

Fase 5. Conclusiones

Al finalizar la experiencia se pidió a cada niño individualmente que explicara qué había obtenido y qué creía que se debía hacer para que una planta creciera. Posteriormente se hizo una puesta en común.

Como se aprecia, la experiencia se diseñó siguiendo una secuencia de formulación de preguntas por las maestras, la elaboración de predicciones y la toma de decisiones por parte de los niños y su comprobación cada día. La tabla 1 presenta las actividades desarrolladas en cada fase, las preguntas realizadas, los objetivos que se pretenden y las competencias relacionadas con la indagación.

Tabla 1.
Diseño de la indagación

<i>Fase</i>	<i>Actividades desarrolladas</i>	<i>Preguntas realizadas</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Competencias relacionadas con indagación</i>
1. Planteamiento del problema y emisión de hipótesis	– Asamblea	– ¿Qué puedo hacer para que mi terraza esté más bonita? – ¿Cómo hacemos crecer una planta?	– Proponer soluciones a un problema	– Entender un problema planteado – Emitir hipótesis
2. Diseño del experimento	– Presentar semillas – Elegir semillas – Sembrar semillas en un vaso con algodón húmedo – Ubicar el vaso en un lugar	– ¿Sabes qué es? – ¿Cómo se llama? – ¿Qué color/tamaño/ forma tiene? – ¿Sabes que estamos haciendo? – ¿Cuántas semillas quieres echar? – ¿Quieres mojar tu algodón? ¿Cómo? – ¿Es importante el sitio donde ponemos la semilla? ¿Dónde crecerá mejor? ¿Por qué?	– Conocer tipos de semillas – Describir tamaño, color y forma de semillas – Reconocer que una planta puede germinar a partir de una semilla y no puede hacerlo a partir de materia inerte – Contar semillas – Comparar el número de semillas añadidas en cada vaso – Reconocer que una planta necesita agua para germinar – Reconocer que una planta puede germinar en ausencia de luz	– Observar – Describir – Participar en el diseño de experimentos – Participar en la identificación de variables – Manipular
3. Experimentar-manipular	– Sembrar semillas – Regar una planta – Cambiar el vaso de lugar	– ¿Qué quieres hacer hoy con tu vasito? – ¿Es necesario regar la planta? ¿Quieres regarla hoy? – ¿Es necesario cambiar el vaso de sitio? – ¿Quieres ponerlo en otro sitio?	– Relacionar el número de semillas añadidas con mayores posibilidades de germinación – Reconocer que una planta necesita agua para crecer – Reconocer que una planta no necesita abundante agua para crecer, sino la cantidad adecuada – Reconocer que una planta necesita luz solar para crecer – Reconocer que un lugar con mayor luz solar favorece el crecimiento de una planta.	– Observar – Manipular – Realizar experimentos
4. Análisis de resultados y toma de decisiones	– Observar aparición y cambios en raíz, tallo y hojas – Medir la altura del tallo – Contar número de hojas – Observar el color de cada parte de la planta – Oler una planta	– ¿Qué crees que le ha salido a la planta? – ¿Cómo se llama? – ¿Por qué crees que ha salido? – ¿Para qué crees que sirve? – ¿Cuántos hay? ¿Cuánto mide? – ¿Qué color tiene? – ¿A qué huele?	– Observar la raíz como primer cambio en la planta – Identificar y nombrar adecuadamente raíz, tallo y hojas – Reconocer que las plantas crecen de día y de noche – Aprender que las plantas tienen olor	– Tomar datos – Describir – Medir – Analizar resultados – Comparar experimentos – Tomar decisiones
5. Conclusiones	– Asamblea	– ¿Qué has obtenido? – ¿Ha crecido tu planta? ¿Por qué?	– Conocer los factores que influyen en el crecimiento de una planta	– Extraer conclusiones

El aspecto novedoso de este trabajo se encuentra en la edad tan temprana de los participantes y, sobre todo, en la realización de un seguimiento diario del proceso que les hace partícipes y obliga a tomar decisiones, no dirigidas por la maestra, aunque sean erróneas. Pensamos que esta experiencia puede ser útil para otros maestros de EI interesados en iniciar a sus escolares en la indagación.

Instrumentos de recogida y análisis de datos

Los instrumentos utilizados para recoger la información fueron:

- a) Respuestas orales de los niños mediante grabaciones de audio-vídeo durante la indagación, de forma individual y en asamblea.
- b) Diario de observación de las maestras, que, actuando como investigadoras, recogieron los acontecimientos más destacados ocurridos en el aula.
- c) Registro diario del seguimiento del proceso en un panel en el aula que incluía pictogramas que representaban los factores del crecimiento. Los niños anotaron con pegatinas algunos datos, mientras que otras observaciones fueron apuntadas por la maestra tras entrevistarlos.

Este trabajo se centra en el análisis del discurso del alumnado y en las interacciones entre participantes (Gee, 2005), siendo la principal fuente de datos las grabaciones de las sesiones, que fueron transcritas identificando a los niños con seudónimos para guardar su anonimato. Se evitó que los niños se movieran por la clase para poder identificarlos en sus intervenciones. La ley de protección datos y derechos de imagen de los menores se garantizó a través de un consentimiento expreso solicitado a las familias. El análisis se realizó sin emplear *software*.

DESARROLLO DE LA INDAGACIÓN Y RESULTADOS

A continuación se describen los resultados de cada fase.

Fase 1. Planteamiento del problema y emisión de hipótesis

La primera sesión, de 1 hora, desarrolló las fases 1 y 2. La indagación comenzó un lunes con la maestra planteando este problema:

Maestra: «Estoy decorando mi casa y quiero poner más bonita mi terraza, pero no sé cómo, ¿qué puedo hacer?».

Niños: «Con plantas» [efusivamente y de forma mayoritaria].

Para explicitar sus hipótesis preguntó:

Maestra: «¿Cómo hacemos crecer una planta?»

Óscar: «Puedes comprar una maceta y tierra».

Patricia: «Hace falta una cosa mágica» [se refiere a semilla].

Bárbara: «Hay que regarla para que crezca una planta».

Maestra: «Muchas gracias. Se me ocurre que podéis ayudarme a obtener plantas para mi terraza».

Las hipótesis emitidas sobre qué se requiere para que una planta germine y crezca hacen referencia a la semilla, la tierra, el agua y el recipiente, ideas coincidentes con las de niños de primaria (Vicente, 1994).

Fase 2. Diseño del experimento

Para ayudar a identificar las variables que intervienen en la germinación, la maestra siguió explicitando sus ideas en la asamblea. Presentó posibles semillas (lentejas, garbanzos, tizas blancas y de colores y

Lacasitos), sin decir su nombre, para comprobar si elegían seres vivos o inertes, y preguntó sobre su tamaño, color y forma.

Maestra: «Os voy a presentar unas ‘cositas’ que podéis meter dentro del vasito. ¿Cuál queréis elegir?».

Óscar: «Lo que crece seguro son las lentejas... Mejor voy a coger estas bolitas blancas» [garbanzos].

A continuación, llamó a cada niño para que eligiera la semilla (figura 2), pudiendo coger las que deseara, trabajando así el conteo. Se observó que identificaban las lentejas, pero no los garbanzos (Fernández et al., 2006), a los que denominaban «bolitas blancas» (7/8 niños).



Fig. 2. Niños eligiendo semillas (izquierda) y mojando el algodón (derecha).

Tres niños eligieron garbanzos y otros tres, lentejas. Una niña cogió dos Lacasitos y otra, cuatro trozos de tiza blanca. En total, seis niños eligieron seres vivos y dos, materia inerte.

Luego, se trabajó la siembra con algodón:

Maestra: «¿Qué puede servir que tengamos en clase parecido a una maceta?».

Bárbara: «Podemos usar esos vasos de plástico que hay encima de tu mesa señor».

La maestra repartió a cada niño un vaso, que intencionadamente había puesto en su mesa y a los que había hecho un pequeño agujero en la base. Indicó que debían ponerles un trocito de algodón que podían mojar. Les acercó algodón y un barreño con agua para que procedieran como desearan: con unas gotitas, sumergiéndolo completamente, mojándolo y estrujándolo o seco (figura 2). Cada niño explicó lo que había hecho en asamblea. El 50 % mojó su algodón y lo metió en el vaso totalmente empapado, y el otro 50 % lo estrujó para que perdiera algo de agua y lo metió húmedo en su vaso. Ningún niño optó por ponerlo seco. Estos datos son indicativos de que todos los niños asumen que las plantas necesitan agua para germinar.

Una vez sembrada la semilla, se planteó esta cuestión:

Maestra: «¿Dónde ponemos nuestro vasito? Podríamos ponerlo en la cornisa de la ventana, en la estantería junto a la ventana, dentro del armario y cerramos las puertas, o dentro de esa caja de zapatos con una pequeña rendija».

Cuatro niños lo pusieron en la ventana, dos en la estantería, una dentro del armario y otra dentro de la caja con rendija (figura 3). De 8 niños, 6 pensaban que las plantas requerían luz solar para germinar. Esto, probablemente, se debe al aprendizaje social, ya que muchos han visto plantas colocadas en zonas bien iluminadas. No obstante, se trata de un objetivo complejo porque los niños de 3 años no diferencian entre germinación y crecimiento, pues entienden todo el proceso como crecimiento.



Fig. 3. Lugares elegidos por dos niñas para colocar el vaso con la semilla.

La tabla 2 recoge los resultados de la fase 2 en cuanto a las ideas previas manifestadas y los objetivos conseguidos y no conseguidos.

Tabla 2.
Resultados de la fase 2 sobre diseño del experimento

	<i>Ideas previas</i>	<i>Objetivos conseguidos</i>	<i>Objetivos no conseguidos</i>
Sobre la semilla	– Se denominan «bolitas blancas» a los garbanzos (7/8 niños) – Una planta puede germinar a partir de una tiza o un Lacasito (2/8 niños)	– Reconocer que una planta puede germinar a partir de una semilla (lenteja o garbanzo) (6/8 niños)	– Reconocer que una planta no puede germinar a partir de materia inerte (2/8 niños)
Sobre la influencia de la luz	– Una planta puede germinar en un armario o en el interior de una caja (2/8 niños)	– Reconocer que una planta puede germinar en ausencia de luz (2/8 niños)	– Reconocer que una planta puede germinar en ausencia de luz (6/8 niños)
Sobre el agua	– El algodón debe ponerse empapado (4/8 niños)	– Reconocer que una planta necesita agua para germinar (8/8 niños)	

Cabe destacar que ningún niño se dio cuenta del agujerito en el fondo del vaso, relacionado con la oxigenación de las raíces, un objetivo más avanzado que se podría plantear en primaria.

Fase 3. Experimentar-manipular

Las fases 3 y 4 se desarrollaron en los días sucesivos. El día 2 (martes) tuvo lugar este diálogo en la asamblea:

Maestra: «Todos los días vamos a dedicar el principio de la clase a hacer un seguimiento del crecimiento de vuestra planta. Os preguntaré uno a uno qué quieres hacer hoy con vuestro vasito».

Isabela: «Podemos ver si nuestra planta ha crecido».

Manuela: «No le hacemos nada, la dejamos ahí».

Óscar: «Podemos regalarla con mucha agua para que crezca supergrande» [la riega bajo el grifo].

Óscar: «Voy a ponerla en la ventana mejor para que le caiga agua de la lluvia y se ponga grande».

Alan: «Quiero cambiarla de sitio».

Como se observa, el día después de la siembra, y donde evidentemente no había sucedido nada, hubo distintas opiniones entre los niños respecto a qué debían hacer con su planta. Algunos mantenían esperar, mientras que otros le echaron más agua —que no era necesario— o la cambiaron de sitio sin motivo.

El día 3 (miércoles) observaron, con sorpresa, los primeros cambios. Como respuesta a qué hacemos hoy con el vasito, Alan quiso cambiarlo de sitio de nuevo, y al cogerlo se dio cuenta de que algo había sucedido.

Alan: «Seño, le ha salido...».

Maestra: «¿Qué ha salido?».

Alan: [se queda callado y pensativo sin saber decir el cambio (aparición de raíces)].

Bárbara [se acerca y dice espontáneamente]: «¡Le han salido semillas, no la cambies de sitio Alan!».

Patricia abre su caja y expresa con asombro:

Patricia: «Seño, ¡ha cambiado! No está igual que ayer, ¿qué es esto?».

Maestra: «¿Qué crees que puede ser?».

Patricia: «Quiero echarle bolitas blancas ahora [garbanzos] y también quiero regalarla con un chorrito en el grifo. Seño. ayúdame para que salga poquita agua».

Los diálogos mostrados ponen de manifiesto que los niños son capaces de apreciar los primeros cambios en su planta, pero no de nombrar y reconocer las partes de una planta, difíciles de identificar en los primeros momentos (figura 4), como recoge la literatura para escolares de mayor edad (Vicente, 1994).



Fig. 4. Observando la aparición de raíces (izquierda) y regando con abundante agua (día 3).

A partir de este día los cambios se fueron anotando en el panel de la clase, que se elaboró con pictogramas para las variables implicadas (figura 5). Los niños colocaban una pegatina circular roja si regaban la planta y en sucesivos días tomaban datos que apuntaba la maestra.

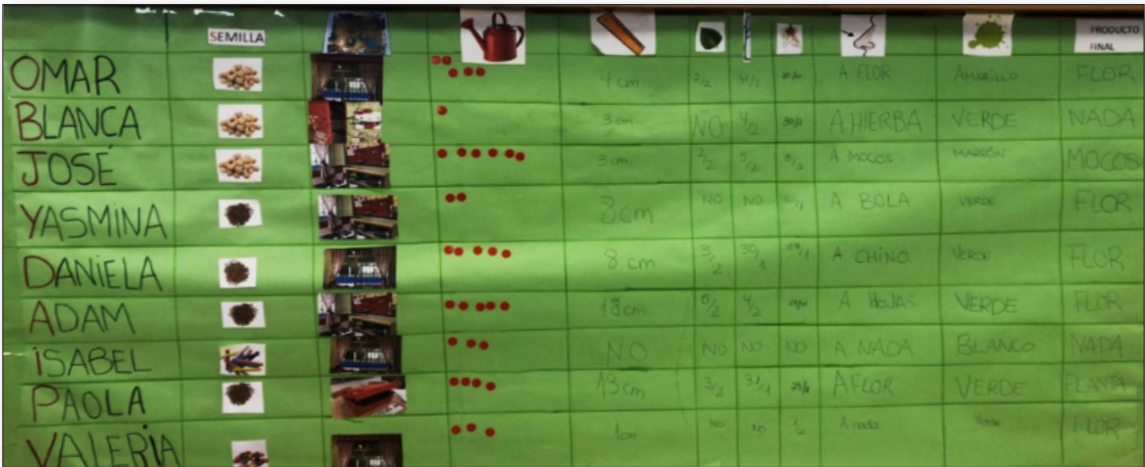


Fig. 5. Panel donde los niños registran la evolución de su planta.

La tabla 3 recoge los resultados de la fase 3 sobre experimentar y manipular.

Tabla 3.
Resultados de la fase 3 después de 3 días

	<i>Ideas previas</i>	<i>Objetivos conseguidos</i>	<i>Objetivos no conseguidos</i>
Sobre la semilla	– Una planta puede germinar a partir de una tiza o un Lacasito (2/8 niños)	– Relacionar el número de semillas añadidas con mayores posibilidades de germinación (1/8 niños)	– Reconocer que una planta no puede germinar a partir de materia inerte (2/8 niños)
Sobre la influencia de la luz	– Una planta puede crecer en un armario o en el interior de una caja (2/8 niños)	– Reconocer que una planta necesita luz solar para crecer (6/8 niños). – Reconocer que un lugar con mayor luz solar favorece el crecimiento de una planta (1/8 niños)	– Reconocer que un lugar con mayor luz solar favorece el crecimiento de una planta (2/8 niños mantienen la planta en zonas oscuras)
Sobre el agua	– Se requiere abundante agua para que crezca una planta (4/8 niños)	– Reconocer que una planta necesita agua para crecer (8/8 niños)	– Reconocer que una planta no necesita abundante agua para crecer, sino la cantidad adecuada (4/8 niños)
Sobre las partes de la planta	– Aparición de raíces entendida como aparición de semillas (1/8 niños)	– Observar la raíz como primer cambio en la planta (2/8 niños)	– Observar la raíz como primer cambio en la planta (1/8 niños)

Fase 4. Análisis de resultados y toma de decisiones

Aunque las fases 3 y 4 se solapan en el tiempo, a partir del día 4 (jueves) esta fase tomó más protagonismo. Este día afloró la idea previa de que el crecimiento de una planta se produce de forma rápida. Al comprobar que no era así, los niños realizaron acciones para acelerar el crecimiento. Una de ellas fue añadir más lentejas, pensando que de ese modo las estaban alimentando.

Maestra: «¿Qué quieres hacerle a tu planta?».

Patricia: «Quiero echarle más lentejas».

Maestra: «¿Para qué?».

Patricia: «Necesitan comida».

Otros niños optaron por regar con más agua, indicio que muestra que para ellos es el principal factor del crecimiento, independientemente de la cantidad, o que se haya regado el día antes, como recogen estos diálogos:

Juan: «Hoy quiero echarle mucha agua a mi planta» [comentario tras comprobar que no hay cambios].

Maestra: «Adelante».

Juan: «Debajo del grifo no la quiero poner. Le voy a echar agua con un vaso».

Manuela: «¡Mi planta sigue igual!».

Maestra: «¿Quieres hacerle algo hoy a tu vasito?».

Manuela: «Quiero echarle mucha agua» [al llegar al lavabo cambia de opinión].

Manuela: «Mejor le voy a echar agua con una cucharita» [finalmente echa mucha agua].

Manuela: «Quiero que mi vasito siga en la ventana».

Bárbara corrió muy ilusionada a abrir el armario donde se encontraba su planta, y su cara cambió rápidamente al comprobar que no se habían producido cambios, proponiendo ubicarla junto a la ventana, que era el lugar donde el día anterior habían crecido las raíces de otras plantas y que recordaba de la asamblea:

Bárbara: «¡Ay! ¡La mía no se ha convertido...! Quiero cambiarla de sitio».

Maestra: «¿A dónde la quieres poner?».

Bárbara: «La quiero poner ahora en la ventana».

Las dos niñas que habían sembrado materia inerte, al comprobar que no había cambios, tomaron decisiones diferentes. La niña que había sembrado tizas decidió añadir una gran cantidad de agua, llenando el vaso hasta el borde, y guardarla dentro del armario. La niña que eligió Lacasitos añadió lentejas en el mismo vaso, y la dejó en el mismo lugar, constatando que se requiere materia viva para germinar.

Las acciones realizadas el día 5 (viernes) volvieron a confirmar el agua como elemento esencial del crecimiento, sin tener en cuenta cantidades y aflorando la idea de que se debe regar cada día.

Juan: «Le voy a echar un poco de agua con las manos». [Deja su vaso en la estantería].

Manuela, Alan y Victoria: «¡Quiero echarle mucha agua!».

Isabela [Vaso con tizas]: «Mi planta no ha hecho nada. Hay que echarle más agua». [Deja el vaso en la ventana].

Como se observa, algunos niños dieron preferencia al lugar más cercano a la luz.

Otros niños apreciaron cambios, que describieron de esta manera:

Patricia: «Se están rompiendo las bolitas [garbanzos] un poquito y está saliendo algo». [La riega y deja en el mismo sitio, la caja de zapatos].

Al llegar el fin de semana, cada niño se llevó su vasito a casa junto a una nota para las familias, donde se explicaba la indagación que estaban realizando y se informaba de que no debían proporcionarles ningún tipo de información sobre el proceso de germinación y crecimiento de una planta, sino dejar hacer a su hijo las acciones que desease.

El día 8 (lunes), tras el fin de semana, solo la niña que tenía Lacasitos y lentejas en su vaso trajo una nota de su madre, explicando las acciones realizadas: regarla cada día y ponerla en el patio de su casa.

Maestra: «¿Por qué pusiste el vaso en el patio? ¿Tiene tu madre otras plantas allí?».

Victoria: «No. Mi abuela tiene sus plantas en el patio».

Se valora muy positivamente la colaboración de padres y hermanos en la indagación, que permitió que la niña aprendiera a descubrir por sí sola, aun sabiendo que tenía sembrados Lacasitos y que de ellos no iba a germinar nada.

No ocurrió lo mismo con la niña que tenía tizas, que llegó diciendo lo siguiente:

Isabela: «Mi mamá me ha dicho que las tizas no crecen nada».

Maestra: «¿Qué hacemos entonces?».

Isabela: «La quiero poner en la ventana por si llueve que le caiga agua».

Como se observa, a pesar de la información, seguía teniendo esperanza de que las tizas podían germinar. La aparición de nuevas partes de la planta mostró el desconocimiento de sus nombres, como ilustran los casos de Juan, Óscar y Alan.

Maestra: «¿Crees que ha crecido tu planta este fin de semana?».

Juan: «¿Le han crecido un de esto?» [refiriéndose al tallo].

Maestra: «¿Tú que piensas?».

Juan: «Se ha abierto un poquito y quiero echarle mucha agua». [Abre el grifo y llena de agua hasta el borde].

Maestra: «¿Dónde la vas a poner?».

Juan: «La quiero poner en la ventana porque tiene mucha agua». [Era un día muy caluroso].

Se sigue repitiendo el uso/abuso del agua para favorecer el crecimiento, y en esta ocasión se relaciona la ventana como un lugar donde se producirá la evaporación del agua de forma más rápida.

Óscar llegó diciendo a voces que le había salido una flor, cuando se trataba de la raíz y un pequeño tallo (figura 6).



Fig. 6. Confusión de hojas con tallo (día 8).

Alan, llegó feliz porque su planta estaba muy crecida, diciendo que le habían «nacido» hojas. Probablemente su familia tuvo algo que ver en esta conclusión, porque días antes su planta en clase ya había crecido y se quedaba callado al preguntarle sobre los cambios producidos.

El día 9 (martes) los niños no realizaron el seguimiento porque fueron de excursión. El día 10 (miércoles) confundieron la aparición de hojas con flores:

Óscar: «He echado agua estos días y por eso ha crecido una flor. Huele a flor».

Maestra: «¿Le quieres hacer algo?».

Óscar: «Quiero regarla un poquito, hoy solo con una cuchara».

Patricia, que siempre había guardado su vaso en la caja de zapatos con una pequeña rendija, al abrirla observó que su planta estaba muy grande (figura 7).

Patricia: «Tiene crecido».

Maestra: «¿Qué es lo que tiene crecido Patricia?».

Patricia: «Flores, seño, flores».

Patricia: «Quiero regalarla con zumo de naranja natural, procesado no. Natural porque es muy sano y bueno para la salud, y también ponerla en la ventana para que le caiga la lluvia».

Este último comentario se relaciona con otra actividad que la maestra realiza en clase (exprimir naranjas) para fomentar hábitos de vida saludable e incentivar el consumo de zumo natural frente al procesado. De ella, se deducen dos ideas. Por un lado, cualquier líquido distinto de agua puede ser bueno para el crecimiento y, por otro lado, si el zumo natural es bueno para los niños, también lo será para las plantas.



Fig. 7. Niña observando su planta en el interior de una caja (día 10).

El crecimiento de la planta en el interior de la caja fue cuestión de debate en la asamblea de ese día porque algunos niños pensaban que en esas condiciones no podía crecer.

Otro niño observó la aparición de nuevos elementos en la planta, pero desconocía su nombre:

Alan: «A mi planta le han nacido hojas. Voy a regarla, pero muy poco, con un tapón».

La aparición de raíces blancas en la planta de Juan, tras haberla tenido en su casa, le hace pensar que el lugar donde se ubique la planta es muy importante, por lo que pide llevársela de nuevo a casa.

Juan: «Ha nacido algo de mis 'bolitas'. Parecen mocos [se refiere a la raíz]. ¿Puedo llevármela otra vez a casa para echarle agua allí?».

Isabela aún no había constatado que sus tizas no crecen y pensaba que era por falta de agua.

Isabela: «Está muy seca. Quiero echarle agua porque no crece».

El día 11 (jueves) siguieron apreciando y explicando nuevos cambios que se iban produciendo (tamaño, color, etc.). La mayoría asociaba el crecimiento a la presencia de luz y agua. Asimismo, reconocían que se debía añadir la cantidad de agua que la planta requiriese en cada momento, evidenciado por el uso de objetos de menor capacidad y la observación de que algunos vasos contenían agua del día anterior:

Manuela: «Mi planta se está poniendo verde porque siempre la pongo en la ventana, y hoy también quiero echarle agua, pero poca, con una cuchara».

Alan: «Mi planta tiene muchas hojas. Quiero regarla con un tapón». [La pone en la ventana].

Óscar: «Como la he regado le han salido flores, así que hoy también le quiero echar agua con un tapón y ponerla en la ventana».

Otro descubrimiento importante fue:

Victoria: «Las plantas crecen de día y de noche». [Echa mucha agua y pone en la ventana].

El agua también parece ser la solución para revivir plantas enfermas:

Juan: «Mi planta está llena de ‘mocos’ porque está malita». [Echa agua con un tapón y la pone en la estantería].

El día 12 (viernes) se trabajó el olor, y encontraron dificultades para describirlo.

Maestra: «¿A qué huele nuestra planta?».

Alan: «Huele a hojas». [Riega con un tapón].

Patricia: «Huele a flor». [Echa agua con un tapón y coloca en la ventana].

Bárbara: «Huele a bola» [garbanzos]. [Riega bajo el grifo y guarda en el armario].

Los tres niños a los que no le había crecido su planta, bien por haber sembrado materia inerte, bien por haberla regado con demasiada agua, ofrecían estas explicaciones:

Isabela [tizas]: «Aunque le echo mucha agua, mi planta no crece».

Bárbara: «No ha crecido porque por la tarde no le eché agua». [Vuelve a regarla y la coloca en la ventana].

Juan: «Mi planta está mala. Le hace falta zumo».

La tabla 4 resume los principales resultados obtenidos en esta fase.

Tabla 4.
Resultados en la fase 4 de análisis de datos y toma de decisiones.

	<i>Ideas previas</i>	<i>Objetivos conseguidos</i>	<i>Objetivos no conseguidos</i>
Sobre la semilla	– El crecimiento de una planta es un proceso rápido (esta idea aparece el día 4) (7/8 niños) – Una planta puede germinar a partir de una tiza (se mantiene durante toda la indagación) (1/8 niños) – Las semillas son el alimento para que una planta crezca (8/8 niños)	– Relacionar el número de semillas añadidas con mayores posibilidades de germinación (3/8 niños) (esta idea aparece el día 3) – Reconocer que las plantas crecen de día y de noche (esta idea aparece el día 11) (1/8 niños)	– Reconocer que una planta no puede germinar a partir de materia inerte (se mantiene durante toda la indagación) (1/8 niños)
Sobre la influencia de la luz	– Una planta puede crecer en el interior de una caja (se mantiene durante toda la indagación) (1/8 niños)	– Reconocer que una planta necesita luz solar para crecer (7/8 niños) – Reconocer que un lugar con mayor luz solar favorece el crecimiento (elección de ventana. Día 4: 2/8 niños; día 5: 4/8 niños; día 8: 6/8 niños; día 11: 7/8 niños)	– Reconocer que un lugar con mayor luz solar favorece el crecimiento de una planta (se mantiene durante toda la indagación) (1/8 niños mantienen la planta en zonas oscuras)
Sobre el agua	– Hay que regar con abundante agua para que crezca una planta (5/8 niños) – El zumo de naranja puede ser bueno para el crecimiento de una planta al igual que para niños (día 10) (1/8 niños)	– Reconocer que una planta necesita agua para crecer (8/8 niños) – Reconocer que una planta no necesita abundante agua para crecer, sino la cantidad adecuada (8/8 niños) (a partir del día 11)	– Reconocer que una planta no necesita abundante agua para crecer, sino la cantidad adecuada (8/8 niños) (hasta día 10)
Sobre las partes de la planta	– Una planta está formada por hojas y flores (5/8 niños). – Raíz y tallo se denominan hoja o flor (a partir del día 8) (2/8 niños) – Las hojas se denominan flores (a partir del día 8) (1/8 niños)	– Apreciar que las plantas tienen olor (7/8 niños)	– Identificar y nombrar adecuadamente raíz, tallo y hoja (4/8 niños)

La figura 8 resume los logros conseguidos en cuanto a los distintos factores que influyen en el crecimiento de una planta. Se observa cómo la frecuencia inicial de niños (6/8) que reconoce que una semilla es necesaria para la germinación aumenta el día 4 (7/8), mientras que, de 8 niños, 1 mantiene durante toda la indagación que la materia inerte puede germinar. En cuanto a la luz solar, los niños se dieron cuenta con el paso de los días de que es un factor clave del crecimiento (7/8), y a lo largo de la indagación aumentó el número de niños que cambió su vaso a la ventana, el lugar de la clase con mayor

iluminación. No obstante, 1/8 de niños piensan que una planta puede crecer en la oscuridad. El uso de agua es un factor considerado por todos los niños durante la indagación, probablemente favorecido por la acción inicial de mojar el algodón. Sin embargo, 5/8 niños emplean grandes cantidades de agua durante gran parte de esta, sin ser conscientes la mayoría, hasta el día 11, de que se requiere la cantidad necesaria en cada momento.

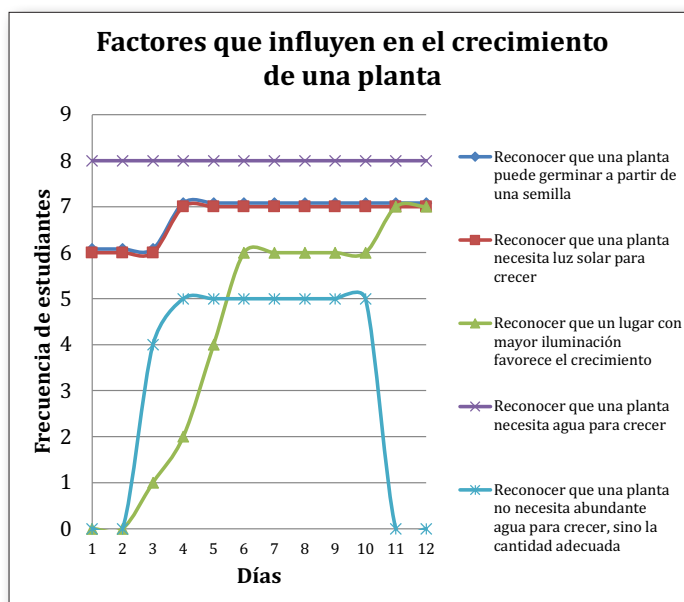


Fig. 8. Logros conseguidos para los distintos factores del crecimiento.

Fase 5. Conclusiones

En la última fase se intentó que los niños emitieran sus conclusiones de la indagación. Para ello, de forma individual, la maestra realizó la pregunta inicial: «¿Cómo hacemos crecer una planta?», y luego hizo una puesta en común. Las explicaciones individuales se pueden clasificar en 4 categorías, de mayor a menor adecuación:

- Categoría 1: Niños que identifican semilla, presencia de luz y agua en cantidades adecuadas como factores del crecimiento (3/8):

Óscar: «Si quieres una planta tienes que coger un garbanzo, echarle agua, regarlo y ponerlo en una ventana para que se ponga grande».

Alan: «Lo he puesto en la ventana y le he echado agua y semilla».

Bárbara: «Mi planta [confunde con semilla] no ha crecido porque no le he echado agua, no se ha puesto verde, y la he guardado en el armario».

Como se observa, dos niños llevaron a cabo estas acciones, mientras que la tercera, a pesar de no haberlas realizado, es consciente de que son necesarias.

- Categoría 2: Niños que identifican semilla y agua (2/8) (5/8, porcentaje acumulativo):

Patricia: «Un vaso con una lenteja, mucha agua y sale una flor grande».

Victoria: «Le he echado agua y ha salido una flor».

- Categoría 3: Niños que identifican el agua como único factor del crecimiento (2/8) (7/8, porcentaje acumulativo):

Manuela: «Hay que echarle agua y se pone grande».

Isabela: «La mía no ha crecido porque no le eché agua». [Indagación realizada con tizas].

- Categoría 4: Niños que no identifican ningún factor (1/8), a pesar de que el primer día se le dieron pistas, como mojar el algodón, acción que probablemente realizó por imitación:

Juan: «Hay que echarle mocos para que crezcan».

CONCLUSIONES

Este trabajo ha mostrado cómo llevar al aula una indagación sobre el crecimiento de plantas con niños de 3 años. El estudio detecta que algunas de las ideas recogidas en la literatura para primaria (Vicente, 1994) están presentes a esa edad, como la necesidad de una semilla, agua y luz para que una planta crezca. Creemos que los logros alcanzados con niños de 3 años son relevantes, por su capacidad de expresarlo de forma sistemática en sus conclusiones tras la indagación, ya que no todos los niños de 6 años son capaces de identificarlos (Vicente, 1994).

Es importante hacer conscientes a los niños de que solo se produce germinación a partir de materia viva. De las dos niñas que eligieron materia inerte, solo una fue consciente de la necesidad de una semilla, y por ello añadió lentejas a sus Lacasitos, mientras que la otra seguía pensando, tras la indagación, que de una tiza podía nacer una planta, manteniendo la idea de que los vegetales no son seres vivos (Garrido, 2007). Para movilizar esta idea se puede preguntar sobre las funciones de nutrición, relación y reproducción de seres vivos e inertes, así como si necesitan agua y oxígeno para vivir.

Otro aspecto problemático fue ajustar la cantidad adecuada de agua en cada momento. Para mejorarlo, sería conveniente debatir sobre esta necesidad o las consecuencias de anegar la planta. Del mismo modo, los comentarios acerca del uso de zumo natural para regar constituyen una línea futura que investigar.

El reconocimiento de la luz solar como responsable del crecimiento, pero no de la germinación, es un aspecto a seguir trabajando, pudiéndose potenciar ofreciendo a los niños zonas con mayor oscuridad, usando cajas con pequeños agujeros que permitan crecer el tallo buscando la luz u observando el crecimiento con una fuente de luz artificial. Este tipo de experiencias permitirán mejorar distintas habilidades de indagación y, al acabar la etapa de EI, aumentar el porcentaje de niños capaces de identificar los factores asociados a la germinación y el crecimiento.

Otro tema que cabe reforzar es que los niños vayan adquiriendo el vocabulario científico implicado para que no confundan semilla y planta, nombres de semillas (Fernández et al., 2006) o las partes de la planta, y que no utilicen solo los términos *flor* y *hoja*. Este vocabulario procedimental básico se podría trabajar antes de la indagación.

La indagación también ha ayudado a que mejoren en los procesos científicos implicados, potenciando la observación y la descripción (aparición de nuevas partes de la planta, cambios producidos), la realización de predicciones, la experimentación (regando, cambiando el vaso de sitio), la recogida de datos (midiendo altura de tallos, contando hojas), la toma de decisiones y la emisión de conclusiones. Para llevar a cabo con éxito indagaciones a edades tan tempranas es muy importante que los maestros consigan implicar a los niños en las distintas etapas de la indagación, y darles protagonismo en la toma de decisiones en todo momento. Sin embargo, un aspecto que hay que reconsiderar es la frecuencia a la que se debe demandar al niño tomar decisiones, ya que la realización diaria ha invitado, especial-

mente en los primeros días, cuando no se producían cambios, a emprender en ciertos niños acciones innecesarias, que en algunos casos pudieron desligar la acción de su efecto.

Por otro lado, la colaboración de las familias en indagaciones que obligan el seguimiento en casa resulta esencial. Para conseguirlo, los maestros deben informarles del proyecto que está realizando su hijo y compartir el modo de trabajo sin interferencias.

Finalmente, queremos resaltar que esta experiencia se implementó con un número reducido de niños, por una parte, para poder hacer un seguimiento personalizado a diario y de sus decisiones con fines investigadores, y por otra, por la dificultad adicional que supone realizarla a estas edades con grupos más numerosos, principalmente por la escasa autonomía que manifiestan, lo que favorecería en algunos niños la repetición de acciones.

AGRADECIMIENTOS

Proyectos I+D+i del Plan Nacional EDU2017-82197-P y PID2019-105765GA-I00.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, M. C., Carmona, M. C., Flores, A. M., Ridaura, E., Sánchez, M. C., De la Torre, M., Vázquez, N. y Vela, R. (2011). Taller de ciencias: investigo... las plantas. *Investigación en la Escuela*, 74, 23-34.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1998). *Blueprints for reform: Science, Mathematics and Technology Education*. Nueva York: Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1086/376057>
- Aragón, L. y Cruz, I. M. (2016). Del huerto ecológico universitario al aula de infantil: Experiencias educativas en torno a problemas ambientales en la etapa de infantil. *Revista Internacional de Educación Preescolar e Infantil*, 2(1), 41-48.
- Bartoszeck, A. B., Cosmo, C. R., Silva, B. R. y Tunnicliffe, S. D. (2015). Concepts of plants held by young Brazilian children: An exploratory study. *European Journal of Educational Research*, 4(3), 105-117.
<https://doi.org/10.12973/eu-jer.4.3.105>
- Bebbington, A. (2005). The ability of A-level students to name plants. *Journal of Biological Education*, 39(2), 63-67.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2005.9655963>
- Boulter C., Tunnicliffe S. y Reiss, M. (2003). Probing Children's Understandings of the Natural World. En J. Lewis, A. Magro, L. Simmoneaux (Eds.), *Biology Educations for the Real World: Student Teacher-Citizen*, Proceedings IV ERIDOB Conference, Toulouse: Ecole Nationale de Formation Agronomique.
- Burtscher, I. M. (2011). *Pequeños-grandes científicos. Experimentos con el agua, aire, los fenómenos atmosféricos, el sol y la luna y el tiempo*. Madrid: Narcea.
- Bybee, R., Taylor, J., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J., Westbrook, A. y Landes, N. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins and Effectiveness*. Science Education National Institutes of Health.
- Campo, L. A. (2009). Características del desarrollo cognitivo y del lenguaje en niños de edad preescolar. *Psicogente*, 12(22), 341-351.

- Cantó, J., Pro, A. y Solbes, J. (2016). ¿Qué ciencias se enseñan y cómo se hace en las aulas de Educación Infantil? La visión de los maestros en formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(3), 25-50. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1870>
- Cañal, P. (2006). La alfabetización científica en la infancia. *Aula de Infantil*, 33, 5-9.
- Cruz, M., García-Carmona, A. y Criado, A. (2017). Aprendiendo sobre los cambios de estado en Educación Infantil mediante secuencias de pregunta-predicción-comprobación experimental. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(3), 175-193. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2336>
- De la Blanca, S., Hidalgo, J. y Burgos, C. (2013). Escuela infantil y ciencia: la indagación científica para entender la realidad circundante. *Enseñanza de las Ciencias*, extra, 979-983.
- Del Valle, A. (2011). Las plantas. *Aula de Infantil*, 61, 25-28.
- European Commission (2015). *Science education for responsible citizenship*. Luxemburgo: European Union. <https://doi.org/10.2777/13004>
- Fernández, R., Medrano, G. y Bello, L. (2006). Las actividades en el rincón de ciencias. Un pretexto para la globalización en la etapa infantil. *Aula de Infantil*, 29, 28-30.
- Fernández, R. y Rodríguez, L. M. (2006). Los pequeños de cuatro años en el rincón de ciencias: Qué ven y qué dicen sobre el nacimiento de las plantas. *Alambique*, 49, 105-113.
- Franco-Mariscal, A. J. (2015). Competencias científicas en la enseñanza y el aprendizaje por investigación. Un estudio de caso sobre corrosión de metales en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(2), 231-252. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1645>
- García-Carmona, A., Criado, A. M. y Cañal, P. (2014). Alfabetización científica en la etapa 3-6 años: un análisis de la regulación estatal de enseñanzas mínimas. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(2), 131-149. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.817>
- Garrido, M. (2007). *La evolución de las ideas de los niños sobre los seres vivos* (tesis doctoral). A Coruña: Universidad A Coruña.
- Gatt, S., Tunnicliffe, S. D., Borg, K. y Lautier, K. (2007). Young Maltese children's ideas about plants. *Journal Biological Education*, 41(3), 117-121. <https://doi.org/10.1080/00219266.2007.9656080>
- Gee, J. P. (2005). *An Introduction to Discourse Analysis: Theory and Method*. Londres: Routledge. <https://doi.org/10.1017/S0047404512000322>
- Gómez, C. y Ruiz, J. R. (2016). El rincón de la ciencia y la actitud hacia las ciencias en Educación Infantil. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(3), 643-666. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i3.10
- Harlen, W. (Ed.) (2010). *Principios y grandes ideas de la educación en ciencias*. Herts: Association for Science Education.
- Hinojosa, J. y Sanmartí, N. (2016). Indagando en el aula de ciencias: primeros pasos. En *27 Encuentros Didáctica Ciencias Experimentales*. Badajoz: Universidad de Extremadura. <https://doi.org/10.12795/IE.2019.i99.02>
- Hsin, C. y Wu, H. J. (2011). Using scaffolding strategies to promote young children's scientific understandings of floating and sinking. *Journal of Science Education and Technology*, 20(5), 656-666. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9310-7>
- Mazas, B., Gil, M. J., Martínez, B., Hervas, A. y Muñoz, A. (2018). Los niños y las niñas de infantil piensan, actúan y hablan sobre el comportamiento del aire y del agua. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(1), 163-180. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2320>

- Monteira, S. F. y Jiménez, P. (2016). The practice of using evidence in kindergarten: The role of purposeful observation. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), 1232-1258.
<https://doi.org/10.1002/tea.21259>
- Monteira, S. F. y Jiménez, M. P. (2019). ¿Cómo llega el agua a las nubes? Construcción de explicaciones sobre cambios de estado en educación infantil. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(2), 2101 https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2101
- National Research Council (NRC) (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards. A Guide for Teaching and Learning*. Washington, D. C.: National Academy Press.
<https://doi.org/10.17226/9596>
- OCDE (2012). *Education at a Glance 2012 Highlights* (pp. 74-75). París: OECD.
https://doi.org/10.1787/eag_highlights-2012-en
- Peterson, S. M. y French, L. (2008). Supporting young children's explanations through inquiry science in preschool. *Early Childhood Research Quarterly*, 23(3), 395-408.
<https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2008.01.003>
- Piekny, J., Grube, D. y Maehler, C. (2014). The development of experimentation and evidence evaluation skills at preschool age. *International Journal of Science Education*, 36(2), 334-354.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2013.776192>
- Rocard, M. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Luxemburgo: European Union.
- Romero, D. (2000). Los animales que viven con nosotros. Una experiencia en educación infantil. *Investigación en la Escuela*, 40, 77-86.
<https://doi.org/10.12795/IE.2000.i40.06>
- Romero, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(2), 286-299.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.01
- Rönnebeck, S., Bernholt, S. y Ropohl, M. (2016). Searching for a common ground-A literature review of empirical research on scientific inquiry activities. *Studies in Science Education*, 52(2), 161-197.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2016.1206351>
- Siry, C. y Max, C. (2013). The collective construction of a science unit: Framing curricula as emergent from kindergarteners' wonderings. *Science Education*, 97(6), 878-902.
<https://doi.org/10.1002/sce.21076>
- Strand, M. y Klahr, D. (2008). Developing elementary science skills: Instructional effectiveness and path independence. *Cognitive Development*, 23(4), 488-511.
<https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2008.09.005>
- Tunnicliffe, S. D. (2001). Talking about plants – comments of primary school groups looking at plants as exhibits in a botanical garden. *Journal of Biological Education*, 36(1), 27-34.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2001.9655792>
- Vicente, A. (1994). Unidad didáctica: Las plantas. *Aula de Innovación Educativa*, 33, 84-97.
- Worth, K. y Grollman, S. (2003). *Worms, Shadows and Whirlpools: Science in the Early Childhood Classroom*. Washington, DC: NAEYC.
<https://doi.org/10.1177/183693910302800411>

How do we grow a plant?

An inquiry with 3-year-olds

Ana M.^a Rodríguez Melero

CEIP Colmenarejo. Campanillas, Málaga, España.

anarodmel@gmail.com

M.^a José Cáceres Ruiz, Antonio Joaquín Franco-Mariscal

Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Málaga. Málaga, España.

mariajosecaceres.1996@uma.es, anjoa@uma.es

Scientific inquiry is ideal for learning science using recurring topics in early childhood education such as plants, since it makes it possible to work on science with groups of children who collaborate and can answer questions about the natural environment while sharing experiences.

This paper aims to show how to carry out an inquiry related to the germination and growth of plants with 3-year-old students, and to document the progress that occurs in the conceptual understanding of plant growth. A simplified and recursive cycle of inquiry is used, which includes five phases: posing the problem and issuing hypotheses, design of the experiment, experimenting and manipulating, analysis of results and decision making, and conclusions. This investigation was implemented with eight children of 3 years old from an infant school in the province of Malaga and lasted 12 days.

The research starts with the problem: how do we grow a plant? Once the hypotheses were given, the teacher gave each child a plastic cup and different alternatives to design their experiment were offered. The children could choose between planting seeds or inert matter, wetting the cotton with water or not, or placing it in various areas of the classroom with different lighting. In successive days, the children continued to make decisions independently about the nature of the seed, form of irrigation or location.

The sequence presents for each phase the activities developed, and the questions asked in class, the objectives and the competencies related to the inquiry. The instruments used to gather the information were the oral responses of the children collected through audio and video recordings during the inquiry individually and in assembly, the observation diary of the two participating teachers and the daily tab for following-up the process that included pictograms for each growth factor.

Researchers explored the children's previous ideas and the goals achieved and not achieved with regards to the seed, the influence of light, water and plant parts for each phase. Progress is shown by finding that 62.5 % of children recognize seed and water as necessary growth factors, and 37.5 % also include sunlight. Although some children recognized that living matter, and not inert, is necessary for germination, others did not advance in this sense. The achievements made are relevant since some of these difficulties remain at 6-7 years of age, and in this case, some 3-year-old children were able to express it systematically in their conclusions.

Nevertheless, some aspects should continue to be worked on, such as the difficulty to adjust the adequate amount of water or to recognize sunlight as a factor responsible for growth, but not for germination. Another topic to reinforce is the children's acquisition of the scientific vocabulary involved. For instance, they are confused about the differences between seed and plant, about the names of the seed, as well as the identification of the parts of the plant. In that sense, they usually use the terms *flowers* and *leaves* to refer to many parts of the plant.

The research has also helped children to improve the scientific processes involved by enhancing observation and description (appearance of new plant parts, changes produced), making predictions, experimenting (watering, changing the plastic cup of place), collecting data (measuring stem height, counting the number of leaves), making decisions and issuing conclusions.

Finally, the collaboration of families in inquiries that require follow-up at home is essential, and teachers must inform families about their child's project and share how they work without interference.



Modelización matemática en educación primaria: el brazo hidráulico

Mathematical modeling in elementary education: the hydraulic arm

Elisa Salcedo Talamantes, Angelina Alvarado Monroy, María José Aviña González
Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Juárez del Estado de Durango
elisa.salcedo@ujed.mx, aalvarado@ujed.mx, mjavina@ujed.mx

RESUMEN • El objetivo es mostrar el aprendizaje interdisciplinario con alumnos de primaria mediante una actividad donde la modelización es un vehículo para su desarrollo. El marco de referencia integra la perspectiva de modelos y modelización para lograr la concepción y refinamiento del diseño en ciclos iterativos. La presentación del contexto incluyó la interacción con un brazo hidráulico. Los resultados muestran que los alumnos, aun aquellos con barreras de aprendizaje, construyen modelos utilizando distintos medios de representación, para exhibir comprensión del mecanismo, realizar medición de ángulos y distancias, e incluso aproximaciones a la variación lineal. La actividad es innovadora dada la interdisciplinariedad que da lugar a una práctica científica basada en modelos, donde se experimenta con un prototipo de bajo coste que permite la inclusión de todos los alumnos.

PALABRAS CLAVE: Modelización; Diseño instruccional; Educación primaria; Interdisciplinariedad.

ABSTRACT • The objective is to show interdisciplinary learning with elementary school students through an activity where modeling is a vehicle for its development. The reference frame integrates models and modeling perspective to achieve the conception and refinement of the design in iterative cycles. The presentation of the context included interaction with a hydraulic arm. The results show that students, even those with learning barriers, build models using different means of representation to show understanding of the mechanism, measure angles and distances, and even approximations to linear variation. The activity is innovative due to an interdisciplinarity which results in a scientific practice based on models in which students experiment with a low-cost prototype that makes the inclusion of all students possible.

KEYWORDS: Modeling; Instructional design; Elementary education; Interdisciplinarity.

Recepción: junio 2020 • Aceptación: febrero 2021

Salcedo Talamantes, E., Alvarado Monroy, A. y Aviña González, M. J. (2021). Modelización matemática en educación primaria: el brazo hidráulico. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3), 255-273.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3363>

RELEVANCIA DEL TRABAJO

La tendencia en educación matemática en secundaria es hacia la construcción de conocimiento integrado que permita a los alumnos enfrentarse a situaciones reales cercanas, para explicar, interpretar, matematizar y comunicar modelos (OCDE, 2017). Una pregunta emerge: ¿cómo propiciar a través de la modelización un aprendizaje centrado en el niño desde la educación primaria?

El experimento de enseñanza que se informa considera que el conocimiento nuevo proviene de experiencias e interacciones con situaciones contextualizadas, se construye sobre el conocimiento previo (formal e informal) del niño y mediante un proceso de cambio en los saberes apoyado desde las interacciones entre pares (Bransford, Brown y Cocking, 1999) y en prácticas científicas basadas en modelos (Duschl y Grandy, 2012). Se propone una situación donde un brazo hidráulico ayuda a clasificar residuos y, para mejorar el proceso, demanda describir el espacio donde actúa dicho mecanismo. El contexto puede interesar a los alumnos, dado que les permite jugar y experimentar con un prototipo, además los motiva a buscar diferentes representaciones de sus modelos (incluidas analogías desde sus referentes) y brinda oportunidades para evaluar la calidad de sus respuestas desde la experimentación (Aragón, 2013; Lesh y Doerr, 2003; Sevinc y Lesh, 2018). Por ello, los objetivos didácticos se orientan a comprender el funcionamiento de la máquina y desarrollar nociones de medición para describir su espacio de influencia desde la observación y experimentación con esta.

Los ejemplos de prácticas científicas centradas en la modelización pueden animar a los docentes a implementarlas en el aula de manera temprana, fomentando la participación de los alumnos, atendiendo a la preocupación de que dichas experiencias puedan articularse con el currículum educativo y desarrollar competencias en los alumnos para la modelización (Gallart, Ferrando Palomares y García Raffi, 2019).

FUNDAMENTACIÓN

La enseñanza de la ciencia requiere de experiencias para que los alumnos construyan y refinen sus producciones, a través de prácticas científicas basadas en modelos que favorezcan las progresiones en el aprendizaje (Duschl y Grandy, 2012). Desde esta visión, se promueve una alfabetización científica en los individuos al 1) desarrollar y evaluar evidencia científica, explicaciones y conocimientos, además de 2) criticar y comunicar ideas científicas e información. En este enfoque, el aprendizaje ocurre mediante las interacciones de los alumnos, en contextos apropiados para su edad, permitiéndoles centrar su atención en la construcción de modelos y su refinamiento (desde la medición, observación, discusión de pruebas y explicación), y un incremento del conocimiento científico (Duschl y Grandy, 2012). Así, los alumnos deben aprender, a través de la experiencia, el significado de ser racional y objetivo.

En el mismo sentido, el conocimiento se gesta desde la interacción entre distintas disciplinas. La interdisciplinariedad es un proceso cuyo propósito es generar formas de comprender y hacer ciencia útil para solucionar problemas de manera sistemática, propiciando el bienestar individual y colectivo de una comunidad (Chacón, Chacón y Alcedo, 2012). Se propone establecer un puente interdisciplinario (tabla 1), al utilizar un prototipo para explorar su funcionamiento y, mediante la determinación del espacio en el que actúa, tratar de imaginar la acción de un brazo hidráulico real y describirlo en una carta. La matemática en contexto posee dos ejes: *contextualización* y *descontextualización*. El primero involucra trabajo interdisciplinario, mientras que en el segundo se descarta información para dejar solo los elementos que permiten dar paso a la matematización de la situación. La contextualización ofrece al alumno una formación integral mediante un propósito en común de los saberes interdisciplinarios: las demás ciencias que estudia y las situaciones de la vida (Camarena, 2017). Este tipo de enseñanza involucra la necesidad de la modelización como parte del proceso de matematizar. Oliva (2019) menciona rasgos compatibles de las tareas:

- *Expresiva*: describe o explica fenómenos mediante la creación de nuevos modelos.
- *Exploratoria*: investiga las características de un modelo preexistente.
- *Experimental*: formula hipótesis y predicciones a partir de modelos que se prueban.
- *Evaluativa*: compara modelos alternativos que tratan la misma situación, evalúa sus ventajas y limitaciones para seleccionar el más apropiado.
- *Cíclica*: participa en ciclos completos de modelización.

Desde esta práctica científica, la modelización ha sido caracterizada mediante el acto discursivo que acompaña a dichas tareas: explicar, argumentar, razonar científicamente, evaluar por pares, aprender colaborativamente entre pares, andamiaje del docente, negociar, comunicar (Oliva, 2019).

En la perspectiva de modelos y modelización [PMM] (Lesh y Doerr, 2003) se aprecian las prácticas y los rasgos anteriores, además de apoyar un desarrollo conceptual partiendo de las experiencias previas y diferenciadas de los alumnos. Para ellos, la modelización propicia acciones como: cuantificar información, dimensionar espacios, ubicar eventos en marcos de referencia, organizar y analizar datos, realizar cálculos, establecer relaciones matemáticas, desarrollar criterios de comparación o decisión y aplicar procedimientos. En una actividad de modelización los alumnos pasan por una serie de interpretaciones de la situación a través de diferentes medios de representación y ciclos de modelado que incluyen: *descripción* que establece la correspondencia entre el mundo modelo y el real/imaginado; *manipulación* del modelo para generar predicciones o acciones relacionadas con la situación; la *traducción* que lleva los resultados relevantes al mundo real/imaginado; y la *verificación* sobre su utilidad.

Desde la PMM se presenta una *actividad detonadora de modelos* (*Model Eliciting Activities*, MEA) como un reto a los alumnos que responde a su cultura y contexto; cuya solución genera productos que van más allá de respuestas cortas a preguntas específicas; cuyos datos se derivan de la experimentación con material manipulable; y, donde el entendimiento conceptual puede ser documentado y asesorado de manera directa (Lesh y Doerr, 2003; Sevinc y Lesh, 2018; Gallart et al., 2019). En este acercamiento a la educación matemática y científica, los conceptos pueden fungir como herramientas para describir, explicar y diseñar artefactos, procesos de pensamiento referidos como *modelos* (Sevinc y Lesh, 2018). Además, la MEA se considera idónea para trabajar con alumnos sin experiencia previa en modelización, puesto que el producto final (carta) permite observar, comparar y evaluar el aprendizaje (Gallart et al., 2019).

Para Doerr (2016), la MEA alienta a los alumnos, en equipos, a involucrarse en un proceso iterativo donde expresan, prueban y redefinen sus maneras de pensar sobre situaciones problemáticas significativas. El diseño provoca la construcción de un modelo generalizable que aclara y delimita la estructura matemática de la situación. La MEA «provoca entendimiento matemático nuevo en los alumnos al estar en un contexto que los dota de significado y permite que expresen, a lo largo de la tarea, conocimiento proveniente tanto de su experiencia como de su conocimiento matemático» (p. 198).

La MEA requiere de otro tipo de actividad. Doerr (2016) explica que las *actividades de exploración de modelos* (AEM) involucran a los alumnos a pensar en los modelos que fueron obtenidos y centrarlos en la estructura matemática subyacente, las fortalezas de la diversidad de representaciones y las formas de usarlas productivamente.

Para Barquero, Bosch y Gascón (2014) es posible y necesario introducir a los alumnos en una actividad matemática centrada en problemas de modelización. Así lo permiten las orientaciones curriculares introducidas en los sistemas educativos que proponen el estudio de «situaciones de la vida real», más que de contenidos matemáticos. Para ellos la modelización puede vivir con normalidad en las instituciones educativas y consideran que es necesario estudiar las *condiciones* que se requieren y las *restricciones* que impiden que estas actividades puedan desarrollarse.

Los propósitos de la educación básica en México establecen un escenario idóneo para la modelización:

- Plantear la matemática como una construcción social, donde se argumentan y formulan procesos y hechos.
- Desarrollar habilidades en los alumnos que les permitan plantear y resolver problemas usando herramientas matemáticas, tomar decisiones y enfrentar situaciones no rutinarias.
- Apoyar el desarrollo de la confianza en las capacidades y perseverancia de los alumnos al enfrentar problemas, la disposición para el trabajo colaborativo y autónomo, al igual que la curiosidad e interés por emprender procesos de búsqueda en la resolución de problemas (Secretaría de Educación Pública, 2018).

La MEA (figura 3) se propone en 4.º grado de primaria (al final del 2.º ciclo de educación primaria), por ello se consideró la transición al 3.º ciclo. En la tabla 1 se muestra la vinculación curricular de la MEA.

Tabla 1.
Vinculación curricular para la Educación Obligatoria (2016) y MEA

<i>Campo formativo (Asignatura)</i>	<i>Eje</i>	<i>Tema</i>	<i>Descripción por ciclo</i>
Lenguaje y comunicación (Lengua materna y literatura: Español)	Participación social	Uso de documentos administrativos y legales	3.º ciclo: Escribir cartas formales (impresas y electrónicas) para solicitar [y brindar] servicios.
Pensamiento matemático (Matemáticas)	Forma, espacio y medida	Figuras Geométricas	2.º ciclo: Describir la ubicación de objetos y lugares utilizando relaciones espaciales y puntos de referencia.
		Magnitudes y medidas	2.º ciclo: Estimar, comparar, ordenar y reproducir superficies de manera directa, con unidades no convencionales y convencionales. 3.º ciclo: Estimar, comparar y ordenar la capacidad de recipientes utilizando el mililitro.
	Procesos de cambio y pensamiento algebraico	Patrones y expresiones equivalentes	3.º ciclo: Explorar sucesiones de números y de figuras con progresión aritmética y geométrica.
Exploración y comprensión del mundo natural y social (Ciencias naturales y tecnología)	Materia energía y cambio	Fuerza y movimiento	2.º ciclo: Describir los efectos de la fuerza en los objetos.
			3.º ciclo: a) Explicar cómo funciona la aplicación de la fuerza en las máquinas simples. b) Describir el movimiento de objetos en función de la distancia y el tiempo.

<i>Campo formativo (Asignatura)</i>	<i>Eje</i>	<i>Tema</i>	<i>Descripción por ciclo</i>
Área: Desarrollo corporal y social	Motricidad	Habilidades y destrezas motrices	3.º ciclo: Estimular las destrezas motrices al manejar objetos e implementos.
			3.º ciclo: Aplicar habilidades motrices que requieren la manipulación de objetos.
	Creatividad	Exploración libre y pensamiento divergente	2.º ciclo: a) Explorar habilidades motrices en situaciones de juego, individuales y colectivas. b) Mostrar actitudes de cooperación y colaboración en situaciones de juego.
			3.º ciclo: Promover actitudes de compañerismo, ayuda mutua y respeto.
		Resolución de problemas y pensamiento estratégico	2.º ciclo: a) Identificar elementos del juego: reglas, adversarios, objetos e implementos. b) Utilizar estrategias de juego individuales y colectivas ante retos y/o problemas.
		Creatividad motriz y estratégica	3.º ciclo: a) Responder de manera creativa a problemas y retos motores. b) Construir respuestas creativas a partir de la motricidad. c) Favorecer ambientes de aprendizaje en la interacción motriz.

Fuente: Elaboración desde SEP (2016).

Fernández, Sesto y García-Rodeja (2017) consideran que las ideas nuevas generadas desde los modelos, a veces, se alejan de las ideas de la ciencia escolar y en ocasiones surgen contenidos tratados fuera del nivel educativo en cuestión. Por tanto, se puede asumir que la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias es un proceso de modelización durante el cual se produce la progresión de modelos iniciales hacia modelos de la ciencia escolar. En este sentido, Aragón (2013) considera que las analogías son un instrumento que contribuye al aprendizaje de conceptos y procedimientos científicos, así como a la valoración del proceso de construcción y su naturaleza. Para la autora, en el proceso de modelización, las capacidades más complejas son aquellas que requieren mayor dosis de imaginación y creatividad. Ella analiza las dimensiones del aprendizaje al trabajar con una actividad interdisciplinaria en educación secundaria donde reconoce la vinculación de las analogías con la modelización desde las siguientes dimensiones:

- *La evolución de los modelos explicativos de los alumnos sobre el cambio.* Estudiando la progresión en el uso de modelos: proposicionales o verbales, modelos simbólicos de carácter modal (diagramas pictóricos) y amodal (representación mediante símbolos, fórmulas y ecuaciones).
- *Las capacidades desarrolladas que se relacionan con la modelización en ciencias.* Esto es, las habilidades relacionadas con el aprendizaje de modelos, con el desarrollo de las destrezas necesarias en el proceso (aplicación, revisión y reconstrucción de modelos) y con el aprendizaje sobre su naturaleza.
- *Las capacidades relativas al pensamiento analógico,* para estudiar en qué medida los alumnos han aprendido analogías al aplicarlas, revisirlas, participar en la (re)construcción y su creación.

Al finalizar la experimentación de la propuesta de este trabajo, se puso de manifiesto el uso constante de analogías que ponían en juego los alumnos para poder progresar en la comprensión del funcionamiento del mecanismo.

METODOLOGÍA

Se utilizó la metodología basada en el diseño como forma cualitativa, intervencionista, que crea y evalúa condiciones novedosas para el aprendizaje a través de ciclos iterativos de concepción del diseño, observación, análisis y rediseño, acompañados de una retroalimentación sistemática de los usuarios (Bakker y van Eerde, 2015). Los resultados incluyen nuevas posibilidades de educación práctica y conocimientos relacionados con el proceso. En estos se anticipa cómo las formas particulares de enseñar funcionarían y estudiarlas conduce a una mayor comprensión de estas. Las fases implicadas son: *preparar* el experimento, *experimentar* para apoyar el aprendizaje y *realizar análisis retrospectivos* de los datos generados con los alumnos (Cobb y Gravemeijer, 2008).

Se recolectó evidencia (fotografías, producciones, notas y vídeos) de la intervención para analizar las discusiones (en equipo y grupales), el razonamiento que evidenciaron de manera verbal y escrita durante el trabajo colaborativo, y las representaciones para resolver la situación. La atención se fijó en los argumentos, formulación de procesos y hechos matemáticos; a la par del desarrollo de habilidades que les permitían plantear y resolver la situación con sus herramientas.

La MEA se implementó en una escuela pública de clase socioeconómica media-baja en Durango, México. El grupo fue de 22 alumnos de 4.º de primaria (10 años de edad). Se solicitaron los permisos necesarios con las autoridades del plantel y se indagaron particularidades de los alumnos. Así se tuvo conocimiento de que no habían tenido experiencia con actividades de modelización, que un alumno era débil visual y dos niñas tenían déficit de atención, esto ayudó a brindar el andamiaje requerido (Resultados de la experimentación: Módulo 1).

El objetivo fue analizar el experimento de enseñanza y mejorar el diseño de la MEA (figura 2). En la implementación estuvieron tres docentes: 1) *maestra titular* del grupo, con el papel de observadora; 2) *maestra de apoyo*, la cual participó del diseño y estuvo encargada de monitorear el trabajo del equipo que requería atención; y 3) *maestra guía* de la implementación y partícipe del diseño y su evaluación.

El diseño. Para diseñar y evaluar la MEA se consideró la tabla 2 siguiendo los principios de la PMM.

Tabla 2.
Evaluación de los principios de diseño de la MEA propuesta

<i>Principio</i>	<i>Justificación del diseño de acuerdo con PMM</i>
<i>Significado personal</i>	¿Pueden los alumnos entender la situación con base en conocimiento y experiencias previas?, ¿se toman en cuenta sus ideas sin inducir una forma de pensar específica? A partir del experimento y de la observación surgen distintas formas de delimitar el espacio en el que el brazo puede moverse.
<i>Construcción del modelo</i>	¿La tarea involucra la descripción, manipulación, predicción o control de una estructura matemática? Los alumnos elaboran descripciones para informar los movimientos necesarios para encastrar los cubos.
<i>Autoevaluación</i>	¿Pueden evaluar por sí mismos qué «tan buenas» son sus respuestas? Las diferentes respuestas pueden verificarse mediante la experimentación y evaluar la más eficiente.
<i>Documentación del modelo</i>	¿La respuesta requiere que el alumno revele qué está pensando de la situación (datos, metas)?, ¿qué clase de objetos, relaciones, operaciones y patrones pone en juego? En la carta, la descripción de movimientos provoca que se realicen mediciones de distancias y ángulos para explicar de forma precisa.
<i>Prototipo simple</i>	¿La experiencia puede ayudar a entender otras situaciones similares? La acción sobre una palanca origina un movimiento en el brazo, esto se puede abstraer como relación entre variables dependientes e independientes.
<i>Generalización de modelos</i>	¿La herramienta conceptual construida puede modificarse y extenderse para aplicarse a un rango más amplio de situaciones? La medición de distancias y ángulos, al igual que la forma de actuar de los mecanismos desde una fuerza o impulso que aplicada a una pieza provoca el movimiento de otra.

Fuente: Elaboración con base en Lesh et al. (2003).

Para la National Council of Teachers of Mathematics (NCTM, 2012), el uso de prototipos o representaciones tridimensionales es fundamental para desarrollar el pensamiento geométrico, dado su poder para coordinar los significados verbales capturados por el lenguaje con sus representaciones espaciales, dinámicas, con movimiento físico y flexión de modelos tridimensionales. Por ello, en el diseño fue central un prototipo (figura 1) cuyos componentes son:

- *Estructura central de tres ejes* (e1, e2 y e3) articulados que permiten movimientos verticales independientes (A y B). A un extremo hay una pinza (d) y del otro, un mecanismo para girar la estructura (C).
- *Panel de control* (f) con cuatro palancas, cada una de las cuales acciona un movimiento [verticales (A y B), giratorios (C) y para abrir o cerrar la pinza (d)]. Las cuatro jeringas están dispuestas en línea (f), unidas a palancas con cinchos y conectadas mediante mangueras a otras jeringas.
- *Base* (g) sobre la cual está colocado el mecanismo de giro de la estructura central y el panel (f).

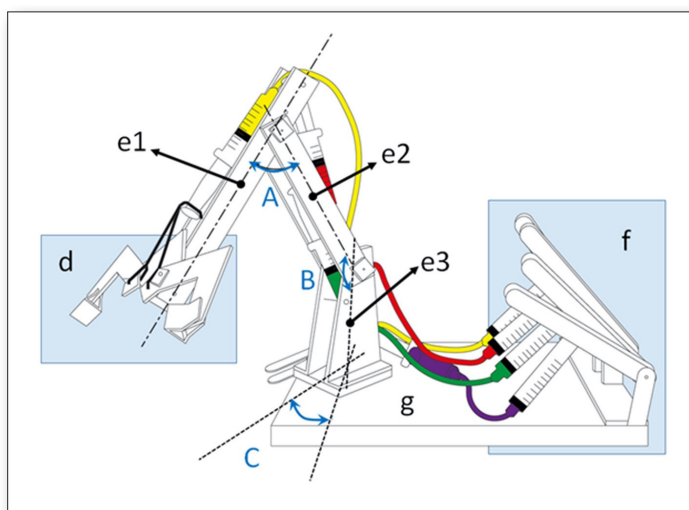


Fig. 1. Diagrama del prototipo del brazo hidráulico.

El prototipo fue provisto con un sistema hidráulico simple construido por las autoras con materiales económicos: cartón, mangueras, jeringas (capacidad de 12 ml), cinchos, alambre y pegamento. Las jeringas están conectadas por pares de manera que, al accionar una llena de líquido, esta envía el fluido a presión por medio de una manguera al cilindro vacío de una segunda jeringa dando como resultado una acción. Al actuar el cilindro se lleva a cabo un movimiento (halar o empujar) que se traduce en una acción específica de un componente. Por lo tanto, cada jeringa del panel (f) controla un componente específico: el giro de la estructura central, la altura de la pinza o la acción de abrirla y cerrarla. El líquido utilizado es de colores para simplificar su identificación, esto permitió una rápida familiarización por parte de los alumnos. Sin embargo, entre un prototipo y otro, hubo variaciones en la secuencia de colores, lo que causó conflicto al comunicar resultados (*Fase 2. Experimentar para apoyar el aprendizaje*).

Descripción de la MEA. El objetivo didáctico era explorar las oportunidades de integrar conocimiento interdisciplinario en una MEA cuyo producto final fue una carta redactada por los alumnos donde se puso en evidencia el desarrollo de nociones de medición al describir el espacio de funcionamiento de un brazo hidráulico. Lo anterior en un contexto centrado en el juego, la observación y la experimentación para facilitar la inclusión a la par que se desarrollan la creatividad, habilidades motrices y el ámbito psicosocial de los alumnos (tabla 1).

El set de juego (figura 2) contaba con cubos de unicel y tres contenedores. Aunado a la *actividad de calentamiento* (AC), la maestra guía realizó preguntas para detonar formas de pensar de los alumnos: ¿dónde se usan los brazos hidráulicos?, ¿cuál es su funcionamiento y espacio de trabajo? y ¿qué matemáticas pueden surgir desde esta actividad? Posteriormente, tuvo lugar la MEA (figura 3) planteando como situación que, con ayuda del brazo, se colocara el material reciclable comprimido en los recipientes indicados.

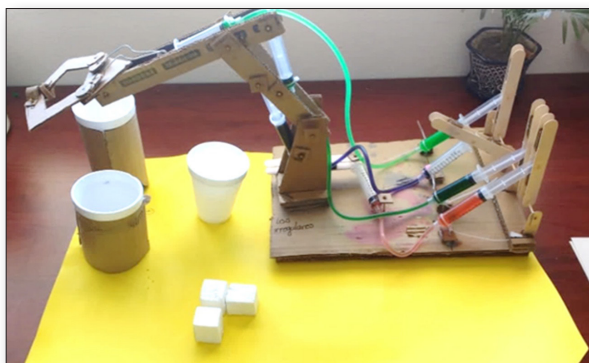


Fig. 2. Set de juego.

Para apoyar la elaboración de mejores descripciones en las cartas, se tenían preparadas preguntas para responderse de manera grupal después de la experimentación con el brazo. Se esperaba que los alumnos las retomaran, en el cierre, para hacerlas explícitas en sus cartas al comunicar su solución a la MEA.



3 R, Reduce, Recicla y Reutiliza

Don Ramón trabaja en una planta de reciclaje donde reducen la basura en cubos de metal, papel y plástico para después llevarlos a reutilizar o reciclar. Los cubos salen de la máquina en fila y sin seguir un orden. Enseguida, Don Ramón los pone con ayuda de un brazo hidráulico en un cesto correspondiente para ser trasladados.

Cada material tiene su cesto designado, los tres cestos son prismas rectangulares de 8×8 en las caras de abajo y arriba.

El primer cesto que se encuentra justo frente al brazo a una distancia de 23 cm tiene una altura de 10 cm y es el de **metal**.

El segundo cesto para el **plástico** se encuentra al lado izquierdo con 2 cm de separación del de metal, a 20 cm de la base y con 11.5 cm de altura.

El tercer cesto es el que almacena el **papel**, se encuentra del lado izquierdo con 2 cm de separación del cesto de plástico, de 19 cm de separación de la base del brazo y 15 cm de altura.

Recientemente, se ha incorporado el uso del brazo para apoyar el trabajo de Don Ramón, él quisiera saber qué movimientos debe hacer para poner cada cubo en su cesto correspondiente para optimizar el tiempo.

Se tiene un prototipo a escala del brazo hidráulico, ya que el brazo en el trabajo de Don Ramón es mucho más grande, él solicita que con tu ayuda y la de tu grupo, puedan explicarle con detalle, a través de una carta, cómo podría hacer su trabajo de manera más rápida y eficiente.



Fig. 3. MEA.

La tabla 3 fue elaborada a la luz de los datos obtenidos para analizar los resultados de la implementación de la MEA. Para la evolución de los modelos, se tomaron en cuenta los medios de representación (Lesh y Doerr, 2003, p. 12; Aragón, Oliva, y Navarrete, 2013) y para las capacidades desarrolladas se consideraron tanto las relacionadas con la modelización como con la analogía (Aragón et al., 2013). En ambos casos se hacen aportaciones propias.

Tabla 3.
Dimensiones y categorías de análisis para la MEA

<i>Dimensiones</i>	<i>Categorías</i>	<i>Descripción de códigos</i>
<i>Evolución de modelos explicativos de los alumnos</i>	Verbal (Ve)	Explican oralmente cómo se mueve el mecanismo.
	Simbólico modal (SiMo)	Dibujan el prototipo y plasman señales para indicar el movimiento.
	Simbólico amodal (SiA)	Matematizan la situación buscando representaciones adecuadas tales como organizaciones tabulares de los datos derivados de la experimentación, lo cual les permite encontrar relaciones.
<i>Capacidades desarrolladas para el proceso de modelización</i>	Aplicación (CaAp)	Aplican conocimientos previos como la utilización de transportador y regla.
	Revisión y relación (CaRev)	Revisan sus resultados al corroborar medidas. Establecen relaciones entre los elementos.
	Reconstrucción o ajuste de modelos (CaReCo)	Revaloran su procedimiento para saber si es apto para dar respuesta a lo solicitado (comparan su modelo con el de otros).
<i>Capacidades del pensamiento analógico</i>	Aplicación (ApAn)	Aplican conocimientos previos informales para hacer analogías. Usan su brazo para explicar los movimientos que efectúa el prototipo.
	Revisión (RevAn)	Revisan el mecanismo mediante las analogías.
	Participación en (re) construcción (ReCoAn)	Reconstruyen sus modelos basados en analogías.
	Creación (CeAn)	Crean respuestas alternativas con base en analogías para dar mejores resultados.

Fuente: Elaborada con base en Aragón et al. (2013); Lesh y Doerr (2003).

Cabe mencionar que en la evolución de los modelos puede haber categorías intermedias o de transición (se denotarán con *).

RESULTADOS

Se presentan los resultados del diseño y la implementación en el aula organizados de acuerdo con las fases de la metodología.

Fase 1. Preparación para el experimento. Se diseñó la MEA (figura 3), en la cual, los alumnos utilizarían el set (figura 2). Con base en los planes de estudio de primaria (SEP, 2016; 2018), se anticiparon posibles soluciones que pudieran surgir al implementarla con los alumnos, estas se encaminaron a identificar los niveles correspondientes en la graduación de las jeringas con relación a las posiciones del brazo (figura 1) y utilizar esta información (distancias y ángulos) para describir el proceso para colocar cada cubo en su correspondiente cesto. En las actividades se esperaba que los alumnos pudieran utilizar e integrar su conocimiento previo de medición y surgiera la necesidad de extenderlo o bien construir conocimiento sobre: medición de ángulos y distancias, triángulos, circunferencia y observaciones sobre el funcionamiento del mecanismo utilizado en el brazo (tabla 1).

Con la manipulación del prototipo se esperaba que los alumnos, identificaran los elementos dependientes e independientes del prototipo (figura 1). Además, con los datos proporcionados, se pretendía que pudieran determinar y explicar una manera de aproximar los movimientos y alcance del brazo, al aplicar el conocimiento derivado de la interacción en una actividad contextualizada en la vida real que podría despertar su interés, así como en el desarrollo de tecnologías que facilitan el trabajo físico.

A partir del resultado del experimento, se planteó un escenario donde los alumnos relacionaran la cantidad de fluido con el movimiento para que, con aproximaciones sucesivas, pudieran extraer información cuantitativa relevante que les permitiera iniciar con su matematización, además del entendimiento del mecanismo. En este proceso, de manera reiterada estarían en situaciones del tipo: ¿qué pasaría si...? Esto los llevaría a delimitar el espacio de acción del brazo y a realizar las hipótesis y observaciones necesarias para comunicar los pasos en su carta.

Fase 2. Experimentar para apoyar el aprendizaje. La implementación fue en tres módulos de 45 minutos cada uno: 1) se propuso una AC para mover con ayuda del prototipo, un cubo desde un punto inicial hasta encestarlo en un contenedor; 2) la MEA; 3) la concentración de ideas principales y comunicación de resultados.

Resultados de la experimentación. Módulo 1. El grupo fue dividido en siete equipos: uno de cuatro alumnos y seis conformados por tres. El equipo 7 requirió de una maestra de apoyo dadas sus características: un niño con debilidad visual (*J*) y dos niñas con problemas de atención (*L* y *R*). Con cuatro prototipos se inició la AC: uno utilizado de manera exclusiva por el equipo 7 y los demás compartidos por los equipos, tomando turnos. Fue necesario dedicarle más tiempo al equipo 7 para la exploración y para evaluar en qué medida se favorece la inclusión. Esto se detalla enseguida.

Equipo 7. *J*, *L* y *R* hicieron una exploración libre. La maestra realizó preguntas encaminadas a que entendieran el funcionamiento y el área de trabajo del prototipo. Fue notable que mostraron su interés, manipulando y observando (tabla 4).

Tabla 4.
Equipo 7, módulo 1

<i>Momento</i>	<i>Categoría y descripción</i>
Exploración	[Ve] La maestra dirige las manos de <i>J</i> a los elementos del brazo mientras las niñas observan. Luego, solicita a <i>L</i> y <i>R</i> que se unan accionando las palancas de los controles y, mientras exploran, le explican a <i>J</i> lo que hacen. Él siente el movimiento de las piezas.
	[CeAn] Con acciones en conjunto <i>J</i> comprende lo que está tocando: «¡Es una máquina!».
	[CaRev] <i>J</i> identifica que los actuadores del mecanismo son jeringas.
Explicación de la AC (descripción de la MEA) y segundo reconocimiento	[Ve] Tras la explicación del juego, <i>J</i> mostró interés por volver a reconocer las piezas, al ubicarlas en el set de juego y acercarlas a su rostro, para identificar alguna otra característica del objeto.
	[SiMo] <i>J</i> distinguía colores, pero el tacto le revelaba las formas.
	[Ve/CaRev] <i>L</i> y <i>R</i> apoyaron con acciones o preguntas referentes al objeto mientras <i>J</i> intentaba ver el mecanismo; <i>L</i> accionó la palanca que permitía el flujo del líquido en la manguera y específica que <i>J</i> estaba analizando y preguntó: «¿Sentiste eso?».
	[ReAn] <i>J</i> sintió lo que había pasado, pero no podía observar el movimiento en el brazo, solo podía ver el color del líquido.
	[ReCoAn] <i>R</i> tomó una de las manos de <i>J</i> y la dirigió a la parte del brazo que se movía, mientras su otra mano mantuvo sujetando la manguera con los dedos. <i>L</i> volvió a accionar la palanca.
	[Ve/CaRev] <i>J</i> tenía su rostro muy cerca de la manguera para poder verla y expresó asombro: «La manguera verde mueve el brazo de arriba para abajo».
AC	[SiMo] La maestra sugirió iniciar el reto y, mientras <i>R</i> y <i>L</i> llevaban a cabo la tarea de colocar los cubos en los cestos, <i>J</i> podía seguir observando con sus manos y acercando su rostro a las piezas, para entender los movimientos requeridos y dibujarlos en el aire estimando distancias.
	[RevAn] <i>J</i> descubrió algunos movimientos gracias a su tacto y logró conocer la trayectoria de la pinza y esquivar movimientos.
	[CaRev] <i>J</i> encestó el último cubo con apoyo de <i>R</i> y <i>L</i> .

Fue notorio el interés situado en la tarea y la satisfacción del logro en colaboración aportando a los ejes y campos formativos (tabla 1).

Seis equipos restantes. Mostraron actitud positiva desde la exploración del mecanismo. Para facilitar el lenguaje, los alumnos nombraron cada parte del prototipo (figura 1), tomando como referencia el brazo humano: mano a la pinza, muñeca y codo a las articulaciones, antebrazo y parte alta (ApAn). También se motivó a establecer un lenguaje común al identificar el punto medio de la base como la parte central del frente de esta (ApAn).

El desarrollo en esta parte fue similar al del equipo 7, quienes podían explicar el funcionamiento del brazo (Ve) y reconocían las relaciones (CaRev) entre los elementos.

Resultados de la experimentación. Módulo 2. Se conformaron seis equipos (integrando a *J*, *L* y *R* en otro equipo) y se obtuvo cuatro equipos de cuatro integrantes y dos de tres; además se contó con un prototipo. Se dio lectura detallada de la MEA (figura 3). Los niños no reconocían lo que era el diámetro y la maestra guía, a través de ejemplos y dibujos (SiMo), construyó tal definición en colectivo basándose en el radio del círculo: *el diámetro es el doble del radio* (CaRev).

Para entender cómo los alumnos determinaron el área de trabajo del brazo se presenta el siguiente diálogo entre la maestra guía y uno de los equipos con el prototipo (Ve/SiA):

- | | |
|---|---|
| [1] Maestra: ¿Qué hace la jeringa roja? | [5] M: ¿Cuánto giró para llegar al cesto de plástico? |
| [2] Niña 1: gira [ángulo C, figura 1] | [6] N1: 80° |
| [3] M: ¿Cuánto gira? | [7] ¿y para el [cesto] de papel? |
| [4] N2: 80° | [8] Niños: 30° [en coro] |
- [Muestra inicio y fin del giro C, figura 1]

Los alumnos, con ayuda del transportador, establecieron con dificultad un punto y una línea de referencia y al medir los ángulos *A*, *B* y *C* (figura 1), comentaron que «serían las mismas que en el brazo de Don Ramón», cuya medida es «real». Observaron que las longitudes entre dos puntos sí variaban, ya que el prototipo «tiene sus medidas en *cm* y en el brazo real en *m*» (SiA). Para las longitudes utilizaron la regla, sin contar los decimales. El uso de la regla y transportador para medir distancias y ángulos detonó la necesidad de utilizar unidades de medida correspondientes para describir los movimientos (*SiMo-SiA), cumpliendo los propósitos educativos (tabla 1). Surgió la idea de relacionar el líquido de las jeringas con el movimiento que realizaba el mecanismo (CaRev) y, a su vez, compararlo con sus brazos y su intención (ApAn). Esto se observó en otro episodio en el cual utilizaron información cualitativa derivada de la experiencia de manipulación del brazo: al efectuar un movimiento en alguna jeringa, se preguntan: ¿qué pasa cuando está llena y cuando está vacía la jeringa? o ¿qué indica un determinado nivel del fluido en alguna jeringa? Sus respuestas pasan de descripciones verbales (Ve) a descripciones con dibujos (SiMo). Los alumnos estuvieron desarrollando ideas, a partir del volumen de agua contenido en las jeringas y color del líquido de cada una, así como tomando medidas e identificando qué parte del brazo dependía del control de cada jeringa (SiA), con ello, se aproximaron a la idea de variables dependientes e independientes asociadas a un pensamiento variacional temprano (SiA). Este conocimiento no aparece en 4.º de primaria, pero es posible desarrollarlo con actividades experimentales.

Utilizaron las medidas reales del prototipo con el que contaba; por tal motivo no hubo variabilidad, luego indicaron la medida del ángulo (SiA), lo que mostró que tienden a pensar que *los ángulos A, B y C* (figura 1) *se mantenían igual en un brazo de dimensiones a gran escala* (CaReCo). Dieron muestra de identificar el ángulo como un invariante geométrico en la proporcionalidad (SiMo).

El tiempo fue insuficiente para escribir las cartas, por ello se les pidió que las hicieran para exponer en el módulo 3 su idea para resolver la situación.

Resultados de la experimentación. Módulo 3. La conformación de los equipos fue igual que en el módulo 2. Los niños expresaron dificultades para realizar la carta, por ello la maestra asignó 10 minutos

para apoyarlos en esta transición, y retomó aspectos del módulo 2 que permitieron recordar y relacionar la experiencia (CaReCo). Realizó preguntas como: «¿cuánto tenía que girar el brazo para llegar al cesto?, ¿cuál era la altura máxima que alcanzaba el brazo?»; los alumnos contestaron acertadamente en cuanto a las medidas que tomaron (CaRev). Además, les preguntó: «¿creen que con eso sea suficiente para que Don Ramón pueda entender cómo mover el brazo y colocar los cubos de basura?». Los niños contestaron que «desde la altura máxima puede soltar cada cubo» (SiA). La guía, con la intención de que pudieran visualizar en el pizarrón los datos que necesitaban para escribir la carta, reprodujo el dibujo del brazo, acompañándolo con toda la información que los niños iban brindando (RevAn). Lo anterior facilitó la tarea y lograron escribir la carta (figura 4) en equipo (ReCoAn).

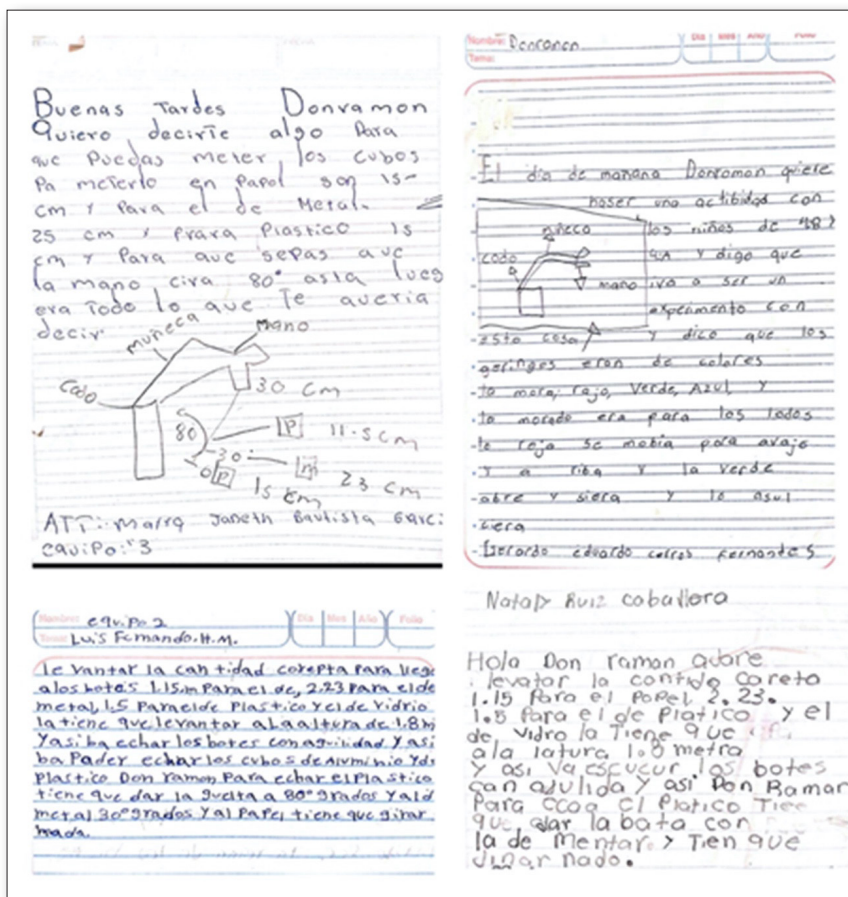


Fig. 4. Algunas cartas de los alumnos.

Al revisar las cartas de los seis equipos (figura 4), se observó que en cinco (excepto el equipo 4) los alumnos transitan de una descripción cualitativa a una cuantitativa identificando los datos relevantes y cuantificando medidas del prototipo. El equipo 4 trató de señalar que los movimientos se efectuaban con los colores del líquido de las jeringas y su alcance de acuerdo con el volumen contenido. La tabla 5 resume los logros.

Tabla 5.
Evidencias de los equipos en la MEA

Categoría	Equipo	Descripción
SiA/CaAp/CapRev	2	Ponen en juego una representación mental para transformar las medidas del prototipo (cm) a medidas reales (m) y plantean su procedimiento en m, además miden el «giro» en grados e identifican que, para lograr una acción concreta se requerían acciones concretas, por ejemplo, elevar la pinza 1,5 m y girar 80°.
SiMo	5,3	Retoman la representación pictórica del prototipo al presentar dificultades para plantear una solución.
ReCoAn / SiA	1,5,6	Reconocen medidas de altura (<i>cm</i>) y «giro» (<i>grados</i>) haciendo distinción entre ellas y utilizando las magnitudes de manera correcta.
*SiMo-SiA	5	Reconocen la acción de «no girar» como 0 grados.
*SiMo-SiA/CaRev	4	Asocian el fluido en las jeringas con el movimiento, por ejemplo, identifican de forma imprecisa que cierta cantidad de fluido provoca una magnitud determinada en el ángulo C (figura 1).

Fase 3. Análisis retrospectivo. Se revisan aspectos relevantes durante el diseño, implementación y análisis de la actividad.

Observaciones al prototipo. La construcción manual de los prototipos implicó pequeñas diferencias entre ellos: la secuencia de colores utilizados para el líquido y las unidades de medida. Por ello, se buscaron puntos de referencia que fueran alcanzables para todos: hablar de «aproximaciones» y posición numerada de las jeringas del panel de control. La AC (centrada en el juego) propició un ambiente relajado que permitió a los niños expresar sus emociones, esforzarse por cumplir el reto y observar el mecanismo (tablas 4 y 5).

En la anticipación de resultados (*Fase 1. Preparación para el experimento*), la primera idea era que los niños, por medio de la graduación de las jeringas (ml), logaran expresar las medidas del nivel del líquido en la jeringa, pero esto solo se observó en el equipo 3. Ellos identificaron medio giro del prototipo con la mitad del nivel de líquido en la jeringa y exploraron algunos giros asociando medidas de ángulos con ml, pero sin el tiempo suficiente para lograr el registro de datos que les permitieran explorar patrones de variación. Otra idea anticipó que surgirían los ángulos *A*, *B* y *C* (figura 1), pero solo tomaron en cuenta el *C* y la altura a la que debía estar la pinza para poder depositar la basura.

Observaciones y propuesta de rediseño. La actividad fue incluyente para niños con necesidades especiales. Pudieron explorar y descubrir el funcionamiento del brazo y reconocer la dependencia de sus elementos; lograron encontrar las medidas para determinar su alcance; y, en suma, pudieron integrarse y comprometerse con la tarea.

Algunos alumnos desconocían conceptos útiles que se revisaron en grupo: diámetro de un círculo o que el brazo podía crecer manteniendo su forma y funcionamiento. Para informar un rediseño de la MEA, desde las competencias para 4.º de primaria, se considera pertinente propiciar que realicen sus registros de manera ordenada para que puedan describir posiciones y alturas de cada cesto, así como utilizar primero, cestos en forma de prismas rectangulares y luego pasar a los cilindros, pues aún no están familiarizados con propiedades del círculo.

Para Doerr (2016) las actividades anteriores son insuficientes para formalizar conocimientos, pues varias ideas se quedan sin explorar. Por ello, en esta experiencia se propuso una *actividad de exploración de modelos* (AEM). Se exploró con alumnos a establecer relaciones entre la cantidad de líquido en la jeringa con la medición del movimiento provocado para introducir ideas tempranas de variación.

Actividad de exploración de modelos. La AEM pretendía indagar cómo dos alumnas (Ana y Eli), relacionarían el líquido de la jeringa con el movimiento del brazo. Ellas notaron que el prototipo (figura 1) tenía restricciones físicas que le impedían tener las jeringas completamente vacías (0 ml) o llenas (12 ml).

Comenzaron accionando la jeringa verde que controlaba la apertura del ángulo B (figura 1), la altura de la pinza, y observaron que con 1 ml de líquido en la jeringa se alcanzaba la altura de 34 cm en relación con el piso. Al aumentar el volumen a 2 ml la pinza se posicionaba a 30 cm del piso, y así sucesivamente, hasta alcanzar un volumen de 8 ml, cuando la pinza topaba en el suelo (CaAp/CaRev). La maestra motivó la construcción de la tabla 5 con los datos para documentar el volumen de líquido y la altura de la pinza para cada caso. Continuaron su observación con la jeringa morada (figura 1), encargada de modificar el ángulo C. Trataron de replicar el ejercicio anterior, pero notaron una trayectoria distinta e identificaron que la unidad de medición para la rotación era el ángulo, por ello decidieron usar un transportador (CaAp), sin embargo, el vértice no era evidente, ni las líneas para marcar el ángulo; esto las introduce en una dinámica de observar, buscar tales elementos y discutir si son los adecuados (RevAn).

Después de intentos fallidos, la maestra sugiere analizar el movimiento que causaba la jeringa roja (ángulo A, figura 1). Al contrario que el caso anterior, Ana y Eli no dudaron del lugar donde debían colocar el transportador para medir el ángulo (CaRev), sin embargo, el ancho del eje representó una dificultad para medirlo. Acordaron dibujar una línea en el cartón del brazo para facilitarlo (SiA) y juntas lograron medirlo (figura 4); Ana expresó que encontró un patrón: «con cada ml que aumenta en la jeringa el brazo alcanza 5 grados más» (CaAp/SiA). Enseguida, se propusieron verificar diferentes valores e incluso hicieron pronósticos: «con 13 ml pueden llegar hasta 115°», pero se dieron cuenta de que la capacidad de la jeringa (12 ml) era limitada (CaReCo).

La exploración de la jeringa roja facilitó identificar el movimiento de la jeringa morada y determinar el vértice. Al separar g de $e3$ (figura 1) comprobaron el lugar de ensamble, lo que les permitió medir el ángulo C (CaRev/CaReCo) y registrar datos (tabla 6).

Encontrar la relación entre el volumen de líquido en las jeringas y el movimiento (CaRev) y lograr describir y expresar un patrón de crecimiento o decrecimiento permitieron a las niñas reconocer la posible progresión aritmética relacionada con la variación lineal, incluso llegaron a especular sobre cuál sería la siguiente altura/apertura (RevAn). Durante el proceso identificaron unidades de medida distintas y lograron acuerdos que les permitieron reconocer conceptos como vértice, y que fueron construyendo al identificarlos en la estructura (SiA).

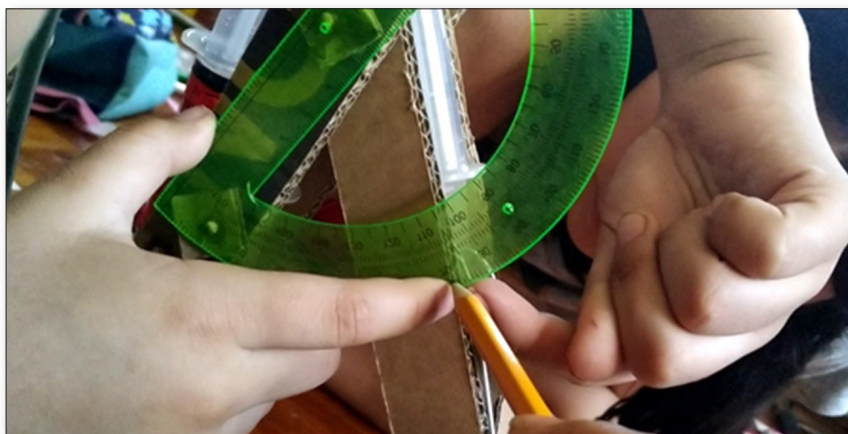


Fig. 5. Alcance del brazo en grados.

En la tabla 6 se observan las anotaciones en correspondencia con unidades de medida. El registro no consideró la pinza puesto que «solo abre y cierra», es decir, es una variable discreta con dos estados (SiA).

Tabla 6.
Alcances del brazo hidráulico

Ángulo <i>B</i> (verde)		Ángulo <i>C</i> (morada)		Ángulo <i>A</i> (roja)	
MI	Cm	MI	Grados	MI	Grados
1	34	1	40	1	
2	30	2	45	2	40
3	25	3	50	3	50
4	20,5	4	55	4	60
5	16,5	5	60	5	70
6	11,5	6	65	6	80
7	8	7	70	7	85
8	4	8	75	8	90
		9	80	9	95
		10	85	10	100
		11	90	11	105
				12	110

Fuente: Propiciada por el docente y completada por las alumnas.

La tabla 6 muestra la variación lineal del ángulo *C* que Ana y Eli identifican como «un patrón» en el comportamiento de los datos. También identificaron que el ángulo *A* se inicia con un patrón, pero luego cambió la razón, lo que interpretaron como un comportamiento distinto al del ángulo *C* (SiA), es decir, la variación es no lineal y solo lograron identificar que ese movimiento es un semicírculo (ApAn). Lo sucedido genera expectativas para reproducir las tareas, a fin de provocar nociones como variables dependientes e independientes relacionadas con principios de física como *acción-reacción*, identificar relaciones y patrones de cambio.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De manera similar a los resultados expuestos por Aragón (2013) y Aragón et al. (2013) en el nivel secundaria, se pudo observar una notable vinculación entre el desarrollo de modelos y las analogías en contextos interdisciplinarios, en este caso con alumnos de primaria.

Con respecto a las aportaciones curriculares de la actividad (tabla 1), en el campo formativo se puede decir que los alumnos:

1. Fueron capaces de redactar cartas formales a un «cliente» para comunicar su recomendación en la resolución del problema.
2. Pusieron de manifiesto la ubicación de objetos desde puntos referenciales. Para ello, pudieron cuantificar la capacidad de las jeringas (ml), los ángulos de giro (°) y la medición de distancias (cm y m). Lograron encontrar patrones en progresión aritmética que puede apoyar la introducción de la noción de proporcionalidad, al profundizar en los procesos de cambio asociados al

- movimiento de las partes del mecanismo en una correspondencia dependiente de la cantidad de líquido de las jeringas.
3. Lograron verbalizar los efectos de la fuerza inyectada en las jeringas para provocar el movimiento de las partes del brazo en relación con la distancia y el giro. La manipulación del prototipo representó un reto para los alumnos, quienes se vieron en la necesidad de regular sus habilidades motrices para sincronizar su fuerza con el movimiento deseado. Incluso en las primeras exploraciones notaron que debían cuidar sus movimientos para no dañar los prototipos y concluir satisfactoriamente el juego.
 4. Mostraron colaboración, actitud positiva, compañerismo y respeto, lo que favoreció la inclusión en todos los equipos (especialmente se detalló en el equipo 7). Los elementos propuestos ayudaron a que los alumnos pusieran en juego estrategias individuales y colectivas ante el reto, al mismo tiempo que favorecieron su interacción motriz.

El diseño cumple con los principios (tabla 2), al lograr que los alumnos construyeran un modelo generalizable a otras situaciones, y provocar un entendimiento matemático al estar situado en un contexto significativo en el que pudieron experimentar (Lesh et al., 2003; Sevinc y Lesh, 2018). En la AEM se obtuvieron estructuras matemáticas, en varias representaciones, y en casos particulares algunos equipos llegaron a modelos similares. Se considera que la secuencia es pertinente y está alineada con los planes de estudio (SEP, 2016; 2018). Gracias al bajo costo de los materiales, puede adoptarse en escuelas con limitación de recursos y con la necesidad de integrar a niños con barreras para el aprendizaje, dada la capacidad experimental. Además, apoya la comprensión lectora y comunicación de ideas, pues se requiere un mayor entendimiento para transmitir en una carta su solución, aún y cuando al principio puede ser complicado habituar a los alumnos.

Para que la experiencia pueda replicarse por otros docentes, se consideró pertinente realizar un análisis mediante las dimensiones de la tabla 3, que permitió observar las analogías recurrentes como un recurso para apoyar la modelización, al igual que reportan Aragón (2013) y Aragón et al. (2013). Por ello se puede decir que existe una vinculación entre el desarrollo de ambas competencias, dada la analogía natural que se ha podido establecer entre los mecanismos del brazo hidráulico y del humano. Al igual que los tipos de modelos (verbales, simbólico modal y simbólico amodal) exhibidos y el tránsito entre ellos. La MEA motivó a los alumnos al plantear una situación cercana y comprensible para ellos, permitiendo analogías para que pudieran extraer información de la situación, descartar aquella no relevante y transitar hacia lo cuantitativo para generar modelos que los ayudaron a entender qué estaba pasando.

La elección de la MEA fue idónea para introducir la modelización en el aula, tal y como lo sugieren Gallart et al. (2019). Los alumnos resolvieron la situación desde un conocimiento informal (adquirido fuera del aula con base en experiencias y que incluía analogías respecto a su brazo) y haciendo uso de las matemáticas que tenían a mano para la medición. Ellos decidieron cómo manipular el brazo y se centraron en elementos que permitieron matematizar la situación. Se les observó involucrados e interesados sin estar agobiados por tener que llegar a una respuesta esperada, debido a la multiplicidad de respuestas apropiadas (Lesh y Doerr, 2003). Sin embargo, hubo desconcierto al no haber un ejemplo previo o ciertos pasos que seguir para llegar a describir el área de trabajo del brazo y realizar las recomendaciones al cliente que las demandaba. Ello los impulsó a involucrarse y ver con detalle qué información pudieran extraer para abrir las posibilidades de solución y alejarlos de la idea de que en matemáticas se siguen instrucciones para llegar a una única respuesta apropiada.

Barquero et al. (2014) sugieren estudiar las condiciones y restricciones que impiden que la modelización pueda desarrollarse en el aula. Por ello, se considera prioritario un acompañamiento al docente, que debe seguir e incentivar el pensamiento del alumno y no imponer el suyo. En esta experiencia la

maestra titular solo mostró interés por las mediciones de distancias y de ángulos, sin embargo, temas como variación y principios físicos de fluidos pasaron inadvertidos, posiblemente porque no aparecen de manera explícita en el programa. Esto limitó la exploración con todo el grupo y no se pudieron extender ideas asociadas al pensamiento variacional que habían surgido. Para Fernández et al. (2017), en estas actividades se produce una progresión de los modelos iniciales de los alumnos hacia los modelos pretendidos en la escuela; es necesario apoyar al docente para: identificar las ideas fundamentales y sistemas conceptuales que pueden surgir; anticipar las estrategias que podrían aplicar los alumnos en colaboración; trazar conexiones con una posible solución, fomentando la fluidez entre diversas representaciones, para luego crear un ambiente de debate donde aprendan mientras explican y justifican su modelo a otros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aragón, M. M. (2013). Aportación de la enseñanza con analogías al desarrollo del pensamiento modelizador de los alumnos acerca del cambio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 282-283.
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n2.1111>
- Aragón, M. M., Oliva, J. M. y Navarrete, A. (2013). Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogías. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 9-30.
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n2.832>
- Bakker, A. y van Eerde, D. (2015). An introduction to design-based research with an example from statistics education. En A. Bikner, C. Knipping y N. Presmeg, *Approaches to Qualitative Research in Mathematics Education* (pp. 429-466). Springer.
- Barquero, B., Bosch, M. y Gascón, J. (2014). Incidencia del «aplicacionismo» en la integración de la modelización matemática en la enseñanza universitaria de las ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 83-100.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.933>
- Bransford, J. D., Brown, A. L. y Cocking, R. R. (1999). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Camarena, P. (2017). Didáctica de la matemática en contexto. *Educação Matemática Pesquisa*, 19(2), 1-26.
<https://doi.org/10.23925/1983-3156.2017v19i2p1-26>
- Chacón, M. A., Chacón, C. T. y Alcedo, Y. A. (2012). Los proyectos de aprendizaje interdisciplinarios en la formación docente. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 17(54), 877-902.
- Cobb, P. y Gravemeijer, K. (2008). Experimenting to Support and Understand Learning Processes. En A. E. Kelly, R. A. Lesh y J. Y Baek (Eds.), *Handbook of Design Research Methods in Education: Innovations in Science* (pp. 68-95). Londres: Routledge.
- Doerr, H. M. (2016). Designing Sequences of Model Development Tasks. En C. R. Hirsch y A. R. McDuffie, *Mathematical Modeling and Modeling Mathematics* (pp. 197-2016). Reston VA: NCTM.
- Duschl, R. y Grandy, R. (2012). Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. *Science & Educación*, 22, 2109-2139.
- Fernández, A., Sesto, V. y García-Rodeja, I. (2017). Modelos mentales de los estudiantes de secundaria sobre el suelo. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 127-145.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2217>

- Gallart, C., Ferrando, I. y García-Raffi, L. (2019). Modelización matemática en la educación secundaria: manual de uso. *Modelling in Science Education and Learning*, 12(1), 71-86.
<https://doi.org/10.4995/msel.2019.10955>
- Lesh, R., Cramer, K., Doerr, H. M., Post, T. y Zawojewski, J. S. (2003). Model Development Sequences. En R. Lesh y H. M. Doerr (Eds.), *Beyond Constructivism. Models and Modeling Perspectives on Mathematics Problem Solving, Learning, and Teaching* (pp. 35-58). Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lesh, R. y Doerr, H. M. (2003). Foundations of a Models and Modeling Perspective on Mathematics Teaching, Learning, and Problem Solving. En: R. Lesh y H. Doerr (Eds.), *Beyond Constructivism. Models and Modeling Perspectives on Mathematics Problem Solving, Learning, and Teaching* (pp. 3-34). Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- National Council of Teachers of Mathematics (2000). *Principles and Standards for School Mathematics*. Reston: NCTM.
- OCDE (2017). *Marco de Evaluación y de Análisis de PISA para el Desarrollo: Lectura, matemáticas y ciencias*. París: OECD Publishing. https://www.oecd.org/pisa/aboutpisa/ebook%20-%20PISA-D%20Framework_PRELIMINARY%20version_SPANISH.pdf
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 5-24.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Secretaría de Educación Pública (2016). *Propuesta curricular para la educación obligatoria 2016*. <https://www.sep.gob.mx/work/models/sep1/Resource/7077/1/images/Propuesta%20Curricular%20Final%20Completo.pdf>
- SEP (2018). *Aprendizajes clave para la educación integral. Plan y programas de estudio la educación básica*. México: SEP.
- Sevinc, S. y Lesh, R. (2018). Training mathematics teachers for realistic math problems: a case of modeling-based teacher education courses. *ZDM Mathematics Education*, 50, 301-314.
<https://doi.org/10.1007/s11858-017-0898-9>

Mathematical modeling in elementary education: the hydraulic arm

Elisa Salcedo Talamantes, Angelina Alvarado Monroy, María José Aviña González
Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Juárez del Estado de Durango
elisa.salcedo@ujed.mx, aalvarado@ujed.mx, mjavina@ujed.mx

Mathematics education trend in K12 level is towards the construction of integrated knowledge that allows students to face real situations close to them to explain, interpret, mathematize and communicate their models (OECD, 2017). A question therefore emerges: how to promote student-centered learning in elementary education through modeling?

The teaching experiment reported considers that new knowledge comes from experiences and interactions with situations in relevant contexts. It is built on the child's prior knowledge (formal and informal), processed when the student interprets the situation and this new knowledge rises supported by interactions between peers (Bransford, Brown & Cocking, 1999), and in model-based scientific practices (Duschl & Grandy, 2012).

Student's developed competences in modeling require scientific practices examples focused on modeling that may encourage teachers to implement them early in their classroom, eliciting student's participation, according to those experiences stated in the educational curriculum (Gallart, Ferrando Palomares & García Raffi, 2019).

This paper presents an experimental study to design and explore the potential of a modeling eliciting activity (MEA) in elementary school with Mexican students enrolled in fourth grade. The framework integrates the models and modeling perspective [M&M] (Lesh & Doerr, 2003) and design-based research methodology (Bakker & van Eerde, 2015), which were used for MEA development and refinement. These go through iterative cycles of conception, observation, analysis, and redesign. The sequence design integrates a warm-up activity and the MEA. The first one included the interaction and manipulation of a hydraulic arm prototype, whose purpose was to facilitate the determination of its workspace. The MEA aims to incite the construction and integration of mathematical contents, stimulating the development of students' modeling competences, and, at the same time, attempt to achieve the curriculum objectives.

The MEA proposes a situation where a hydraulic arm helps to classify recyclable waste and, in order to improve the process, it requires to describe the space where the mechanism operates. The context may interest students since it allows them to play and experiment with a prototype. Besides motivating them to look for different representations of their models (including analogies from their referents), it provides them with opportunities to evaluate the quality of their responses from the experimentation (Aragón, 2013; Lesh & Doerr, 2003; Sevinc & Lesh, 2018). This is useful in the process of achieving didactic objectives aimed at the understanding of the mechanism operation and students' measurement notions to describe space derived from the observation and experimentation with the prototype.

The result of implementation (analyzed evidence from student's productions) shows their understanding of the operation of the mechanism and their description of its workspace. In addition, they show the ability to estimate angles and distances measurement. Some students went further by building great idea to approach the key knowledge around linear variation. This concept is formally addressed in middle school in Mexico.

The design accomplishes M&M principles by getting students to build a generalizable model to other situations and to initiate a mathematical understanding by being situated in a meaningful context in which they experiment (Lesh et al., 2003). The mathematical structures obtained were explored in various representations, in particular cases, some teams reached similar models. The sequence is relevant and it is aligned with the Mexican curriculum (SEP, 2016; 2017). It can be adopted in schools with limited resources and with the need to integrate children with learning barriers, once given the experimental capacity. Also, it supports reading comprehension and communication of ideas, since a greater understanding is required to convey its solution in a letter.

