

---

# ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

REVISTA DE INVESTIGACION Y EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS

vol. 39, n. 2, junio 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 DIDÀCTICA DE LES MATEMÀTICA, FACULTAT DE MAGISTERIO, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA • José Carrillo Yáñez, UNIVERSIDAD DE HUELVA FACULTAD DE EDUCACIÓN, PSICOLOGÍA Y CIENCIAS DEL DEPORTE DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICAS INTEGRADAS • 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, EPISTEMOLOGIE 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 • Rosaría Justí, DEPARTAMENTO DE QUÍMICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS,

BRASIL • Isabel Martins, NÚCLEO DE TECNOLOGIA EDUCACIONAL PARA A SAÚDE, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (NUTES/UFRJ). BRASIL • Vicente Mellado Jiménez, DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES Y MATEMÁTICAS, UNIVERSIDADE 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, UNIVERSIDADE 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+	ERIHPLUS	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](mailto: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

## INVESTIGACIONES DIDÁCTICAS

Dificultades de aprendizaje del modelo de sonido: una revisión de la literatura, <i>Arantza Rico, Aritz Ruiz-González, Oier Azula, Jenaro Guisasola</i> .....	5
¿Varía la masa de la Tierra? Modelizando a partir de un experimento mental, <i>J. M.<sup>a</sup> Oliva, M. M. Aragón Méndez, F. Soto Mancera, J. J. Vicente Martorell, J. Matos Delgado, R. Marín Barrios, R. Franco-Mariscal</i> .....	25
Tendencias investigadoras en enseñanza de las ciencias en revistas españolas 2014-2018, <i>David Aguilera, José Miguel Vilchez-González, Javier Carrillo-Rosúa, F. Javier Perales-Palacios</i> .....	45
Aprendizaje de la equidistancia a través de la variación: un estudio con niños de primaria, <i>Ivonne Twiggy Sandoval Cáceres, Leonor Camargo Uribe</i> .....	63
El libro de texto universitario de ciencias en la formación docente, <i>Carla Inés Maturano, Claudia Alejandra Mazzitelli, Ana María Guirado</i> .....	83
El aprendizaje de la reacción química:el uso de modelos en el laboratorio, <i>F. Reyes-Cárdenas, B. Ruiz-Herrera, M. Llano-Lomas, P. Lechuga-Urbe, M. Mena-Zepeda</i> ..	103
Trabajo matemático de un profesor basado en tareas y ejemplos propuestos para la enseñanza, <i>C. Henríquez Rivas, R. Ponce, J. Carrillo Yáñez, N. Climent, G. Espinoza-Vásquez</i> .....	123
Superación de dificultades en el aprendizaje de la ecuación de Bernoulli con experimentos discrepantes, <i>Luis Hernando Barbosa</i> .....	143

## INNOVACIONES DIDÁCTICAS

Los huertos escolares y su potencial como innovación educativa, <i>Tatiane de Jesus Marques Souza, Mamen Cuéllar Padilla</i> .....	163
Una secuencia de actividades para desarrollar la visualización usando un videojuego, <i>Lluís Albarracín</i> .....	181
¿Qué suena dentro de tu cuerpo? Un proyecto sobre el corazón en Educación Infantil, <i>Beatriz Mazas, Esther Cascarosa, Ester Mateo</i> .....	201
Construyendo conceptos sobre electricidad en infantil mediante actividades de indagación, <i>Nuria Calo Mosquera, Isabel García-Rodeja Gayoso, Vanessa Sesto Varela</i> ..	223
«Expliquem l'Albufera»: transformar una salida de campo en un proyecto interdisciplinar, <i>Enric Ortega-Torres, Vicent Moncholí Pons</i> .....	241





# Dificultades de aprendizaje del modelo de sonido: una revisión de la literatura

## Learning difficulties about the sound model: a review of the literature

Arantza Rico, Aritz Ruiz-González

*Science, Technology and Mathematics Education Research (STEMER), Departamento de Didáctica de la Matemática y las Ciencias Experimentales, Facultad de Educación y Deporte, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Vitoria-Gasteiz (España).*  
arantza.rico@ehu.eus, aritz.ruiz@ehu.eus

Oier Azula

*IES Artaza Romo BHI, Amaia Etorbidea, 28, 48940 Leioa (España).*  
irbiooierazula@artazaromo.com

Jenaro Guisasola

*Science, Technology and Mathematics Education Research (STEMER), Departamento de Física Aplicada I, Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Donostia (España).*  
jenaro.guisasola@ehu.eus

**RESUMEN** • El aprendizaje del modelo científico del sonido (MCS) está presente en el currículum de ciencias de todos los niveles educativos y es un componente crítico de la alfabetización científica. Este trabajo presenta una revisión sistemática sobre la comprensión de los estudiantes del MCS en torno a tres ideas claves que emergen del análisis epistemológico: naturaleza del sonido y sus propiedades, propagación del sonido y modelo de onda. Cabe destacar que, independientemente de la etapa educativa, existe una dificultad en relacionar las propiedades intrínsecas del sonido con las magnitudes de onda y la persistencia de concepciones que atribuyen propiedades materiales al sonido. Además, no existe una clara progresión del aprendizaje sobre el MCS desde la Educación Primaria hasta los primeros años de Universidad. Finalmente, se discuten las implicaciones para la enseñanza-aprendizaje del MCS.

**PALABRAS CLAVE:** Enseñanza/aprendizaje de la física; Ondas mecánicas; Dificultades de aprendizaje; Sonido.

**ABSTRACT** • Learning the scientific model of sound (ScMS) is present in the science curriculum of all educational levels and is a critical component of scientific literacy. This paper presents a systematic review of students' understanding the ScMS around three key ideas that emerge from the epistemological analysis: nature of sound and its properties, propagation of sound and the wave model. It should be noted that, regardless of the educational stage, there is a difficulty in relating the intrinsic properties of sound to wave magnitudes and a persistence of conceptions that attribute material properties to sound. In addition, there is no clear learning progression of the ScMS from Primary Education to the early years of University. Finally, the implications for teaching and learning the ScMS are discussed.

**KEYWORDS:** Teaching/learning of physics; Mechanical waves; Learning difficulties; Sound.

Recepción: enero 2020 • Aceptación: octubre 2020 • Publicación: junio 2021

Rico, A., Ruiz-González, A., Azula, O. y Guisasola, J. (2021). Dificultades de aprendizaje del modelo de sonido: una revisión de la literatura. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 5-23.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3217>

## INTRODUCCIÓN

Los fenómenos acústicos están estrechamente relacionados con nuestra vida cotidiana y, por ello, la comprensión del modelo científico del sonido (MCS) forma parte de los currículums de ciencias desde primaria hasta la universidad (Rossing et al., 2002). Asimismo, el sonido –entendido como un fenómeno ondulatorio– puede contribuir a la comprensión de conceptos generales de la física actual (Eshach et al., 2016). Sin embargo, la transición de la comprensión del MCS, desde un punto de vista fenomenológico e interpretativo, a la comprensión, como un fenómeno ondulatorio, no parece ser trivial, ya que el alumnado de todas las etapas parece presentar dificultades para describir y conceptualizar el sonido (Eshach et al., 2016; Hrepic et al., 2010). La necesidad de información sobre las concepciones y formas de razonamiento del alumnado es particularmente necesaria en aquellas áreas del currículum que se repiten continuamente a lo largo de la enseñanza, como es el caso del MCS (Eshach, 2014). No obstante, en una revisión sobre investigación en enseñanza de la física (National Research Council, 2013), no aparece ninguna referencia respecto al sonido frente a una prevalencia de investigaciones sobre mecánica clásica, mecánica cuántica, electricidad y magnetismo. Además, las revisiones sobre la comprensión de los estudiantes sobre el MCS se limitan a una etapa educativa concreta o a un único aspecto conceptual, por ejemplo, la naturaleza del sonido (Caleon y Subramaniam, 2010), o su propagación (West y Wallin, 2013). De hecho, todavía hay dudas a la hora de establecer los diferentes niveles de complejidad del sonido y sus características desde primaria hasta la universidad. Así pues, la revisión que abordamos en este artículo sobre investigaciones de dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje del MCS puede aportar información novedosa y sistemática para el profesorado, investigadores y autores de libros de texto y diseñadores curriculares.

Según el enfoque constructivista del aprendizaje, tener en cuenta las ideas de los estudiantes es fundamental para realizar un retrato de su comprensión y permite tomar decisiones sobre el diseño del currículum y las secuencias de enseñanza (Taber, 2015). Además, las investigaciones en torno a las progresiones del aprendizaje de los estudiantes tienen en cuenta que el cambio conceptual es más un proceso gradual que un cambio repentino de ideas ingenuas a ideas científicas (von Aufschnaiter y Rogge, 2015).

La bibliografía propone, como elemento fundamental, la integración sistemática de los resultados de la investigación sobre dificultades de aprendizaje en el programa vertical de enseñanza, ya que refleja la forma en que los estudiantes progresan en la comprensión de los conceptos de ciencias fundamentales (Duschl et al., 2011). De hecho, la progresión en el aprendizaje (PA) se ha erigido como una herramienta importante desde su inclusión en las directrices de evaluación del National Research Council (2007). En este artículo tenemos en cuenta elementos relacionados con la definición de PA de Gotwals y Anderson (2015) y Duschl et al. (2011), tales como el contenido que se enseñará, el conocimiento previo de los estudiantes y lo que se espera que aprendan al final de la instrucción.

En consecuencia, el conocimiento de las concepciones de los estudiantes es una componente básica en el diseño de los programas de enseñanza y en la evaluación de la progresión de los estudiantes en la utilización y comprensión de modelos interpretativos próximos a los científicos (Guisasola, Zuza, Ametller y Gutiérrez-Berraondo, 2017; Hernández et al., 2012).

El objetivo de este trabajo de revisión es contribuir al conocimiento de las principales dificultades en el aprendizaje del MCS, a nivel introductorio, y cómo enseñarlo. Por lo tanto, las preguntas de investigación fueron:

1. ¿Qué resultados muestra la investigación en enseñanza de las ciencias sobre las dificultades de los estudiantes de Educación Primaria, Secundaria y primeros cursos de universidad en el aprendizaje del MCS?

2. A partir de este análisis de dificultades a lo largo de la enseñanza, ¿es posible identificar una progresión de aprendizaje sobre el concepto de sonido?

Este artículo, en primer lugar, describe los elementos epistemológicos que definen la estructura del MCS para un nivel educativo de física introductoria. En segundo lugar, se realiza una revisión sistemática y se agrupan los estudios revisados en torno a las tres ideas claves del sonido que emergen del análisis epistemológico previo: 1) naturaleza del sonido y sus propiedades, 2) propagación y 3) modelo de onda. Finalmente, se discuten los resultados a la luz de nuestras preguntas de investigación y se perfilan las implicaciones en la enseñanza-aprendizaje del MCS.

## ANÁLISIS EPISTEMOLÓGICO DEL SONIDO EN CURSOS INTRODUCTORIOS DE CIENCIAS

Entendemos que el análisis epistemológico considera la estructura interna del dominio científico específico para informar sobre las características epistémicas en la construcción de ese conocimiento (Chi, 2005). El resultado es un conjunto de componentes conceptuales que deben ser articulados por los estudiantes en un modelo científico (MC). Si tomamos el marco didáctico de Duit et al. (2005), conocido como «Reconstrucción Educativa», el desarrollo del MC incluye la clarificación y comprensión de los contenidos concretos del currículum, y además se toman en consideración las concepciones sobre la ciencia y los procesos de investigación científica. Aunque desde el punto de vista científico la estructura del contenido escolar es más elemental, también es más rica, ya que dicho contenido debe ponerse en contexto para que sea entendido por los estudiantes (Duit et al., 2012).

Hay un consenso en la teoría física a nivel introductorio para definir el sonido como una onda que se genera al vibrar objetos y se propaga a través de un medio de un lugar a otro (Rossing et al., 2001; Knight, 2013; Tipler y Mosca, 2005). Cromer (1981) y Vallejo et al. (2017) consideran que las vibraciones se propagan a través de un medio elástico, que transmite gradualmente un estado de compresión y rarefacción, sin transporte de materia. Como indica Tiberghien (1996), los procesos de modelización desempeñan un papel central en la comprensión de la física al relacionar descripciones de objetos y eventos en el mundo material con el mundo de las teorías y modelos. Para describir el sonido, comprender el modelo de «vibración» supone una abstracción difícil dependiendo del contexto en el que se analiza el sonido. Este modelo de «vibración» lleva a considerar otras características como el movimiento vibratorio y la onda de sonido, su transmisión, velocidad, volumen e intensidad y aislamiento (Rossing et al., 2001; Hernández et al., 2012). Además, los currículos de ciencias de EP y ES incluyen propiedades intrínsecas del sonido, como intensidad, tono y timbre, relacionándolos con otros contextos como educación musical y medio ambiente (Perales, 1997; Macho y Elejalde, 2017; RDL 126/2014, RDL 1105/2014). A pesar de su uso cotidiano, tono y timbre son conceptos complejos y difíciles de entender desde un MCS inicial. Los estudiantes suelen percibir el tono como una sensación subjetiva y no lo entienden como una combinación de frecuencias con las que se emite el sonido (Merino, 1998a). La frecuencia es una magnitud que determina el número de veces que se repite un evento en cada segundo y se mide en hercios (Hz). El timbre es una propiedad percibida por el sistema auditivo que permite distinguir dos sonidos de igual intensidad y tono. Esto significa que el timbre es la correlación subjetiva de todas las propiedades que no interfieren directamente en la intensidad y el tono del sonido, como la densidad espectral o la envoltura del sonido (Rossing et al., 2001). En este sentido, el MCS explícitamente distingue entre: *i*) amplitud y volumen, *ii*) frecuencia y tono, e indica que *iii*) al evaluar la energía acústica es necesario tener en cuenta ambas propiedades (amplitud y frecuencia) y *iv*) que la intensidad, el tono y el timbre son propiedades interdependientes (Wittmann, Steinberg y Redish, 2003).

Un aspecto fundamental en el MCS es comprender que lo que se propaga a través de un medio elástico es la vibración (Hernández, Couso y Pintó, 2011; Wittmann, 2002; Wittmann, Steinberg y Redish, 1999) y que las ondas sonoras son perturbaciones que se propagan en el aire de forma longitudinal. De este modo, las moléculas de aire se desplazan atrás y adelante en la dirección de propagación del sonido, pero se mantienen en su posición de equilibrio sin desplazarse con la onda (Rossing et al., 2001). El caso del sonido y su propagación es un ejemplo paradigmático de proceso emergente. Fazio et al. (2008) describen cómo muchos patrones del mundo natural son el resultado de la interacción de un gran número de pequeñas piezas que se combinan de modos distintos para generar el patrón a gran escala. Este mecanismo se conoce como proceso emergente. En cambio, en los procesos directos, el comportamiento de los componentes son la causa directa del patrón general de flujo como la dirección y la velocidad (Chi, 2005). En la onda humana de un estadio las personas se sientan y se levantan, pero la onda generada en el estadio se traslada en el eje transversal de modo que el movimiento de la onda es muy diferente al de sus partes constituyentes (Rossing et al., 2001).

Tras el análisis de las principales características epistemológicas del MCS, brevemente indicadas en el párrafo anterior, emergen tres ideas clave que van a guiar el análisis de la revisión sistemática de la literatura. A continuación, se exponen las ideas clave y una breve definición de estas:

1. *Naturaleza y propiedades del sonido.* El sonido se define como el evento producido por la vibración de un objeto perturbado mecánicamente por una fuente de energía. Podemos usar las tres propiedades de las vibraciones para caracterizar el sonido: la intensidad, el tono y el timbre de la vibración.
2. *Propagación del sonido.* Las vibraciones se propagan a través de un medio elástico sin transporte de materia. Se trata de un proceso emergente de transferencia de energía donde el comportamiento de las vibraciones es muy diferente al de sus partes constituyentes, ya que las partículas del medio circundante oscilan de un lado a otro sobre su posición de equilibrio.
3. *Modelo de onda.* La propagación de la vibración se modeliza mediante el concepto de onda de presión.

## METODOLOGÍA

Las revisiones sistemáticas de la literatura constituyen una herramienta rigurosa y eficiente que permite examinar la literatura científica disponible sobre un aspecto o pregunta de investigación concreta y, por tanto, hacer una síntesis de todos los resultados empíricos relativos a esa pregunta siguiendo cuatro fases: 1) definir los criterios para la búsqueda, 2) caracterizar los artículos que fundamentan la revisión, 3) dar una visión general sobre los artículos y 4) mostrar aspectos específicos de algunos estudios (Hadenfeldt et al., 2014).

### Selección de los estudios para la revisión: definición de los criterios de búsqueda

La búsqueda de publicaciones científicas se realizó en todas las bases de datos contenidas en la *Web of Science* (WoS), restringiendo la búsqueda a su colección principal, ERIC y SCOPUS. Los criterios de búsqueda y resultados obtenidos en las bases de datos de la WoS se detallan a continuación:

- a) Se aplicó el motor de búsqueda usando el campo «Topic», para los términos: 1-Sound and «Science Education» y 2-Sound and «Physics Education» sobre el título, resumen y palabras clave de las publicaciones presentes en dicha base de datos, y se limitó a publicaciones entre 1990 y 2018. Esta primera búsqueda produjo un total de 491 (primer motor de búsqueda) y 353 (segundo motor de búsqueda) resultados, respectivamente.

- b) La siguiente etapa de este proceso fue la selección de artículos cuyo título y resumen revelasen que se trataba de estudios de enseñanza/aprendizaje del sonido desde EP a EU en cursos introductorios de ciencias y tecnología. Así, el análisis del título y resumen de los 353 resultados obtenidos con el segundo motor de búsqueda nos permitió acotar la muestra a 68 publicaciones presentes en la WoS. A continuación, se restringió la lista de resultados a los artículos de investigación publicados en inglés o en español, descartando comunicaciones a congresos, capítulos de libro o manuales didácticos. Esto acotó la muestra a 32 artículos.
- c) En el análisis de la literatura seleccionada en la fase a) se siguió un proceso iterativo en el que la lista de referencias de cada artículo se utilizó para buscar nuevas referencias. Esto permitió seleccionar un total de 13 artículos científicos más.

La búsqueda produjo un total de 45 artículos que constituyen la base documental de nuestra revisión.

### Caracterización de los estudios seleccionados

Los artículos que se seleccionaron después de aplicar los criterios anteriormente mencionados muestran distintos aspectos de las investigaciones educativas sobre la comprensión del MCS. Para poder responder a las dos preguntas de investigación (es decir, qué aspecto del sonido se investiga y cómo progresa la comprensión sobre el sonido a lo largo de la enseñanza) caracterizamos los estudios basándonos en cuatro características:

1. Nivel educativo: Educación Primaria (EP; 6-12 años), Educación Secundaria (ES; 13-17 años) y cursos introductorios en Educación Superior (EU; >18 años).
2. Característica(s) del MCS abordada(s) en el trabajo empírico: se tuvieron en cuenta las tres ideas clave fundamentadas en el análisis epistemológico: naturaleza del sonido y propiedades, propagación del sonido y modelo de onda.
3. Foco del trabajo empírico: en el aprendizaje. Se seleccionaron tanto los estudios empíricos que describen herramientas o cuestionarios para analizar la comprensión sobre el concepto de sonido (artículos sobre aprendizaje) como aquellos que analizan dicha conceptualización antes y después de alguna intervención didáctica.
4. Tamaño muestral: se registró el número de participantes de cada estudio para valorar su alcance.

En la sección de resultados se describen, de forma cualitativa, los principales resultados de los 45 artículos (véase anexo 1) y, finalmente, se presentan las implicaciones para la enseñanza-aprendizaje del MCS.

## RESULTADOS

### Revisión de la literatura

La figura 1 muestra la distribución de los 45 artículos del Anexo 1 agrupados por nivel educativo y característica del sonido estudiada. Al haber artículos que cumplen más de un criterio de clasificación, la suma total que aparece en la figura 1 es superior a 45.

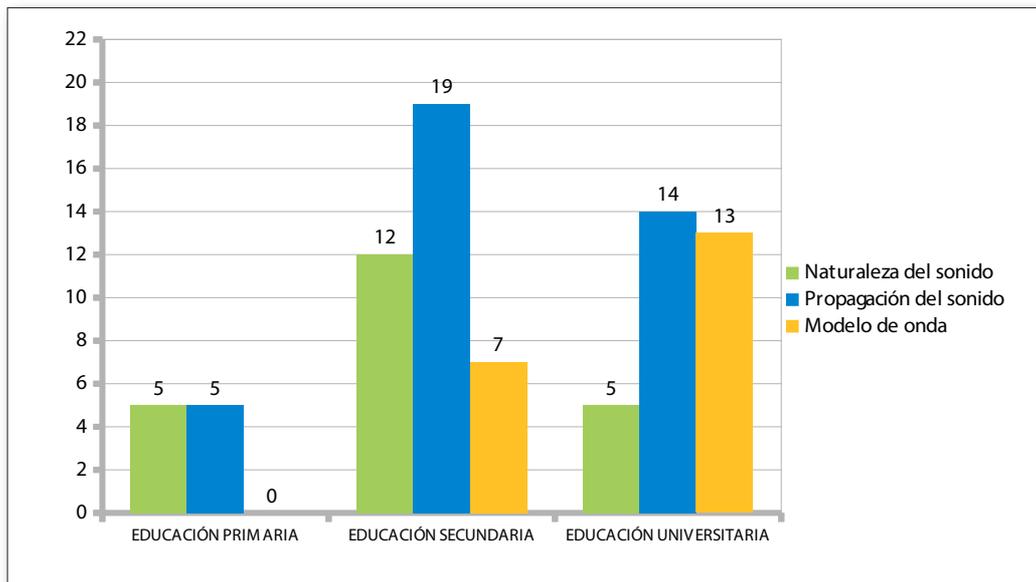


Fig. 1. Distribución de los 45 estudios analizados agrupados por nivel educativo e ideas claves sobre el sonido.

La figura 1 muestra que el grupo menos representado en la bibliografía fue el nivel de EP ( $n = 10$ ), siendo la naturaleza del sonido y su propagación los aspectos más estudiados en este nivel educativo ( $n = 5$ ). También se puede apreciar el predominio de los estudios dirigidos a comprender las dificultades del alumnado de ES y EU sobre la propagación del sonido ( $n = 19$  y  $n = 14$ , respectivamente), seguido por estudios sobre el modelo de onda en EU ( $n = 13$ ).

En las secciones siguientes se presenta un resumen de los principales resultados sobre dificultades para cada idea clave del MCS y cada etapa educativa estudiada.

### Dificultades en la comprensión de la naturaleza del sonido y sus propiedades

En la EP, algunos autores han observado que la asociación entre vibración de un objeto y producción de sonido es dependiente del contexto. Por ejemplo, Barman y colaboradores (1996) estudiaron las concepciones sobre el sonido en alumnado de 10 y 11 años antes y después de una instrucción centrada en el estudiante y dividida en un «ciclo de aprendizaje» basado en tres fases (exploración, introducción y aplicación del concepto). El análisis de las respuestas mostró que todos los estudiantes ( $n = 34$ ) percibían el sonido como un «objeto que se mueve de un lugar a otro» o «rebotando de distintos objetos». Aunque podían utilizar el término *vibración*, no eran capaces de describir la fuente del sonido o cómo las vibraciones se relacionan con el sonido, ni tampoco explicar la absorción o reflejo del sonido. Después de la instrucción, Barman et al. (1996) encontraron que la comprensión mejoró en mayor medida en aquellos que recibieron la enseñanza siguiendo el ciclo de aprendizaje. Asimismo, en la etapa de EP también se aprecia una tendencia mayoritaria a dotar de atributos materiales al sonido. Mazens y Lautrey (2003) estudiaron las concepciones del alumnado de 6 a 10 años y establecieron cuatro modelos mentales del sonido basados en la sustancialidad, que reflejan una evolución gradual y jerárquica desde una concepción del sonido con propiedades materiales a una concepción como vibración. De acuerdo con la edad de los estudiantes, las propiedades *peso* y *permanencia* fueron las primeras en ser abandonadas y *sustancialidad* fue la más resistente al cambio y, por tanto, central en la organización del conocimiento inexperto de los estudiantes (Lautrey y Mazens, 2004; Mazens y Lautrey, 2003).

En la ES, el alumnado sigue presentando problemas con el fenómeno vibratorio a la hora de describir el sonido. Así, aunque sepan que se produce una vibración, no pueden determinar con claridad qué componentes son los que vibran (Treagust et al., 2001). Houle y Barnett (2008) utilizaron el contexto de la comunicación entre aves urbanas para instruir sobre la naturaleza del sonido. Estos autores alertaron de que, a pesar de que la comprensión del problema ambiental de contaminación acústica mejoró, el alumnado no mejoró en su comprensión sobre la naturaleza y propiedades del sonido.

En la etapa de ES se suelen abordar las propiedades intrínsecas del sonido, como el tono y la intensidad, que ya son conocidos fenomenológicamente desde una edad temprana. Sin embargo, tal y como alerta Merino (1998b), la temprana modelización matemática y simplificación de la representación del sonido conlleva problemas. En esta etapa, la asociación del sonido con propiedades materiales predomina sobre una asociación más próxima al conocimiento científico (en la que al sonido se le asignarían propiedades de proceso), tal y como muestran los resultados del «Sound Concept Inventory Instrument» realizado por Eshach y colaboradores y aplicado a una gran muestra de estudiantes de secundaria (Eshach, 2014; Eshach et al., 2016, 2018). Así mismo, Sözen y Bolat (2016) desarrollaron un cuestionario para detectar concepciones alternativas con respecto a atributos materiales del sonido, a las propiedades del sonido (tono e intensidad) y su relación con los instrumentos musicales, la necesidad de un medio en la propagación del sonido y su velocidad. Estos autores encontraron que el aprendizaje logrado está muy lejos de las expectativas de logro del currículum de ES.

En cuanto al nivel de EU, se observa que muchas concepciones alternativas detectadas en los estudiantes de EP y ES se mantienen en estudiantes universitarios: atribución de propiedades materiales, dificultad de identificar la fuente vibratoria y confusión entre tono e intensidad. De hecho, las concepciones alternativas mostradas por estudiantes universitarios para el grado en profesorado de ES de Turquía (Bolat y Sözen, 2009) son muy similares a las detectadas en el alumnado de ES (Sözen y Bolat, 2016).

Küçüközer (2009), en su estudio con 56 estudiantes universitarios del grado de profesorado de ES, muestra cómo el contexto influye en la capacidad de identificar la producción de sonido con la fuente vibratoria. Así, ante la pregunta «Explica cómo se produce el sonido cuando se golpean dos piedras, se rasga una guitarra o se golpea un tambor», solo el 14 % de los participantes pudo relacionar la producción de sonido con la vibración de la fuente en todos los casos, siendo el contexto más habitual el rasgueo de la guitarra y el menos frecuente el golpe entre dos piedras.

En respuesta a la persistencia de dificultades y concepciones alternativas en formación de profesorado, se ha planteado el uso de contextos STEM para mejorar el aprendizaje del sonido con resultados dispares. El estudio de Awad y Barak (2018) mostró que este alumnado tenía dificultades en comprender la relación entre las propiedades intrínsecas del sonido y la forma en cómo lo oímos, a pesar de mejorar otros aspectos relacionados con el problema estudiado. En cambio, Yalçın et al. (2017) mostraron que si al profesorado en formación se le presentaban situaciones interesantes que le permitiera relacionar el sonido con la vida cotidiana, la comprensión del sonido como «vibración» y sus propiedades de timbre y tono mejoraban.

## Dificultades en la comprensión de la propagación del sonido

Como hemos indicado anteriormente (figura 1, anexo 1), el estudio sobre las dificultades para entender la propagación del sonido es un tema recurrente en las investigaciones, siendo los estudios en ES predominantes en la bibliografía. Además, muchos de estos trabajos incorporan y evalúan propuestas de enseñanza para mejorar las concepciones y modelos iniciales del alumnado (Awad y Barak, 2018; Çalik, Okur y Taylor, 2011; Fazio et al., 2008; Hernández et al., 2011; Hernández, Couso y Pintó, 2015; Houle y Barnett, 2008; Okur y Artun, 2016; Vallejo et al., 2017; West y Wallin, 2013).

Fazio y colaboradores (2008) mostraron que los estudiantes de ES que tenían una concepción «material» del sonido consideraban que su propagación era realizada por las moléculas del medio que lo transportaban de una a otra. Resultados similares fueron obtenidos por Caleon y Subramaniam (2010) usando un cuestionario de opción múltiple de tres niveles (conocimiento conceptual, explicativo y nivel de confianza en la respuesta). Estos autores encontraron que los estudiantes no entendían el papel que juega el medio en un MC de propagación del sonido. Un porcentaje significativo de los estudiantes les atribuían a las moléculas del medio la capacidad de transportar el sonido como si fuera un objeto.

Existe un consenso sobre las dificultades que entraña adoptar un modelo correcto de propagación del sonido, si no se realiza un cambio ontológico de la propagación, lo que requiere su comprensión como un proceso emergente y no directo (Eshach, 2014; West y Wallin, 2013). West y Wallin (2013) aportan ejemplos de explicaciones «materiales»: «El sonido puede pasar a través del vacío, pero no puede pasar a través de líquidos o sólidos»; «Si pasa por sólidos lo hace a través de los huecos»; «Las vibraciones golpean a los átomos/partículas». Además, hay que tener en cuenta que, en el caso de las ondas mecánicas, a menudo, el proceso emergente (el proceso a gran escala) es confundido por los estudiantes con los procesos directos (el movimiento de las partes constituyentes del patrón) (Chi, 2005; Volfson et al., 2018; West y Wallin, 2013).

El rol del aire como único medio de propagación (que resta importancia a la elasticidad del medio o la propagación en el vacío) es otra de las ideas recurrentes que aparecen en numerosos estudios centrados en ES (Hernández et al., 2012; Saura y de Pro, 1999). Así mismo, es frecuente encontrar explicaciones que relacionen la frecuencia o la intensidad del sonido con la velocidad de propagación (Caleon y Subramaniam, 2010; Fazio et al., 2008; Hrepic et al., 2010).

Otro aspecto relacionado con la propagación del sonido es su dirección. Boyes y Stanisstreet (1991) examinaron las concepciones de los estudiantes de ES al analizar la trayectoria del sonido entre una fuente y un receptor. Los resultados mostraron que solo el 40 % del alumnado más joven (11-13 años) y el 78 % de los mayores (13-16 años) indicaron que el sonido viaja de la fuente al oyente. Los autores encontraron que un porcentaje significativo de estudiantes indicaban erróneamente una dirección «inversa» del movimiento del sonido desde el oyente a la fuente. Resultados similares fueron obtenidos por Saura y de Pro (1999).

Diversos investigadores proponen el estudio de las vibraciones producidas en una cuerda como analogía para comprender la propagación de las ondas mecánicas. En general, estas investigaciones han mostrado que la concepción alternativa que más prevalece es que la velocidad de propagación en la cuerda depende de la fuerza con la que se aplique el pulso (Tongchai et al., 2009; Viennot, 2004).

Hernández et al. (2012) indagaron en las dificultades y concepciones que presentaba el alumnado de ES sobre la atenuación del sonido, y observaron que estas dependían del papel que los estudiantes atribuyen a la estructura interna y a las propiedades de los materiales. Así, la misma propiedad material puede concebirse como facilitadora u obstáculo para absorber o reflejar el sonido, dependiendo del modelo que tenga el estudiante sobre la atenuación del sonido. Si el estudiante cree que la atenuación se debe a que el material ejerce de barrera, entonces los mejores aislantes serían los densos y no porosos. Este estudio sobre dificultades también confirmó lo que otros estudios previos habían alertado en estudiantes de EU (Linder, 1993): la simplificación del rol de la densidad de los materiales y su microestructura en la propagación del sonido, entendida la densidad únicamente como dependiente de la distancia entre las partículas y no de la masa y el empaquetado de estas.

Hrepic et al. (2010) identificaron que los estudiantes en EU explicaban la propagación del sonido desde el modelo correcto de onda a modelos intermedios de «entidad» y onda o exclusivamente de «entidad». En el modelo alternativo de «entidad», que es mayoritario, el sonido es una unidad independiente del medio por el que viaja. Asimismo, alertaron sobre las dificultades de los estudiantes al

analizar el papel del contexto en la propagación del sonido. Un mismo estudiante podía afirmar que el «sonido empuja a las partículas del aire, pero no a las de la pared».

### Dificultades en la comprensión del modelo de onda

Las dificultades en describir las propiedades ondulatorias del sonido se han estudiado en mayor medida en la EU (figura 1). El modelo ondulatorio del sonido corresponde a una fase de profundización en la comprensión del sonido y se enseña en niveles introductorios de EU, pero también está en el currículum de ES en el tramo de estudiantes de 16-18 años. Por ello, extraña la poca investigación en ES ( $n = 8$ , figura 1).

Saura y de Pro (1999) analizaron los esquemas mentales de los estudiantes de ES con respecto a las magnitudes ondulatorias. Estos autores observaron que, a pesar de albergar un conocimiento intuitivo de lo que son las ondas, persistían las confusiones entre frecuencia y velocidad de propagación, entre la amplitud y la frecuencia, o entre amplitud y longitud de onda. Con el objeto de mejorar la comprensión del modelo de onda, existen propuestas de enseñanza reforzadas con el uso de TIC que muestran resultados interesantes (Leccia et al., 2015; Vallejo et al., 2017). En la propuesta de Vallejo et al. (2017), se guía al alumnado, mediante procesos inductivos y deductivos, a navegar entre registros gráficos y aritméticos de ondas sonoras cuando estudian el tono como cualidad del sonido y lo relacionan con variables de frecuencia y período. Con respecto a la utilización correcta del modelo de onda, antes de la intervención educativa la mayoría de los estudiantes (70-80 %) usaron representaciones inadecuadas que asocian el sonido a algo exclusivamente audible. Tras el refinamiento de la propuesta didáctica, el 71 % de los estudiantes modificaron sus representaciones sobre la propagación del sonido donde la señal sinusoidal incluye elementos de significado como el tiempo y el número de ciclos de una onda.

Diversos autores han mostrado que incluso graduados de Física mostraban confusión con el modelo de onda y representaban el sonido como una onda transversal (Grayson y Donnelly, 1996; Kennedy y De Bruyn, 2011; Linder, 1992). De hecho, Linder (1992) argumentaba que la representación del sonido en libros de texto no solo podía crear confusión, sino que es inadecuada, ya que el sonido se representa como una onda sinusoidal. Sin embargo, y aunque esta representación pueda ser útil para analizar las magnitudes de las ondas, no ayuda a visualizar el hecho de que el sonido se propaga como una onda de presión. Houle y Barnett (2008), en su propuesta de enseñanza mediante TIC y un contexto medioambiental, utilizaron explícitamente el muelle *linky* (juguete consistente en un muelle helicoidal y módulo elástico muy bajo) como analogía para mostrar la propagación de ondas de compresión y ondas transversales incluyendo la medida de longitud de onda y amplitud. Sin embargo, no parece que el uso de este modelo ayudara a la posterior habilidad de reconocer e interpretar representaciones matemáticas del sonido. Otros trabajos han mostrado que el uso de analogías que combinan representaciones concretas y abstractas mejora la comprensión de conceptos de física, como es el caso de las ondas de sonido (Podolefsky y Finkelstein, 2007). De hecho, Tongchai y colaboradores (2011), en su análisis del uso de modelos conceptuales para resolver cuestiones sobre ondas de sonido, descubrieron que el estudio de ondas en otros contextos más abstractos (por ejemplo, mecánica cuántica o electromagnetismo) ayudó a reforzar la comprensión de ondas más concretas como las mecánicas.

Un estudio ampliamente citado de las dificultades que supone representar el sonido usando el modelo de onda en EU es el de Hrepic y colaboradores (2010). Estos investigadores identificaron los modelos iniciales de estudiantes de física introductoria. Así, mostraron que solo un 13 % dio explicaciones coherentes con el modelo de onda aceptado científicamente. Los autores describieron que la mayoría de los estudiantes presentaban el modelo «entidad», o bien modelos ingenuos como el denominado «temblor» que considera que el sonido es una entidad que se propaga a través del medio, causando una vibración longitudinal en las partículas del medio.

Bolat y Sözen (2009) estudiaron el conocimiento sobre conceptos relacionados con el sonido de EU en el grado de profesorado de EP. Si atendemos a la naturaleza ondulatoria/vibratoria del sonido, estos autores observaron que el alumnado no comprende que el sonido es una onda longitudinal, que las ondas sonoras producen alteraciones de presión o que el sonido es una forma de energía. Además, comprobaron que las y los estudiantes no pudieron establecer relaciones entre la frecuencia del sonido y su longitud de onda y periodo, entre el tono del sonido y su(s) frecuencia(s), así como entre la intensidad del sonido y la amplitud.

## DISCUSIÓN E IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA

El objetivo general de esta revisión ha sido analizar los resultados de la investigación de las últimas décadas sobre la comprensión del MCS en el alumnado de diferentes etapas educativas. A continuación, comentaremos las aportaciones de la revisión a las dos preguntas de investigación.

### Pregunta de Investigación 1

Nuestra revisión ha mostrado que hay suficientes estudios para identificar las principales dificultades y concepciones alternativas sobre el sonido en distintas etapas educativas. Es cierto también que muchos estudios se centran en una etapa concreta y en una única característica clave del sonido. En general, abundan los estudios destinados a indagar en las dificultades para comprender la propagación del sonido, fundamentalmente en las etapas de ES y EU.

A) En relación con la primera idea clave, es decir, la naturaleza del sonido, la revisión ha mostrado que el alumnado de los diferentes niveles educativos presenta una alta dificultad para entender que el sonido se origina por la vibración de un objeto y que esta se propaga a través de un medio elástico. Esto lleva a que la investigación recomiende ayudar al alumnado a descartar/modificar la concepción de que el sonido es una entidad material que «surge» de algún sitio y se transporta. Los diferentes estudios revisados muestran también la confusión entre las propiedades del sonido y las magnitudes del modelo de onda (Merino, 1998b; Sözen y Bolat, 2016; Vallejo et al., 2017). En consecuencia, la literatura resalta la importancia de una enseñanza que explicita las propiedades del sonido y su relación con el fenómeno vibratorio antes de entrar a relacionar estas propiedades con las magnitudes de onda (Linder, 1993; Perales, 1997; Podolefsky y Finkelstein, 2007; Sözen y Bolat, 2016).

Prácticamente todos los estudios revisados sobre las dificultades en el aprendizaje de la naturaleza del sonido muestran que la mayoría del alumnado de EP y ES, así como porcentajes significativos del alumnado de EU, presenta concepciones «materialistas» del sonido (Hrepic et al., 2010; Volfson et al., 2018). Para niveles de ES y EU, Eshach et al. (2016) sugieren que trabajar la naturaleza «no material» del sonido debería ser el punto de inicio de la instrucción, ya que está relacionada con fenómenos tan materiales como la presión y densidad del medio.

B) En relación con la segunda idea clave, la propagación del sonido, la robustez y permanencia a lo largo del tiempo de las concepciones «materialistas» lleva a los estudiantes a explicar cualitativamente el fenómeno físico de modo incorrecto (Eshach et al., 2018), incluso en la EU, cuando el modelo de onda se ha incorporado en sus concepciones y están dotados de un aparato matemático para resolver ecuaciones de onda (Hrepic et al., 2010; Linder, 1993). Junto a estas concepciones «materialistas», la literatura muestra una serie de dificultades o confusiones respecto a qué factores afectan a la velocidad de propagación, como la fuente vibratoria (Tongchai et al., 2009; Viennot, 2004), o la densidad de los materiales sin tener en cuenta su elasticidad o el empaquetamiento de las partículas (Hernández et al., 2012). En EU, estos modelos erróneos pueden emerger en entrevistas o preguntas abiertas y pueden

quedar enmascarados en problemas o cuestionarios cerrados que sean de aplicación directa de fórmula y hayan sido respondidos satisfactoriamente (Hrepic et al., 2010; Linder, 1993).

C) En cuanto a la tercera idea clave, la comprensión del modelo de onda para representar el sonido, las investigaciones se han realizado fundamentalmente en la ES postobligatoria y en la EU. Estas investigaciones muestran que no parece haber una clara conexión entre los fenómenos sonoros y el modelo de onda, que exige una alta abstracción matemática (Merino, 1998b). Linder (1992; 1989) también alertó que, incluso en la mayoría de los graduados de física, el modelo de onda sinusoidal no era utilizado correctamente para explicar fenómenos sonoros. En formación de profesorado, la literatura ha mostrado que este alumnado no es capaz de establecer relaciones entre las propiedades intrínsecas del sonido y las magnitudes de onda (Bolat y Sözen, 2009).

## Pregunta de Investigación 2

Si atendemos a la segunda pregunta de investigación, el análisis y categorización de las concepciones del alumnado de las diferentes etapas educativas respecto del MCS, nos muestra que a pesar de que las investigaciones muestran un mayor aprendizaje conforme se avanza en las etapas educativas, la progresión es escasa y la mayoría de los estudiantes sigue teniendo dificultades en aprender un MC sobre la naturaleza del sonido, su propagación y más aún el modelo de onda. Los resultados quedan lejos de las expectativas de aprendizaje señaladas en el currículum y no parece que haya una progresión significativa del aprendizaje. Estos resultados nos alertan sobre la forma de enseñanza tradicional del sonido y sus aplicaciones.

Los estudios revisados coinciden en analizar unos contenidos concretos para cada nivel educativo. Así, en EP los contenidos de aprendizaje tratados se centran en algunos aspectos de la naturaleza del sonido y de propagación a nivel fenomenológico. En la ES los contenidos tratados profundizan en las propiedades de la naturaleza del sonido, así como en su propagación e introducen, al final de la ES, el modelo de onda. En la EU se tratan contenidos relacionados con la naturaleza ondulatoria del sonido y el modelo de onda.

La revisión nos ha permitido perfilar una graduación de las dificultades de aprendizaje que, junto con el esquema del contenido que hay que enseñar, contribuyen a esbozar una PA basada en la integración sistemática de los resultados de investigación (Duschl et al., 2011; Duncan y Hmelo-Silver, 2009; figura 2). En este sentido, las investigaciones revisadas han mostrado que las dificultades de aprendizaje van acompañadas de la existencia de modelos explicativos en los estudiantes de diferentes etapas educativas que coinciden en relacionar la PA con un cambio ontológico en el MCS. Así, los modelos explicativos sufren cambios ontológicos, desde una concepción «sustancialista» del sonido, pasando por una visión de transmisión del sonido como proceso directo, hasta entender la transmisión como proceso emergente en el modelo de onda (Hrepic et al., 2010; Mazens y Lautrey, 2003; West y Wallin, 2013; figura 2).



Fig. 2. Esquema de dificultades de aprendizaje y progresión en el MCS por etapa educativa.

### CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA

Esta revisión sistemática de dificultades sobre el MCS sugiere que los estudiantes se mueven a lo largo de una secuencia de niveles de comprensión hacia un modelo más complejo del sonido como onda y que integra sus características principales. El estudio de las dificultades permite identificar el estado de comprensión de un estudiante al detallar qué tipo de dificultades puede tener y cuáles son los siguientes niveles a alcanzar para avanzar en una comprensión del MCS. Además, este trabajo puede servir como marco teórico para diseñar secuencias de enseñanza que tengan en cuenta las dificultades de aprendizaje de los estudiantes y su nivel de comprensión del MCS (Duit et al., 2012).

En cuanto a las limitaciones de la revisión, cabe destacar el menor número de artículos para la etapa de EP frente a etapas más avanzadas, lo que limita parcialmente las implicaciones para la enseñanza en este rango de edad.

En cuanto a las implicaciones de enseñanza del sonido, el trabajo de Hrepic et al. (2010) muestra cómo el lenguaje ambiguo que se usa en las clases de ciencias ha podido contribuir a reforzar ideas que representan el sonido como una sustancia. Una palabra que tome distintas acepciones semánticas, las cuales pueden pertenecer a diferentes categorías ontológicas, puede dificultar el aprendizaje y promover concepciones erróneas (Hrepic et al., 2010).

Linder (1992) y posteriormente Eshach et al. (2016) también alertan sobre el uso de analogías, ya que puede reforzar concepciones erróneas en el alumnado (Taber, 2015). Ejemplos de ello serían el uso trivial del muelle *slinky* (Houle y Barnett, 2008) o, al describir el sonido como una onda mecánica, considerar que la dirección de propagación de esta es transversal. Así mismo, la operativización del modelo de onda con lenguaje matemático en etapas superiores de ES o EU no tiene por qué ayudar a conceptualizar el sonido como onda mecánica de presión, si no se acompaña de un significado físico del fenómeno (Leccia et al., 2015; Linder, 1992; Merino, 1998b; Saura y de Pro, 1999; Vallejo et al., 2017).

Las propuestas mencionadas coinciden en afirmar que, para que el alumnado vea más atractiva y fructífera la concepción científica que la espontánea, estos han de tener oportunidades, reiteradas y duraderas, de poner en práctica procedimientos y criterios de prueba y aceptación, característicos del

trabajo científico, es decir, de involucrarse –en la medida de lo posible– en la «práctica científica». En esta orientación, la construcción de conocimientos no se plantea como un cuestionamiento de las ideas de los alumnos, sino como resultado de las investigaciones realizadas para resolver problemas (Houle y Barnett, 2008; Vallejo et al., 2017; West y Wallin, 2013).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Awad, N. y Barak, M. (2018). Pre-service science teachers learn a science, technology, engineering and mathematics (STEM)-oriented program: the case of sound, waves and communication systems. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(4), 1431-1451.  
<https://doi.org/10.29333/ejmste/83680>
- Barman, C. R., Barman, N. S. y Miller, J. A. (1996). Two teaching methods and students' understanding of sound. *School Science and Mathematics*, 96(2), 63-67.  
<https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1996.tb15812.x>
- Bolat, M. y Sözen, M. (2009). Knowledge levels of prospective science and physics teachers on basic concepts on sound (sample for Samsun city). *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 1(1), 1231-1238.  
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2009.01.220>
- Boyes, E. y Stanisstreet, M. (1991). Development of pupils' ideas about seeing and hearing--the path of light and sound. *Research in Science and Technological Education*, 9(2), 223-244.  
<https://doi.org/10.1080/0263514910090209>
- Caleon, I. y Subramaniam, R. (2010). Development and application of a three-tier diagnostic test to assess secondary students' understanding of waves. *International Journal of Science Education*, 32(7), 939-961.  
<https://doi.org/10.1080/09500690902890130>
- Çalik, M., Okur, M. y Taylor, N. (2011). A comparison of different conceptual change pedagogies employed within the topic of «sound propagation». *Journal of Science education and Technology*, 20(6), 729-742.  
<https://doi.org/10.1007/s10956-010-9266-z>
- Chang, H. P., et al. (2007). Investigating primary and secondary students' learning of physics concepts in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 29(4), 465-482.  
<https://doi.org/10.1080/09500690601073210>
- Chi, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161-199.  
[https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402\\_1](https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402_1)
- Cromer, A. H. (1981). *Física para las ciencias de la vida* (2.<sup>a</sup> ed.). Reverte.
- Duit, R., Gropengießer, H. y Kattmann, U. (2005). Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. En H. E. Fischer (Ed.), *Developing standards in research on science education* (pp. 1-9). Taylor and Francis.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M. y Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction – a framework for improving teaching and learning science. En D. Jorde y J. Dillon (Eds.), *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective* (pp. 13-37). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2)

- Duncan, R. G. y Hmelo-Silver, C. E. (2009). Learning progressions: Aligning curriculum, instruction, and assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 606-609.  
<https://doi.org/10.1002/tea.20316>
- Duschl, R., Maeng, S. y Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123-182.  
<https://doi.org/10.1080/03057267.2011.604476>
- Eshach, H. (2014). Development of a student-centered instrument to assess middle school students' conceptual understanding of sound. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 10(1), 010102.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.10.010102>
- Eshach, H., Lin, T. C. y Tsai, C. C. (2016). Taiwanese Middle School Students' Materialistic Concepts of Sound. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1).  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010119>
- Eshach, H., Lin, T. C. y Tsai, C. C. (2018). Misconception of sound and conceptual change: A cross-sectional study on students' materialistic thinking of sound. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(5), 664-684.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21435>
- Eshach, H. y Schwartz, J. L. (2006). Sound Stuff? Naïve materialism in middle-school students' conceptions of sound. *International Journal of Science Education*, 28(7), 733-764.  
<https://doi.org/10.1080/09500690500277938>
- Fazio, C., Guastella, I., Sperandio-Mineo, R. M. y Tarantino, G. (2008). Modeling Mechanical Wave Propagation: Guidelines and experimentation of a teaching-learning sequence. *International Journal of Science Education*, 30(11), 1491-1530.  
<https://doi.org/10.1080/09500690802234017>
- Gotwals, A. W. y Anderson, C. W. (2015). Learning Progressions. En R. Gunstone (Ed.), *Encyclopedia of Science Education* (pp. 596-601). Dordrecht: Springer.
- Grayson, D. J. y Donnelly, D. (1996). Using Education research to develop waves courseware. *Computers in Physics*, 10(30).  
<https://doi.org/10.1063/1.4822353>
- Guisasola, J., Zuza, K., Ametller, J. y Gutiérrez-Berraondo, J. (2017). Evaluating and redesigning teaching learning sequences at the introductory physics level. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 020139.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020139>
- Hadenfeldt, J. C., Liu, X. y Neumann, K. (2014). Framing students' progression in understanding matter: A review of previous research. *Studies in Science Education*, 50(2), 181-208.  
<https://doi.org/10.1080/03057267.2014.945829>
- Hernández, M., Couso, D. y Pintó, R. (2011). Teaching acoustic properties of materials in secondary school: Testing sound insulators. *Physics Education*, 46(5), 559.  
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/46/5/008>
- Hernández, M., Couso, D. y Pintó, R. (2012). The analysis of students' conceptions as a support for designing a teaching/learning sequence on the acoustic properties of materials. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 702-712.  
<https://doi.org/www.jstor.org/stable/41674498>
- Hernández, M., Couso, D. y Pintó, R. (2015). Analyzing students' learning progressions throughout a teaching sequence on acoustic properties of materials with a model-based inquiry approach. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2-3), 356-377.  
<https://doi.org/10.1007/s10956-014-9503-y>

- Houle, M. E. y Barnett, G. M. (2008). Students' conceptions of sound waves resulting from the enactment of a new technology-enhanced inquiry-based curriculum on urban bird communication. *Journal of Science Education and Technology*, 17(3), 242-251.  
<https://doi.org/10.1007/s10956-008-9094-6>
- Hrepic, Z., Zollman, D. A. y Rebello, N. S. (2010). Identifying students' mental models of sound propagation: The role of conceptual blending in understanding conceptual change. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 6(2), 020114.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020114>
- Kennedy, E. M. y de Bruyn, J. R. (2011). Understanding of mechanical waves among second-year physics majors. *Canadian Journal of Physics*, 89(11), 1155-1161.  
<https://doi.org/10.1139/p11-113>
- Knight, R. D. (2013). *Physics for scientists and engineers: a strategic approach with modern physics*. Pearson Higher Ed.
- Küçüközer, A. (2009). Prospective science teachers' understanding of sound. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 1(1), 1889-1894.  
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2009.01.332>
- Lautrey, J. y Mazens, K. (2004). Is children's naive knowledge consistent? A comparison of the concepts of sound and heat. *Learning and Instruction*, 14(4), 399-423.  
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.011>
- Leccia, S. et al. (2015). Teaching about mechanical waves and sound with a tuning fork and the Sun. *Physics Education*, 50(6), 677.  
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/50/6/677>
- Linder, C. J. (1992). Understanding sound: So what is the problem? *Physics Education*, 27(5), 258.  
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/27/5/004>
- Linder, C. J. (1993). University physics students' conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation. *International Journal of Science Education*, 15(6), 655-662.  
<https://doi.org/10.1080/0950069930150603>
- Linder, C. J. y Erickson, G. L. (1989). A study of tertiary physics students' conceptualizations of sound. *International Journal of Science Education*, 11(5), 491-501.  
<https://doi.org/10.1080/0950069890110502>
- Macho, E. y Elejalde, M. (2017). ¿Por qué, a veces, no entiendo? *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 89, 62-67.
- Mazens, K. y Lautrey, J. (2003). Conceptual change in physics: children's naive representations of sound. *Cognitive Development*, 18(2), 159-176.  
[https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(03\)00018-2](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(03)00018-2)
- Merino, J. M. (1998a). Complexity of pitch and timbre concepts. *Physics Education*, 33, 105.  
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/33/2/015>
- Merino, J. M. (1998b). Some difficulties in teaching the properties of sounds. *Physics Education*, 33(2), 101-104.  
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/33/2/014>
- National Research Council (2007). *Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8*. Washington DC: The National Academies Press.
- National Research Council (2013). *Adapting to a Changing World: Challenges and Opportunities in Undergraduate Physics Education*. Washington DC: The National Academies Press.  
<https://doi.org/10.17226/18312>
- Okur, M. y Artun, H. (2016). Secondary students' opinions about sound propagation. *European Journal of Education Studies*, 2(2), 44-62. <https://oapub.org/edu/index.php/ejes/article/view/191>

- Perales, F. J. (1997). Escuchando el sonido: Concepciones sobre acústica en alumnos de distintos niveles educativos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 233-248.
- Podolefsky, N. S. y Finkelstein, N. D. (2007). Analogical scaffolding and the learning of abstract ideas in physics: Empirical studies. *Physics Education Research*, 3, 020104-1-16.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.3.020104>
- Real Decreto-ley 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria.
- Real Decreto-ley 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato.
- Rossing, T. D., Moore, R. F. y Wheeler, P. (2001). *The Science of Sound* (3.<sup>a</sup> ed.). San Francisco: Addison-Wesley.
- Saura, O. y de Pro, A. (1999). ¿Utilizan los alumnos esquemas conceptuales en la interpretación del sonido? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 193-210.
- Sözen, M. y Bolat, M. (2011). Determining the misconceptions of primary school students related to sound transmission through drawing. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 15, 1060-1066.  
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.03.239>
- Sözen, M. y Bolat, M. (2016). Developing an achievement test for the subject of sound in science education. *Journal of Education and Learning*, 5(2), 149.  
<https://doi.org/10.5539/jel.v5n2p149>
- Taber, K. S. (2015). Alternative Conceptions/Frameworks/Misconceptions. En R. Gunstone (Ed.), *Encyclopedia of Science Education* (pp. 37-41). Dordrecht: Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0\\_88](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0_88)
- Tiberghien, A. (1996). Construction of prototypical situations in teaching the concept of energy. En G. Welford, J. Osborne y P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe. Current issues and themes* (pp. 100-114). Palmer Press.
- Tipler, P. A. y Mosca, G. (2004). *Física para la ciencia y la tecnología*. I. Reverte.
- Tongchai, A., Sharma, M. D., Johnston, I. D., Arayathanitkul, K. y Soankwan, C. (2009). Developing, evaluating and demonstrating the use of a conceptual survey in mechanical waves. *International Journal of Science Education*, 31(18), 2437-2457.  
<https://doi.org/10.1080/09500690802389605>
- Tongchai, A. et al. (2011). Consistency of students' conceptions of wave propagation: findings from a conceptual survey in mechanical waves. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 7(2), 020101.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.7.020101>
- Treagust, D. F., Jacobowitz, R., Gallagher, J. L. y Parker, J. (2001). Using assessment as a guide in teaching for understanding: A case study of a middle school science class learning about sound. *Science Education*, 85(2), 137-157.  
[https://doi.org/10.1002/1098-237X\(200103\)85:2<137::AID-SCE30>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/1098-237X(200103)85:2<137::AID-SCE30>3.0.CO;2-B)
- Vallejo, C. A. C., Araque, F. Y. V. y Uribe, A. M. (2017). Actividades didácticas para el tono como cualidad del sonido, en cursos de física del nivel básico, mediadas por la tecnología digital. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(3), 129-150.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2091>
- Viennot, L. (2004). Common reasoning about sound. En *Reasoning in Physics* (pp. 141-151). Dordrecht: Springer.  
[https://doi.org/10.1007/0-306-47636-3\\_9](https://doi.org/10.1007/0-306-47636-3_9)

- Volfson, A., Eshach, H. y Ben-Abu, Y. (2018). Development of a diagnostic tool aimed at pinpointing undergraduate students' knowledge about sound and its implementation in simple acoustic apparatuses' analysis. *Physical Review Physics Education Research*, 14(2), 020127.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.020127>
- von Aufschnaiter, C. y Rogge, C. (2015). Conceptual change in learning. En R. Gunstone (Ed.), *Encyclopedia of Science Education* (pp. 209-218). Dordrecht: Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0\\_99](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0_99)
- West, E. y Wallin, A. (2013). Students' learning of a generalized theory of sound transmission from a teaching-learning sequence about sound, hearing and health. *International Journal of Science Education*, 35(6), 980-1011.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2011.589479>
- Wittmann, M. C. (2002). The object coordination class applied to wave pulses: Analysing student reasoning in wave physics. *International Journal of Science Education*, 24(1), 97-118.  
<https://doi.org/10.1080/09500690110066944>
- Wittmann, M. C., Steinberg, R. y Redish, E. (1999). Making sense of how students make sense of mechanical waves. *The Physics Teacher*, 37(1), 15-21.
- Wittmann, M. C., Steinberg, R. y Redish, F. R. (2003). Understanding and affecting student reasoning about sound waves. *International Journal of Science Education*, 25(8), 991-1013.  
<https://doi.org/10.1080/09500690305024>
- Yalçın, S. A., Yalçın, P., Akar, M. S. y Sağırli, M. Ö. (2017). The effect of teaching practices with real life content in light and sound learning areas. *Universal Journal of Educational Research*, 5(9), 1621-1631.  
<https://doi.org/10.13189/ujer.2017.050920>

## Anexo 1. Lista de artículos seleccionados en la revisión sistemática

Estudio	n.º de participantes	Etapa educativa <sup>a</sup>	Idea clave del sonido		
			Naturaleza y propiedades	Propagación	Modelo de onda
Awad y Barak, 2018	60	EU	X	X	
Barman et al., 1996	34	EP	X		
Bolat y Sözen, 2009	92	EU	X	X	X
Boyes y Stanisstreet, 1991	1901	ES		X	
Caleon y Subramaniam, 2010	243	ES			X
Çalik et al., 2011	80	EP		X	
Chang et al., 2007	13.000	EP, ES		X	
Eshach, 2014	355	ES	X		
Eshach et al., 2016	732	ES	X		
Eshach et al., 2018	717	ES, EU	X	X	
Eshach y Schwartz, 2006	10	ES		X	
Fazio et al., 2008	75	ES		X	
Grayson y Donnelly, 1996	54	EU, EU			X
Hernández et al., 2011	--	ES		X	
Hernández et al., 2012	72	ES		X	
Hernández et al., 2015	29	ES		X	
Houle y Barnett, 2008	100	ES	X	X	X
Hrepic et al., 2010	23	EU		X	X
Kennedy y De Bruyn, 2011	25	EU			X
Küçüközer, 2009	56	EU	X	X	
Lautrey y Mazens, 2004	83	EP	X		
Leccia et al., 2015	--	ES	X	X	X
Linder, 1992	10	EU		X	X
Linder, 1993	14	EU		X	
Linder y Erickson, 1989	10	EU		X	X
Mazens y Lautrey, 2003	89	EP	X		
Merino, 1998a	--	ES	X		
Merino, 1998b	--	ES	X		
Okur y Artun, 2016	80	ES		X	
Perales, 1997	140	ES, EU	X	X	X
Podolefsky y Finkelstein, 2007	151	EU			X
Saura y de Pro, 1999	43	ES		X	X
Sözen y Bolat, 2011	286	EP, ES		X	
Sözen y Bolat, 2016	234	ES	X	X	
Tongchai et al., 2009	902	ES		X	
Tongchai et al., 2011	902	ES, EU		X	
Treagust et al., 2001	23	ES	X	X	X
Vallejo et al., 2017	180	ES	X		
Viennot, 2004	600	ES, EU		X	
Volfson et al., 2018	159	EU		X	
West y Wallin, 2013	199	EP, ES	X		
Wittmann, 2002	137	EU			X
Wittmann et al., 1999	92	EU			X
Wittmann et al., 2003	137	EU		X	X
Yalçin et al., 2017	30	EU	X		

<sup>a</sup> Las abreviaturas indican: EP: Educación Primaria; ES: Educación Secundaria; EU: Educación Universitaria.

---

# Learning difficulties about the sound model: a review of the literature

Arantza Rico, Aritz Ruiz-González

Science, Technology and Mathematics Education Research (STEMER), Departamento de Didáctica de la Matemática y las Ciencias Experimentales, Facultad de Educación y Deporte, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Vitoria-Gasteiz (España).

arantza.rico@ehu.eus, aritz.ruiz@ehu.eus

Oier Azula

IES Artaza Romo BHI, Amaia Etorbidea, 28, 48940 Leioa (España).

irbiooierazula@artazaromo.com

Jenaro Guisasola

Science, Technology and Mathematics Education Research (STEMER), Departamento de Física Aplicada I, Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Donostia (España).

jenaro.guisasola@ehu.eus

Acoustic phenomena are closely related to our daily life and the understanding of the scientific model of sound (ScMS) is part of the science curriculum from Primary to University Education. Likewise, sound understood as a wave phenomenon can contribute to the understanding of general concepts of current Physics. However, the transition between understanding the ScMS from a phenomenological and interpretative point of view to understand it as a wave phenomenon does not appear to be trivial. In fact, students of all ages seem to present learning difficulties in describing and conceptualizing sound. There are no revisions on learning difficulties of the concept of sound and its properties that address a progressive educational analysis from Primary to University and which, in turn, include the fundamental characteristics of the ScMS. Thus, our review can provide novel and systematic information for teachers, researchers, and textbook authors. Our two research questions were: 1) Which results does research in science education show about the difficulties of students of Primary (PE), Secondary (SE) and early university courses (UE) when learning the ScMS?; and 2) from this analysis of learning difficulties, is it possible to identify a learning progression on the concept of sound?

This article describes the epistemological elements that define the structure of the ScMS for an educational level of introductory physics. The reviewed studies were grouped around the three key ideas of sound emerging from such analysis: 1) the nature of sound and its properties, 2) sound's propagation and 3) the wave model. Our review has shown that there is a robust bibliography which allows establishing the main difficulties and alternative conceptions about sound in different educational stages. In general, most studies investigated the difficulties to understand the propagation of sound in secondary and university education. Regarding the first key idea, that is, the nature of sound, our review has shown that students of all educational stages present high difficulties to understand that the sound originates by the vibration of an object and that it propagates through an elastic medium. Virtually all studies reviewed show that most PE and SE students, as well as significant percentages of EU students, present «materialistic» conceptions of sound. In relation to the second key idea, the propagation of sound and the role played by the medium, the robustness and permanence throughout the time of the «materialistic» conceptions leads students to explain the physical phenomenon in the wrong way, even at university, when the wave model has been incorporated into their conceptions and they are equipped with a mathematical apparatus to solve wave equations. As for the third key idea, the understanding of the wave model to represent sound, research has been carried out fundamentally in the last courses of secondary and at university education. Research shows that it does not appear to be a clear connection between sound phenomena and the wave model, which demands a high mathematical abstraction. In teacher training, literature has shown that students are not able to establish relations between the intrinsic properties of sound and wave magnitudes. The analysis after the review shows us that even though the research shows that learning advances throughout the educational stages, the progression is scarce and most students still have difficulties in learning a scientific model about the nature of sound, its propagation and even more the wave model. The reviewed studies agree that to obtain an adequate learning progression, an ontological change in the explanatory model of sound must happen, from a «substantialist» conception of sound, through a vision of transmission of sound as a direct process until understanding the transmission as an emerging process when the wave model is properly incorporated.





# ¿Varía la masa de la Tierra? Modelizando a partir de un experimento mental

## Does the mass of the Earth vary? Modeling through thought experiment

José M<sup>a</sup> Oliva  
*Departamento de Didáctica,  
Universidad de Cádiz.*

josemaria.oliva@uca.es. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0002-2686-6131>

Juan José Vicente Martorell  
*Departamento de Didáctica,  
Universidad de Cádiz.*

juanjose.vicente@uca.es. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0001-7498-0214>

Rosario Franco-Mariscal

*IES Castillo de Luna, Rota, Cádiz.*

rosario.franco@uca.es. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0001-5535-7216>

María del Mar Aragón Méndez  
*Departamento de Didáctica,  
Universidad de Cádiz.*

mariadelmar.aragon@uca.es. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0002-5997-389X>

Jesús Matos Delgado  
*IES Santo Domingo, El Puerto de Santa  
María, Cádiz.*

jmatosd@yahoo.es. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0002-0770-2641>

Francisco Soto Mancera  
*Colegio Británico Sage College,  
Jerez de la Frontera, Cádiz.*

francisco.sotomancera@uca.es. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0001-7974-7470>

Rubén Marín Barrios  
*IES Huerta del Rosario, Chiclana, Cádiz.*

ruben.marin@uca.es. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0003-2288-7610>

**RESUMEN** • El artículo analiza el efecto de la resolución de problemas cualitativos mediante experimentos mentales, en el uso de la idea de conservación de la masa. Se trata de identificar los modelos expresados por los estudiantes y cómo estos se ajustan y autorregulan a partir del trabajo en el aula. Para ello se realiza un estudio de casos múltiples con estudiantes de secundaria obligatoria, empleando métodos cualitativos de análisis de datos. A lo largo del experimento mental, los estudiantes empezaron movilizandolos modelos ingenuos y simples, basados en la no conservación de la materia, y más de la mitad terminó formulando otros que integraban el principio de conservación de la masa y la idea de Tierra como sistema abierto. Ello sugiere el papel de los experimentos mentales como escenarios propicios para favorecer procesos de modelización en ciencias.

**PALABRAS CLAVE:** Conservación de la masa; Experimentos mentales; Modelos; Modelización; Sistema.

**ABSTRACT** • This paper analyzes the effect of the resolution of qualitative problems through mental experiments, in the use of the idea of conservation of mass. Its purpose is to identify the models expressed by the students, and how they adjust and self-regulate as a result of the work in the classroom. For this, a multiple case study is carried out with secondary school students, using qualitative methods of data analysis. Throughout the mental experiment, students began mobilizing simple and naive models, based on a non-conservation of matter, while more than half ended up formulating others that spontaneously integrated the principle of conservation of mass and the idea of Earth as an open system. These results show the role of mental experiments as favorable scenarios for modeling in science.

**KEYWORDS:** Conservation of mass; Mental experiments; Models; Modeling; System.

Recepción: octubre 2019 • Aceptación: enero 2020 • Publicación: junio 2021

Oliva, J. M.<sup>a</sup>, Aragón Méndez, M. M., Soto Mancera, F., Vicente Martorell, J. J., Matos Delgado, J., Marín Barrios, R. y Franco-Mariscal, R. (2021). ¿Varía la masa de la Tierra? Modelizando a partir de un experimento mental. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 25-43.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3116>

## INTRODUCCIÓN

La noción de materia es una de las grandes ideas de la ciencia, ya que no solo es importante para comprender muchos fenómenos, sino también para el aprendizaje de otras ideas claves para la educación científica (Smith, Wisser, Anderson y Krajcik, 2006). Dicha noción es multifacética, puesto que articula diversas ideas y progresa desde una comprensión fenomenológica hacia otra subatómica (Hadenfeldt, Neumann, Bernholt, Liu y Parchmann, 2016; Morell, Collier, Black y Wilson, 2017). Así, Hadenfeldt, Liu y Neumann (2014) identificaron cuatro dimensiones para ella: estructura y composición, propiedades físicas y cambio, reacción química y conservación; para cada una de las cuales es posible establecer distintos niveles de progresión. Por tanto, la conservación de la masa es uno de los requisitos para la comprensión de la idea de materia y, por ello, para el estudio de la ciencia, en general, y de la química, en particular. De hecho, constituye una de las leyes ponderales y tiene una dimensión que sobrepasa los límites de la química. Así, el principio de conservación de la masa es también considerado como uno de los principios básicos de la física (Bitsakis, 1991; Eriksen y Vojenli, 1976) y, de hecho, Holton y Brush (1988) lo enuncian concerniendo también a los cambios físicos, y no solo a los que implican cambios de composición: «... a pesar de los cambios de posición, forma, aspecto, composición química., etc., la cantidad total de masa contenida en una determinada región permanece constante» (p. 333).

Shayer y Adey (1984), siguiendo a Piaget, sugieren que la conservación de la materia es ya aceptada por los niños desde los primeros estadios de las operaciones concretas, algo que no ocurre con la conservación de la masa, que debe esperar a la culminación de las operaciones concretas o al inicio de las operaciones formales. Pero, a pesar de que dicha noción es reiteradamente estudiada en la escuela, su apropiación resulta incierta, incluso en estudiantes que finalizan secundaria y bachillerato. Esos son capaces de memorizar dicho principio, pero no de comprenderlo ni integrarlo en sus explicaciones (Landau y Lastras, 1996; Oñorbe de la Torre y Sánchez Jiménez, 1992).

Así, al aplicar sus ideas a situaciones cotidianas, movilizan ideas inadecuadas que contradicen el principio de conservación de la masa, sobre todo si las tareas involucradas implican transformaciones químicas (Gómez, Pozo y Sanz, 1995), particularmente si intervienen gases (Stavy, 1990, Furió, Hernández y Harris, 1987). Más aún, el problema se complica ante fenómenos de biología, como el crecimiento de las plantas, donde los estudiantes prestan poca atención a la procedencia y al destino de la materia, al carecer de una visión sistémica del mundo natural que incorpore un modelo de materia y energía a escala atómico-molecular (Dauer, Doherty, Freed y Anderson, 2014; Mohan, Chen y Anderson, 2009).

Por otro lado, una condición de contorno concomitante con la de transformación de la materia es el carácter cerrado o abierto del sistema en el que se produce. Si es cerrado, la conservación de la materia conduce a una invariancia de la masa del sistema, mientras que, si es abierto, puede haber variaciones si se intercambia materia con el exterior. De ahí que sea razonable esperar que la conservación de la masa se construya en íntima conexión con el carácter cerrado o abierto del sistema.

En este artículo se analiza el efecto de la resolución de problemas cualitativos mediante experimentos mentales, en el aprendizaje de la idea de conservación de la masa y la de Tierra como sistema abierto. Se trata de poner a prueba el potencial de los experimentos mentales a la hora de promover escenarios de modelización en ciencias. Para ello, se recurre a un estudio de casos múltiples, en el que una misma actividad se implementa con distintos grupos-clase de estudiantes, para comprobar su utilidad a la hora de movilizar sus modelos de razonamiento en respuesta al problema planteado.

## MODELIZACIÓN Y EXPERIMENTOS MENTALES EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

La investigación se sitúa en el marco de la modelización en ciencias, considerando que, cuando alguien se plantea una pregunta, elabora un modelo mental para darle respuesta, que luego evalúa, revisa y modifica en caso necesario (Gobert y Buckley, 2000).

La idea de modelo aparece en la literatura bajo distintas acepciones (Gutiérrez, 2005; Harrison y Treagust, 2000; Oliva, 2019), y en este caso se considera como una representación dirigida a explicar y predecir el comportamiento de un sistema físico-natural (Adúriz-Bravo, 2012; Gilbert, Boulter y Elmer, 2000). Por tanto, los modelos son mediadores entre el mundo real y los conocimientos abstractos (Acevedo-Díaz, García-Carmona, Aragón-Méndez y Oliva-Martínez, 2017; Morrison y Morgan, 1999); y pueden ser considerados como teorías específicas (Bunge, 1973) o teorías en acción.

En la vida diaria y durante su aprendizaje, los alumnos elaboran representaciones de la realidad que tienen para ellos una utilidad semejante a la de los modelos para la ciencia, al elaborarse para comprender y prever el comportamiento de una parte de la realidad (Grosslight et al., 1991). De ahí que se les denomine modelos mentales, que son análogos estructurales del mundo cuyo uso permite a alguien adaptarse a este e interactuar con él (Johnson-Laird, 1996; Vosniadou, 1994).

Los modelos mentales son internos, implícitos y provisionales, y constituyen formas de pensamiento situadas, articuladas y dinámicas (Pozo, 1989; Vosniadou, 1994). Son situadas porque se construyen en contextos específicos. Son articuladas porque se componen de distintas «piezas cognitivas», particularmente de representaciones proposicionales e imágenes (Johnson Laird, 1996), que pueden combinarse o recombinarse de distinta forma (Moreira, Greca y Palmero, 1997). Finalmente, son dinámicas porque cambian con el tiempo, en función de la nueva información y de su contraste con la que se espera del modelo. Estos rasgos están relacionados. Por ejemplo, es el carácter articulado el que permite a los modelos un comportamiento flexible y robusto, y es también el factor que permite su progresión a través de cambios parciales.

Como se ha dicho, los modelos mentales son internos y, por ello, inaccesibles directamente (Gilbert y Boulter, 1995). Son las tareas de aula y los discursos que se entablan en torno a ellas los que permiten obtener información sobre estos, ya que solo podemos inferirlos a través de las explicaciones, argumentos y representaciones simbólicas usadas cuando se movilizan. Se comprende, por ello, el alto grado de confluencia que existe entre los estudios sobre modelización y sobre argumentación en ciencias o construcción de explicaciones (Cardoso Mendonça y Justi, 2013; Gómez Loarces, Fernández Ferrer y González García, 2019; Jiménez-Aleixandre y Puig, 2010; Monteiro y Jiménez-Aleixandre, 2019; Passomore y Svoboda, 2012; Revel Chión y Adúriz-Bravo, 2019), y de ahí que aludamos en este estudio a los argumentos de los estudiantes, como observables que nos aproximan a los modelos empleados. Además, dado que los modelos mentales presentan una estructura articulada, el discurso del alumno ha de ser analizado también en clave de conjunto de argumentos básicos que permiten hilvanar un razonamiento dado.

Para movilizar los modelos de los estudiantes, son diversos los recursos disponibles en la clase de ciencias. En unos casos estos son materiales, como las maquetas; en otros son digitales, como las simulaciones, y en otros subyacen tras el discurso del profesor, como ocurre con las analogías o con los experimentos mentales (Oliva, 2019). En este artículo focalizamos la atención en estos últimos, como instrumentos relevantes para la modelización en ciencias.

Un experimento mental es un experimento que pretende sus objetivos sin necesidad de ejecutarlo materialmente (Sorensen, 1992), para lo que se recurre a experiencias recreadas y controladas mentalmente, con el fin de concluir unos resultados. Se utiliza para probar algo o para persuadir a otros del rechazo de una afirmación (Gilbert y Reiner, 2000); en especial, cuando no es posible realizarlo en la vida real o cuando se trabaja con situaciones imaginarias: viajar sobre una onda, hacer fotografías de

un átomo, etc. En esencia, consiste en una situación hipotética en torno a las que se realizan predicciones usando conocimientos y experiencias anteriores, pero que pueden desembocar en paradojas que amplían el marco conceptual previo (Donati y Andrade-Gamboa, 2004).

En la enseñanza, en unos casos se extraen de experimentos ficticios formulados por científicos en la historia de la ciencia, como ocurre en el caso del diablillo de Maxwell o del gato de Schrödinger. De hecho, los experimentos mentales han jugado un papel importante en la historia de la ciencia (Nersessian, 1999; Sorensen, 1992). En otros, son experimentos que fueron reales, pero que ahora se plantean como experimentos imaginarios, ya que los alumnos han de recrearlos mentalmente a partir de su relato. Por ejemplo, el experimento de Rutherford con partículas alfa o el experimento de Michelson y Morley fueron experimentos reales que hoy se reproducen en las explicaciones de los docentes y de los libros de texto con diversos fines. Finalmente, en otros casos son artefactos creados por quien explica, al objeto de guiar la activación de modelos en los alumnos. Suelen ser situaciones dinámicas o experiencias imaginarias, mediante las que se insta a alguien a imaginar algo para extraer conclusiones: «imagina qué sucedería si...», «supongamos que... entonces ¿qué pasaría?», etc.

Reiner (1998) y, posteriormente, Reiner y Burko (2003) identificaron las etapas de un experimento mental:

1. La construcción de un escenario imaginario en el que se genera una pregunta que investigar inserta en un modelo teórico.
2. La identificación de los aspectos relevantes del sistema físico manejado, junto a la formulación de una hipótesis que se deriva del modelo.
3. El desarrollo del experimento mental propiamente dicho.
4. El análisis de los resultados de este.
5. La formulación de sus conclusiones.

Es decir, se ha de disponer de un mundo imaginario análogo al mundo real, de una pregunta o problema que resolver y de un modelo que permita hacer inferencias e interpretar sus resultados.

Aunque en principio los experimentos mentales surgieron en la ciencia como construcciones individuales (Nersessian, 1999), han sido usados socialmente dentro de la comunidad científica para negociar ideas y convencer a otros. Del mismo modo, se considera que su uso en el aula puede ayudar en la inmersión de los alumnos en la práctica científica, a través de los debates y diálogos que puede suscitar su uso en el trabajo colaborativo (Reiner, 1998; Reiner y Gilbert, 2000). De hecho, los citados autores apreciaron en sus estudios de aula que las producciones individuales sobre experimentos mentales solían ser caóticas y desestructuradas, pero que, sin embargo, mejoraban cuando se gestaban de forma colectiva, hasta asentarse como verdaderos experimentos mentales (Reiner y Gilbert, 2000). Por tanto, el trabajo en grupo desempeña un papel valioso en este proceso, porque la interacción entre los estudiantes y la argumentación desarrollada por determinados miembros ayudan a otros con dificultades (Velentzas y Halkia, 2013). Esto es, la conversación crea un contexto mental compartido (Cubero, 2001) que posibilita el intercambio de modelos personales entre los miembros de un grupo, y ello da ocasión a que se genere un modelo compartido (Seel, 2017).

A través de los estudios citados se ilustra el papel de los experimentos mentales en la reflexión y el razonamiento científico en el aula, en la comprensión de la ciencia y, en suma, en el aprendizaje de la modelización en ciencias. De hecho, su interés y viabilidad en la enseñanza han sido estudiadas tanto con alumnos universitarios (Reiner, 1998) como de bachillerato (Reiner y Gilbert, 2000; Velentzas y Halkia, 2013), o incluso de secundaria obligatoria (Reiner y Gilbert, 2004). El reto, como profesores, ante escenarios como estos, es ir más allá del mero relato de la experiencia y de sus implicaciones teóricas y proporcionar un foro en el que el alumnado aventure hipótesis y soluciones ante una tarea problemática, en el contexto de un trabajo tanto individual como colectivo.

## LA ACTIVIDAD PLANTEADA Y EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El contexto de investigación lo conforma una actividad desarrollada con grupos de estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria (2.º y 3.º ESO). Esta consistió en la resolución de un problema cualitativo abierto formulado en el marco de un experimento mental. El problema consistía en determinar si la masa de la Tierra varía o no con el tiempo, para lo que se planteó un enunciado sugerente como el indicado en el cuadro 1. En él se aventura una cifra, supuestamente obtenida en 1930 por el físico americano Paul Heyl, a partir de los valores que obtuvo para la constante de gravitación universal (Heyl, 1930).

Cuadro 1.  
Enunciado del problema planteado

En el año 1797, el físico inglés Henry Cavendish logró determinar por primera vez la masa de la Tierra. Uno de los mejores cálculos de la masa de la Tierra deriva de un estudio realizado en 1930 por Paul Heyl, mediante el que se podía concluir que la masa de la Tierra era de:

5.983.426.546.758.231.452.678.762 kg

Este valor aparecía en mi libro de texto de 2.º de ESO, *me gustó el número y me lo aprendí de memoria... ¡cuando yo tenía vuestra edad!*

Dado que la Tierra ha variado mucho desde entonces, nos podemos preguntar si actualmente la masa de la Tierra será igual, mayor o menor que la deducida en 1930, es decir, el número que yo me aprendí de memoria.

La actividad se articuló alrededor de cinco fases, todas ellas desarrolladas a lo largo de una sesión de clase de 60 minutos (figura 1).

La respuesta a la pregunta exige contemplar de forma simultánea la idea de conservación de la masa y la de Tierra como sistema abierto. Debería considerar que, a pesar de los cambios aparentes en el interior y en la superficie terrestres, estos se originan por cambios físicos y químicos en los que se conserva la masa. No obstante, superpuesta a esta idea, se ha de considerar que la masa varía de forma sensible debido al intercambio de materia con el exterior: pérdidas por emisión de gases ligeros como hidrógeno y helio, lanzamiento de satélites al espacio, atracción de polvo cósmico, meteoritos, etc. De forma neta, estos cambios se traducen en una pequeña disminución progresiva de la masa terrestre. Justamente, el objetivo de la actividad era indagar en el significado de la idea de transformación en un sistema, lo cual es básico para entender la conservación de la masa desde un punto de vista químico.

La actividad puede considerarse como un experimento mental, al integrar todos los ingredientes señalados en la literatura (Reiner, 1998; Reiner y Burko, 2003):

- a) La construcción de un escenario que invita a imaginar la Tierra como sistema en el que suceden cambios.
- b) El uso de las ideas iniciales para la formulación de una hipótesis para decidir si la masa de la Tierra varía o no.
- c) La evocación en el imaginario de distintos eventos particulares familiares que pongan a prueba, local y/o globalmente, la hipótesis planteada.
- d) La oportunidad de cotejar las conclusiones obtenidas, a través de otras reflexiones y de otros puntos de vista.

- e) La formulación de conclusiones, en términos de reafirmar la hipótesis de partida o, en su caso, revisarla buscando otra nueva.
- f) La construcción de un modelo final que sirva para interpretar los cambios analizados y hacer predicciones de futuro.

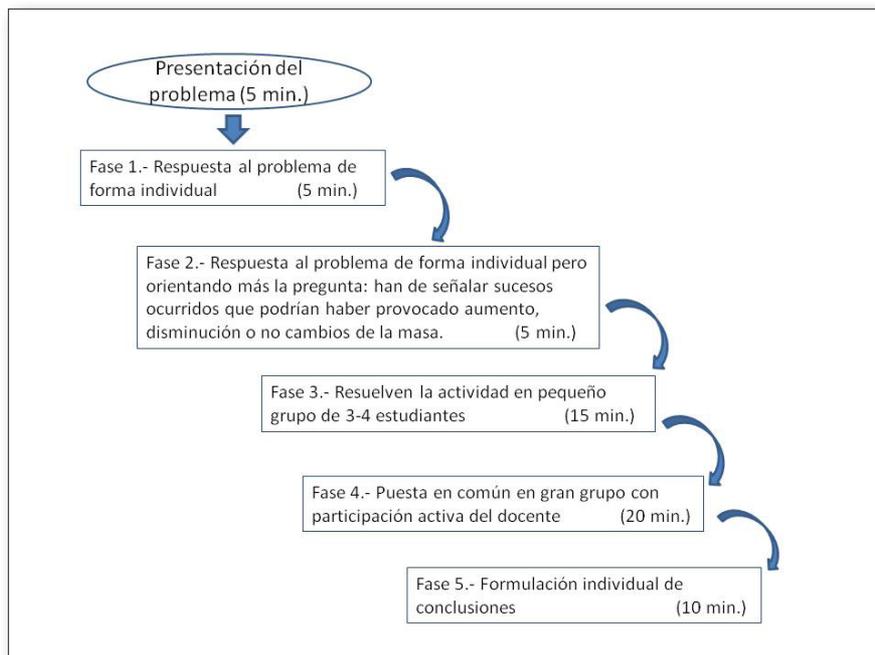


Fig. 1. Distintas fases de la actividad planteada.

El foco de esta investigación se sitúa en el análisis de los modelos usados por los estudiantes a lo largo de la actividad, y en comprobar cómo estos se ajustan y autorregulan como consecuencia del trabajo en el aula y del conjunto de factores intervinientes: adopción de nuevas perspectivas, discusión en grupo, andamiaje del profesor, etc. En concreto, se propusieron las siguientes cuestiones de investigación:

- a) ¿Qué modelos se emplearon en respuesta al problema planteado a lo largo de la actividad?
- b) ¿Qué cambios netos se apreciaron en esos modelos tras finalizar la actividad?

## DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se recurrió a un estudio de casos múltiples, uno de ellos con estudiantes de 3.º de ESO (caso A) y otros dos con alumnado de 2.º de ESO (casos B y C). El enfoque de investigación fue de carácter cualitativo, tanto en la forma de recopilar la información como a la hora de analizarla.

### Participantes y su contexto

En el estudio de caso A intervinieron 9 estudiantes (5 chicas y 4 chicos) de un grupo-clase de un centro privado británico bilingüe, ubicado en un contexto urbano de una localidad española. En este centro se complementa el currículum británico con Lengua Castellana y Literatura, y Geografía e Historia, para que los alumnos obtengan de forma simultánea la titulación británica y la española. El contexto

de partida fue la asignatura «Chemistry» del curso *year 10* del sistema británico, equivalente a 3.º de ESO. Los alumnos eran de clase media-alta y podrían catalogarse, por término medio, como de buen rendimiento académico. Previamente, los alumnos habían estudiado los siguientes tópicos: estados de la materia y cambios de estado, separación de mezclas, teoría cinética, difusión, átomos, moléculas, elementos y compuestos, y diferencias a nivel macroscópico entre cambio químico y cambio físico. La actividad objeto de análisis se planteó como un nexo de unión entre esos temas y el modelo daltoniano de cambio químico. En cuanto al principio de conservación de la masa, aunque ya se trató en el curso anterior, lo fue de un modo descriptivo. Por su parte, el profesor contaba con tres años de experiencia docente, desarrollados después de haber cursado el Máster de Profesorado de Secundaria. En sus clases, solía usar enfoques metodológicos diversos, pero siempre intentando favorecer la participación del alumnado a través de preguntas, pistas y respuestas parciales, que solían ayudar a que expresaran sus ideas de partida, posteriormente discutir las y, en muchos casos, reformularlas.

Los casos B y C estaban formados, respectivamente, por dos grupos clase de 2.º de ESO de un instituto público de capital de nivel socioeducativo medio y medio-bajo, dentro del contexto del sistema educativo español. El primero de ellos estaba integrado por 25 estudiantes (11 chicos y 14 chicas), mientras que el segundo lo estaba por 23 estudiantes (10 chicos y 13 chicas). Ambos grupos eran de características similares, con intereses y rendimiento escolar parecido en lo que a la asignatura «Física y Química» se refiere. El nivel académico del alumnado podría catalogarse como de tipo medio, sin que contase con una bolsa de repetidores apreciable, pero tampoco con alumnado de alto rendimiento. La actividad fue implementada dentro de la asignatura «Física y Química». Los temas estudiados hasta el momento en ese curso académico eran: la materia y sus propiedades, estados de la materia, modelo cinético molecular, sustancias y mezclas. La actividad fue incluida en la unidad *Cambios químicos*, tras haberse trabajado el concepto de cambio químico a escala macroscópica, así como su interpretación mediante un modelo atómico. La profesora implicada, que era la misma en ambos grupos, contaba con treinta años de experiencia docente y habitualmente enfocaba sus clases desde planteamientos socio-constructivistas, en muchos casos mediante enfoques de modelización. También en este caso las clases se desenvolvían de un modo interactivo, con algunas explicaciones mínimas, pero fundamentalmente mediante diálogos profesor-alumno y actividades en pequeño grupo, cada una seguida de una puesta en común.

Un aspecto importante que hay que considerar es que, en ningún caso, el foco de la investigación se sitúa en la comparación entre grupos. El hecho de contemplar tres casos, y no solo uno, estriba en el deseo de triangular información procedente de distintos grupos clase, al objeto de analizar la transferibilidad de conclusiones.

### **Instrumentos de recogida de datos y procedimientos de análisis**

En la recogida de datos se usaron distintos instrumentos. Por una parte, se recurrió a los portafolios de los alumnos. Por otra, se acudió al diario del profesor y al cuaderno de notas de un observador externo. Además, la clase fue grabada en vídeo, lo que permitió acceder a detalles sobre el discurso de aula en gran grupo y, en ocasiones puntuales, a las discusiones en pequeño grupo.

Para analizar la información se elaboró un sistema de categorías que permitió identificar unidades de información que se repetían en distintas ocasiones, a modo de argumentos-base (tabla 1).

Tabla 1.  
Sistema de categorías usado en el análisis de los argumentos-base

<i>Argumentos-base</i>	<i>Descripción</i>
Inflación (I)	Contempla un crecimiento de la masa debido a factores como el aumento de la población, la aparición de nuevos edificios, etc.
Decrecimiento (D)	Considera una disminución de la masa debido a la materia que desaparece: muertes de personas, destrucción por guerras, extinción de especies, etc.
Conservativo local (CL)	Contempla situaciones parciales en la que la masa puede conservarse localmente, aunque no en el conjunto.
Compensatorio (I = D)	Consiste en un uso combinado de esquemas de inflación y de decrecimiento que conduce a que los efectos se compensen.
Conservativo (C)	Se considera que la masa debe ser la misma, a pesar de cambios y transformaciones, y se alude de forma más o menos expresa a la idea de conservación.
La Tierra como sistema abierto (SA)	Concibe la Tierra como un sistema abierto que intercambia materia con el exterior: gases de la atmósfera que escapan, meteoritos que caen, satélites que salen al espacio, etc.

Puede verse cómo, junto a argumentos acordes con planteamientos científicos (C, SA), o intermedios (CL, I = D), aparecen otros totalmente ingenuos que desconocen o no integran la idea de conservación de la materia (I y D). El caso concreto del argumento denominado compensatorio (I = D) realmente aglutina dos argumentos base (I y D), pero al hacerlo de una forma articulada, estableciendo una compensación efectos, preferimos considerarlo como un argumento único.

Este sistema de categorización se construyó progresivamente, de forma inductiva a través de sucesivos intentos de aproximación a los datos. Los únicos criterios empleados *a priori* fueron: *a*) el uso de la idea de conservación de la materia y *b*) la conceptualización de la Tierra como un sistema abierto que intercambia materia con el exterior. En una primera ronda, se intentó categorizar la información de acuerdo con estos criterios. Pero la realidad mostró una situación más compleja, que obligó a ampliar y reformular los criterios de categorización empleados a lo largo de tres rondas. La tabla 1 muestra el sistema de categorización final alcanzado.

Una vez delimitadas las unidades básicas, los argumentos usados en cada fase fueron analizados en términos de combinaciones de ellos (I + D, I + SA, C + SA, etc.), ya que lo habitual fue que, a medida que la actividad avanzaba, se emplearan dos o más argumentos-base. Luego, estas combinaciones fueron agrupadas por similitud y ordenadas mediante una rúbrica de cinco niveles (con el nivel 5 como el más avanzado) (véase tabla 2). Estos niveles fueron la base sobre la que inferimos los modelos empleados por los participantes.

Tabla 2.  
Rúbrica para evaluar el nivel de sofisticación de los argumentos usados

<i>Niveles de progresión</i>	<i>Descripción</i>	<i>Respuesta inferida</i>
Nivel 5	Combinación de argumentos conservativos (C) y de Tierra como sistema abierto (SA)	La masa de la Tierra habrá cambiado mínimamente
Nivel 4	Argumentos conservativos (C)	La masa de la Tierra será la misma
Nivel 3	Argumentos compensatorios (tipo I = D), tipo SA o combinaciones de ambos	En los compensatorios, la masa será la misma, en los demás casos habrá variado
Nivel 2	Combinación de argumentos tipo I, D y/o CL	La masa habrá variado
Nivel 1	Argumentos tipo I o D, o respuestas sin sentido o en blanco	La masa habrá variado

Un aspecto que hay que considerar es el de la validez y confiabilidad de los resultados mostrados. En una investigación cualitativa este tipo de valoraciones viene avalada por criterios de credibilidad y transferibilidad. La credibilidad se reconoce por la observación intensiva y la triangulación, aspectos ambos contemplados en la investigación. El primero de ellos se garantiza por el rol de participante-observador que tuvo el/la docente involucrado/a, así como por la presencia de un observador externo, lo que proporcionó un acceso rico y continuo a la información obtenida. El segundo viene acreditado por el uso de instrumentos variados: portfolios, grabaciones, diarios, etc. Por su parte, la transferibilidad alude a la posibilidad de extrapolar sus conclusiones a nuevos casos, razón por la cual se recurrió a tres grupos-clase distintos, al objeto de poner a prueba dicha posibilidad.

Finalmente, hay que señalar que todos los procesos de categorización que se realizaron fueron emprendidos conjuntamente por dos jueces distintos, recurriendo a un tercero en los casos en los que había desacuerdo.

## RESULTADOS

### Sobre el transcurso de la sesión y los argumentos manejados

El desarrollo de la actividad fue similar en los tres casos, como también la tipología de argumentos encontrados.

Inicialmente, el profesor planteó el problema expresando numéricamente un supuesto valor preciso de la masa con todas sus cifras. Luego, se repartieron los portfolios a los estudiantes, quienes desarrollaron la primera fase de manera individual. En esta fase respondieron directamente al interrogante planteado, lo que sirvió para la reflexión, así como para expresar sus primeros argumentos. Durante toda la fase, como también sucedió con la siguiente, el rol del profesor fue solo el de pasear por las mesas y hacer aclaraciones sobre el propósito de la tarea que había que desarrollar.

La idea que predominaba era que la masa de la Tierra aumentaría debido a factores diversos. En unos casos, las respuestas se basaron en argumentos simples, tipo inflación (I), pero en otros surgieron en combinación con otro tipo de explicaciones, lo que derivó en distintos tipos de respuesta:

Pienso que la masa es mayor porque la población ha aumentado, ha habido cambios en el entorno que pueden haber cambiado la masa de la Tierra, con nuevas grandes construcciones (argumento tipo I, Ana, caso A).

Porque hay cada vez más edificios y más altos, y aunque mueren personas son más las que nacen, con lo que la Tierra pesará más (argumento tipo I + D, Abel, caso C).

A pesar de que los argumentos inflacionarios fueron mayoritarios, en los casos B y C, una parte de los participantes proporcionó respuestas con argumentos simples de decrecimiento (D), esgrimiendo razones como la extinción de especies, la pérdida forestal o efectos nocivos del calentamiento global, entre otros:

Pienso que la masa habrá disminuido, ya que durante todo este tiempo se han perdido montones y montones de materia en los árboles, por la pérdida de especies en extinción y por el derretimiento de los polos (argumento tipo D, Iván, caso B).

Otro tipo de respuesta, aunque con incidencia menor, se basó en argumentos de tipo compensatorio:

Porque hace 88 años no había tantas cosas creadas, pero... ahora hay más incendios debido al calentamiento global y el hielo ya no pesa tanto. Unas cosas compensan a las otras, con lo que la masa no habrá variado (argumento tipo I = D, Eva, caso B).

El caso de Joel es curioso, ya que asumía el principio de conservación de la masa, pero le atribuía un alcance solo local para fenómenos específicos, mientras que encontraba otros de carácter inflacionario (argumento tipo I + CL):

... Aunque es verdad que la masa no puede ser creada ni destruida, hay que tener en cuenta los nuevos edificios, el aumento de la población, e incluso que se van creando progresivamente nuevas montañas debido al movimiento de la tectónica de placas (argumento tipo I + CL, Joel, Caso A).

Además, algún que otro alumno introdujo el carácter abierto del sistema Tierra, contemplando la entrada de meteoritos como factor que modifica su masa, aunque de un modo insignificante (SA).

La masa será ligeramente mayor... aparecen meteoritos y otras pequeñas cosas del espacio, pero el peso de la Tierra es tan grande que un cambio en pocas toneladas es casi insignificante... (argumento tipo SA, Noé, Caso A).

En la segunda fase los estudiantes continuaron trabajando de manera individual, pero esta vez debían contemplar, sucesivamente, acontecimientos que pudieran hacer aumentar la masa de la Tierra, junto a otros que podrían mantenerla inalterable o disminuirla. De este modo, se intentaba favorecer la adopción de otros puntos de vista diferentes a los iniciales, haciéndoles entrar en conflicto y sugiriéndoles argumentos más complejos. De hecho, como resultado de la actividad, una amplia mayoría incorporaron nuevos factores a sus argumentos. Por ejemplo, surgieron más estudiantes que contemplaban simultáneamente procesos parciales de decrecimiento y de inflación, circunstancia minoritaria en la fase 1. Esta novedad tuvo mayor incidencia en el caso A que en el B o el C. En alguna ocasión, este efecto parcial de disminución de la masa se argumentó aludiendo al escape de gases de la atmósfera al exterior, lo que hizo aparecer de nuevo el carácter abierto del sistema Tierra.

En la tercera fase los alumnos reflexionaron de nuevo en torno a las mismas preguntas, aunque esta vez en pequeños grupos de tres a cuatro estudiantes. Dicha situación resultó rica y estimulante en el caso A; también lo fue, pero en menor medida, en el caso C, y resultó menos fructífera en el caso B. Así, en la mayoría de los pequeños grupos del caso A, se originaron múltiples debates y discusiones, en los cuales las ideas de los estudiantes se complementaban, abrían nuevos interrogantes o incluso entraban en conflicto, sirviendo de oportunidad para procesos de reestructuración.

Por ejemplo, en uno de los pequeños grupos del caso A, tras debatir juntas sus tres alumnas componentes, llegaron a argumentos de conservación:

Gema: Paco [profesor], ¿puedes venir?

Profesor: Dime.

Gema: Esta actividad me ha abierto la mente. Todo lo que está en la Tierra estaba antes, de otra manera, pero estaba.

Profesor: Explícate.

Gema: Por ejemplo, pensamos que destruyendo un edificio quitamos masa, pero los escombros quedan, y se tiran o se usan para otra cosa, pero están. O, al contrario, si hacemos una casa, partimos de materiales que ya estaban...

Esta misma alumna, Gema, dejaba constancia en su portfolio de la siguiente reflexión:

Pienso que la masa permanecerá igual porque la materia es la misma... Por ejemplo, cuando un edificio se derriba no desaparece, sino que cambia de forma. Nosotros pensamos que la materia no puede crearse ni desaparecer... La materia está hecha de partículas que pueden recomponerse, pero no destruirse.

Puede verse cómo Gema completa su reflexión usando un modelo submicroscópico, básicamente alineado con la teoría atómica de Dalton, algo que no llegó a observarse en casi ningún otro caso.

En otro pequeño grupo del caso A surgieron interesantes dilemas, como el de «¿qué pesa más, el hielo o el agua?» o «¿qué pasa con las personas que adelgazan, esos kilos que pierden y desaparecen ya no cuentan para el peso total de la Tierra?». Aunque en esta ocasión no se llegó a apreciar un cambio decisivo en los argumentos manejados, sí parece que contribuyó al intercambio de concepciones alternativas.

En los casos B y C, como decíamos, esta fase parece que fue menos productiva, a tenor del menor número de aportaciones novedosas registradas, y de los menores avances observados en los argumentos usados. De hecho, una parte importante de los grupos reincidía en argumentos iniciales, ya fueran de inflación o compensatorios. No obstante, en más de una ocasión emergió una idea relevante, como la de prever y justificar la invariancia de la masa en términos de «ciclos» o procesos circulares que implican que la masa no modifique su valor:

Se mantiene igual porque, aunque la materia cambie, se conserva. La masa que creíamos desaparecida se mantiene dentro de un ciclo y no sale de la Tierra (argumento tipo C, Orson, caso B).

Con posterioridad, la fase 4 sirvió para que se entablara una puesta en común, moderada por el profesor, en la que los distintos grupos defendieron posiciones del gran grupo clase. El/la docente dirigió las intervenciones, aportó pistas, planteó preguntas, reorientó las explicaciones inadecuadas y resaltó los argumentos más apropiados, pero no llegó a recurrir de forma explícita el principio de conservación.

Esta idea de conservación surgió espontáneamente en el caso A, a partir de las aportaciones de uno de los pequeños grupos, la cual fue bien acogida por una parte importante de los estudiantes de ese grupo clase. Sin embargo, costó mucho más que surgiera en la discusión en gran grupo en los casos B y C, donde la idea de conservación se resistió a aflorar. Por ejemplo, en el caso B solo empezó a surgir cuando la profesora planteó preguntas muy dirigidas en torno a ideas como las de cadenas tróficas, la nutrición humana, la fotosíntesis, etc., y su vinculación con los cambios físicos y químicos. Así, a raíz de la aportación de una de las alumnas (Lara), surgió el problema de los residuos plásticos y su inserción en la cadena alimenticia humana a través de los microplásticos:

Lara: Creemos muchas veces que desaparece la materia, pero en verdad no. Como, por ejemplo, tiramos plásticos a la basura y creemos que desaparecen, pero en verdad lo que ocurre es que se desplazan a otros sitios.

Profesora: Había cambios que pensábamos que aumentaban la masa, y resulta ahora que no, que parece que lo que aumenta sale de otro sitio... desaparece de un lugar y en otro sitio surge. Por ejemplo, al hablar de la basura se habla mucho hoy de los microplásticos, ¿verdad? ¿Alguien sabe cuál es el problema de los microplásticos?

Keira: Son trozos pequeños de plásticos que tardan mucho en desaparecer.

Profesora: ¿Y qué les pasa?

León: [...] esos plásticos se lo pueden llegar a comer los peces y también los humanos al comer esos peces.

Profesora: Entonces resulta que tiramos plásticos a la basura, que llegan al mar, que se lo comen los peces y que llegan por tanto de nuevo a nosotros a través de los peces que nos comemos.

Jane: La materia está metida en un ciclo del que no sale ni entra nada.

Esta idea de funcionamiento cíclico ya apareció de forma espontánea en la fase anterior, y puede considerarse en cierto modo sucedánea de la de conservación. Aunque es cierto que no se liga de manera explícita a procesos de cambio específicos, supera al argumento de compensación y puede considerarse como una primera aproximación a un esquema de conservación que ya parece presente de manera tácita.

Finalmente, la fase 5 constituyó otro momento de reflexión individual en la que los alumnos cotejaron y valoraron argumentos propios y ajenos hasta formular conclusiones. Como consecuencia de ello, una parte importante de los participantes alcanzó la respuesta y explicación considerada como más deseable, combinando un argumento de conservación (C) y otro de Tierra como sistema abierto (SA):

La masa de la Tierra no debería cambiar cuando se producen cambios químicos, cuando los polos o la capa de ozono disminuyen, o cuando nacen nuevos seres vivos. Pero la masa podría disminuir porque se produce una liberación frecuente de gases, o se podría incrementar con la llegada de meteoritos o seres vivos del espacio (argumento tipo C +S A, Orson, caso B).

Otra parte logró usar un argumento de conservación (C), sin tener en cuenta el intercambio de materia con el exterior, y predijo la no variación de la masa de la Tierra.

Una parte importante también focalizó íntegramente su atención en la conceptualización de la Tierra como sistema abierto (SA), sin aludir a los procesos internos de transformación.

Hemos llegado a la conclusión de que la masa ha disminuido... no muy abundantemente ya que hay cuerpos que han salido de la Tierra... (argumento tipo SA, Lucas, caso B).

Resulta imposible saber si, en estos casos, la representación que los participantes tenían en mente respondía o no a un modelo de conservación, ya que sus argumentos omitían cualquier mención a los cambios que suceden en la Tierra. Pudiera ser que se estuviera usando de forma implícita un argumento de conservación, pero también se podría estar empleando uno de compensación, por lo que no puede considerarse como un argumento satisfactorio.

El alumnado restante aportó argumentos que no recurrían a esquemas de conservación, o respuestas de tipo «no codificables» o «en blanco».

### **Análisis comparativo de los argumentos usados a lo largo de la actividad**

La rúbrica de la tabla 2 permitió comparar los argumentos empleados en las fases 1 y 5, como aproximación a un estudio evolutivo a lo largo de la actividad. La tabla 3 presenta los resultados obtenidos. En su última columna aparece la distribución de frecuencias en la fase 1, en la última fila la correspondiente a la fase 5, y en cada una de las casillas, toda la casuística de tránsitos posibles entre ambas fases.

Las casillas sombreadas recogen a los estudiantes que han experimentado algún progreso, tanto más cuanto más se acercan al vértice superior derecho de cada tabla.

Tabla 3.  
Tablas comparativas de resultados entre las fases 1 y 5

		<i>Caso A (Fase 5)</i>						<i>Caso B (Fase 5)</i>						<i>Caso C (Fase 5)</i>						
		Niveles					Total	Niveles					Total	Niveles					Total	
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
Fase I	Niveles	1	-	1	1	1	4	2	-	3	1	9	15	3	-	6	1	6	16	
		2	-	-	2	1	1	4	1	-	1	-	2	4	-	-	1	2	2	5
		3	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	4	4	-	1	-	-	-	1
		4	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	2	-	-	-	1	-	1
		5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total		-	1	3	2	3	9	3	-	5	1	16	25	3	1	7	4	8	23	

La tabla 4 presenta un balance final de la progresión alcanzada por los estudiantes. Se aprecia que todos los alumnos progresaron en el caso A, que 21 de 25 lo hicieron en el caso B, y que 18 de 23 evolucionaron en el C. En conjunto, cinco de cada seis estudiantes progresaron en alguna medida, aunque no todos con el mismo alcance, ni tampoco todos partieron de los mismos niveles iniciales. Al final, seis de cada diez participantes asumieron la conservación de la masa (niveles IV o V), la mayoría de ellos combinándola con la idea de Tierra como sistema abierto. Mientras tanto, solo uno de cada veinte conservaba la masa inicialmente y, de ellos, ninguno alcanzaba el nivel máximo de la rúbrica.

Tabla 4.  
Balance de progresión entre las fases 1 y 5

	<i>Estudiantes que avanzan</i>	<i>Estudiantes que no cambian</i>	<i>Estudiantes que retroceden</i>
Caso A (n = 9)	9	-	-
Caso B (n = 25)	21	2	2
Caso C (n = 23)	18	4	1

En resumen, se detecta un patrón de progresión, que partiría de argumentos ingenuos, simples y alejados de la idea de conservación, hacia otros que evolucionan hacia argumentos más complejos y adecuados.

## DISCUSIÓN

Como se ha visto, al inicio de la actividad los estudiantes movilizaban argumentos ingenuos y simples, alejados de la ciencia escolar, si bien evolucionaron hacia argumentos más complejos y próximos a los que son deseables. De hecho, casi todos ellos progresaron en sus puntos de vista, y más de la mitad llegó a formular argumentos que integraban espontáneamente la conservación de la masa. A lo largo de la actividad, los argumentos aportados subyacían, al menos, tras cuatro modelos distintos:

- a) un modelo de cambio en la materia de tipo no conservativo, según el cual la masa no se conserva de forma neta, aunque puedan existir procesos parciales en los que sí se conserve (niveles 1 y 2);

- b) un modelo de tipo compensatorio, o de pseudoconservación, en el que la cantidad de masa puede quedar inalterada, pero a resultas de compensación de efectos parciales de decrecimiento e inflación de la masa (nivel 3);
- c) un modelo conservativo simple, consecuente con el principio de conservación de la masa, en el que se concibe al planeta como un sistema aislado del exterior (nivel 4);
- d) un modelo conservativo complejo, en el que además de conservarse la masa, se contempla la Tierra como sistema abierto que intercambia materia con el exterior (nivel 5).

Al comenzar la actividad los modelos mayoritarios fueron el «no conservativo» y el «compensatorio», mientras que al final la mayoría de los participantes se instaló en el «modelo conservativo complejo» y, en menor medida, en el «conservativo simple».

De ello no se desprende que los progresos detectados sean estables e irreversibles, pues una actividad, por sí sola, no tiene capacidad para generar cambios definitivos e irreversibles. Antes, al contrario, cualquier aprendizaje exige actuaciones continuadas en el tiempo, junto a un variado repertorio de contextos que propicie procesos de transferencia. Lo que estos resultados sí nos dicen es que la actividad realizada, basada en el desarrollo individual, grupal y colectivo de un experimento mental, supuso un factor favorecedor del uso de la idea de conservación, y aportó un contexto favorecedor para que dichas ideas emergieran espontáneamente en los argumentos empleados.

La primera fase sirvió para que los estudiantes se planteasen un problema y construyeran un primer modelo para dar respuesta a este, la mayoría de las veces evocando un modelo inflacionario en el que la masa crece.

La segunda fase aportó a los estudiantes una ocasión para delimitar con detalle los aspectos relevantes del sistema estudiado mediante el experimento mental. Fue, por tanto, esencial para que revisaran su modelo inicial y entraran en escena nuevas ideas que cuestionaron las formuladas al principio. Esto sirvió como fuente de nuevas ideas, algo que resulta clave para iniciar la progresión hacia nuevos posicionamientos (Sanmartí, 2000).

La tercera y la cuarta fase fueron, sin duda, las que, en conjunto, más contribuyeron a cambios en los modelos manejados. De un lado, el trabajo en pequeño y gran grupo sirvió como una nueva ocasión para que los estudiantes organizaran y estructuraran sus ideas al objeto de comunicarlas y debatirlas ante otros. De otro, sirvió para que estos compartieran y reestructurasen sus puntos de vista, contraponiendo y discutiendo sus modelos, e intentando negociar posiciones hasta llegar a acuerdos. En estas fases, además, fue importante la labor de los docentes implicados, quienes, sin aportar de forma directa su punto de vista, propusieron preguntas, sugirieron nuevas formas de ver el fenómeno, solicitaron aclaraciones, aportaron pistas, recondujeron los diálogos, etc. (Aliberas, Gutiérrez e Izquierdo, 2017; Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2018). Sin duda, fue este el momento en el que el experimento mental fue desarrollado en su mayor plenitud, para lo que se aportaron resultados mejor argumentados y conclusiones más elaboradas. Conviene indicar que el principio de conservación de la materia había sido ya estudiado con anterioridad, si bien, a tenor de los primeros argumentos formulados, no parece que se tuviese integrado en la estructura cognitiva. Según ello, es probable que el experimento mental desarrollado sirviese, precisamente, para que el alumnado encontrase sentido y significado a algo que ya conocían, pero a un nivel meramente declarativo. Aunque solo una pequeña fracción de los estudiantes fue capaz de elaborar autónomamente un argumento de conservación mediante este mecanismo, otros pudieron encontrarlo gracias al debate y discusión en pequeño y gran grupo.

En suma, la construcción de ideas a lo largo de estas fases supuso algo más que una suma de modelos individuales, por lo que se produjo en su lugar un complejo proceso interactivo entre estos. Por tanto, el uso de un experimento mental en un marco de aprendizaje activo y participativo, el entorno de colaboración en el que trabajaron los alumnos y la función mediadora del profesor pudieron cons-

tituir juntos una excelente combinación para alentar a los alumnos a trabajar en su zona de desarrollo próximo (Vygotsky, 1978).

Los resultados obtenidos muestran el papel de los experimentos mentales a la hora de promover escenarios de modelización en ciencias; en este caso, a la hora de favorecer la construcción de un modelo escolar apropiado sobre la conservación de la materia en un sistema abierto. Además, se aprecia un importante paralelismo entre los resultados obtenidos en los tres casos estudiados, lo que sugiere un cierto nivel de transferibilidad en las conclusiones obtenidas. Ello avala el marco teórico presentado, en el cual se destaca el valor del trabajo compartido en el aula (Seel, 2017), la contribución de los experimentos mentales en los procesos de modelización en ciencias (Reiner, 1998; Reiner y Gilbert, 2000) y el impulso y refuerzo que suponen ambos ingredientes cuando se dan juntos en situaciones de aula (Reiner y Gilbert, 2000; Velentzas y Halkia, 2013).

En la actualidad estamos desarrollando actividades con experimentos mentales en distintos ámbitos del currículum de ciencias, tanto en secundaria como en formación inicial de maestros. Los resultados de los correspondientes estudios permitirán comprobar si los obtenidos en este son extrapolables a otros casos, y mostrar así el potencial de estos recursos para la modelización en ciencias. Más allá de ello, nuestra intención es también insertar actividades de este tipo en secuencias de enseñanza-aprendizaje más amplias y que impliquen un número determinado de sesiones de aula, integrándose con otros recursos instrumentales de modelización, como analogías, simulaciones, animaciones, etc., así como con otro tipo de actividades. Esperamos poder reportar en breve los resultados y conclusiones obtenidas.

#### AGRADECIMIENTOS:

Financiado por FEDER/Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades-Agencia Estatal de Investigación/\_Proyecto EDU2017-82518-P

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A., Aragón-Méndez, M. y Oliva-Martínez, J. M. (2017). Modelos científicos: significado y papel en la práctica científica. *Revista Científica*, 30(3), 155-166. <https://doi.org/10.14483/23448350.12288>
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación química*, 23, 1-9. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30151-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30151-9)
- Aliberas, J., Gutiérrez, R. e Izquierdo, M. (2017). Introducción a un método para la conducción y análisis de diálogos didácticos basado en la evaluación de modelos mentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 7-28. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2028>
- Bitsakis, E. (1991). Mass, Matter, and Energy. *Foundations of Physics*, 21(1), 63-81. <https://doi.org/10.1007/BF01883563>
- Bunge, M. (1973). *Method, Model and Matter*. Dordrecht: Reidel Publishing Company.
- Cardoso Mendonça, P. C. y Justi, R. (2013). The relationships between modelling and argumentation from the perspective of the model of modelling diagram. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2407-2434. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.811615>

- Crujeiras Pérez, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2018). Influencia de distintas estrategias de andamiaje para promover la participación del alumnado de secundaria en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(2), 23-42. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2241>
- Cubero, R. (2001). Maestros y alumnos conversando: el encuentro de las voces distantes. *Investigación en la Escuela*, 45, 7-19.
- Dauer, J. M., Doherty, J. H., Freed, A. L. y Anderson, C. W. (2014). Connections between Student Explanations and Arguments from Evidence about Plant Growth. *CBE-Life Sciences Education*, 13, 397-409.  
<https://doi.org/10.1187/cbe.14-02-0028>
- Donati, E. y Andrade Gamboa, J. (2004). Propiedades de las Disoluciones a través de experimentos Mentales. *Educación Química*, 15(4), 432-435.
- Ericksen, E. y Vojenli, K. (1976). The Classical and Relativistic Concepts of Mass. *Foundations of Physics*, 16(1), 115-124.  
<https://doi.org/10.1007/BF00708670>
- Furió, C., Hernandez, J. y Harris, H. (1987). Parallels between adolescents' conception of gases and history of chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64(7), 616-618.  
<https://doi.org/10.1021/ed064p616>
- Gilbert, J. K. y Boulter, C. (1995). Stretching models too far. *Annual Conference of the American Educational Research Association*. San Francisco.
- Gilbert, J., Boulter, C. y Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. En J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.
- Gilbert, J. K. y Reiner, M. (2000). Thought experiments in science education: potential and current realization. *International Journal of Science Education*, 32(3), 265-283.  
<https://doi.org/10.1080/095006900289877>
- Gobert, J. D. y Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.  
<https://doi.org/10.1080/095006900416839>
- Gómez, M. A., Pozo, J. I. y Sanz, A. (1995). Students' ideas on conservation of matter: Effects of expertise and context variables. *Science Education*, 79(1), 77-93.  
<https://doi.org/10.1002/scs.3730790106>
- Gómez Loarces, R., Fernández Ferrer, G. y González García, F. (2019). Evolución de los modelos mentales sobre fosilización tras el proceso de enseñanza-aprendizaje. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(2), 2102.  
[https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2019.v16.i2.2102](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2102)
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. y Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.  
<https://doi.org/10.1002/tea.3660280907>
- Gutiérrez, R. (2005). Polisemia actual del concepto «modelo mental»: Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(2), 209-226.
- Hadenfeldt, J. C., Liu, X. y Neumann, K. (2014). Framing students' progression in understanding matter: A review of previous research. *Studies in Science Education*, 50(2), 181-208.  
<https://doi.org/10.1080/03057267.2014.945829>
- Hadenfeldt, J. C., Neumann, K., Bernholt, S., Liu, X. y Parchmann, I. (2016). Students' progression in understanding the matter concept. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(5), 683-708.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21312>

- Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.  
<https://doi.org/10.1080/095006900416884>
- Heyl, P. R. A. (1930). Redetermination of the constant of gravitation. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 5, 1243-1290.
- Holton, G. y Brush, S. (1988). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Reverté.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Puig, B. (2010). Argumentación y evaluación de explicaciones causales en ciencias: el caso de la inteligencia. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 63, 11-18.
- Johnson-Laird, P. N. (1996). Images, models, and propositional representations. En De Vega et al. (Eds.), *Models of visuospatial cognition* (pp. 90-107). Nueva York: Oxford University Press.
- Justi, R. 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>
- Landau, L. y Lastras, L. (1996). Cambios químicos y conservación de la masa... ¿Está todo claro? *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 171-174.
- Mohan, L, Chen, J. y Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 675-698.  
<https://doi.org/10.1002/tea.20314>
- Monteira, S. F. y Jiménez Aleixandre, M. (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](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2101)
- Moreira M. A., Greca I. M. y Rodríguez Palmero, M. L. (1997). Los modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza/aprendizaje de las ciencias. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2(3), 36-56.
- Morell, L., Collier, T., Black, P. y Wilson, M. (2017). A construct-modeling approach to develop a learning progression of how students understand the structure of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(8), 1024-1048.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21397>
- Morrison, M. y Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. En M. S. Morgan y M. Morrison (Eds.), *Models as mediators* (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press.
- Nersessian, N. (1999). Model-based reasoning in conceptual change. En L. Magnani, N. J. Nersessian y P. Thagard (Eds.), *Model-based reasoning in scientific discovery*. Nueva York: Kluwer Academic / Plenum Publishers.
- 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>
- Oñorbe de la Torre, A. J. y Sánchez Jiménez, J. M. (1992). La masa no se crea ni se destruye ¿Estáis seguros? *Enseñanza de las Ciencias*, 10(2), 165-171.
- Passmore, C. M. y Svoboda, J. (2012). Exploring Opportunities for Argumentation in Modelling Classrooms. *International Journal of Science Education*, 34(10), 1535-1554.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2011.577842>
- Pozo, J. I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.
- Reiner, M. (1998). Thought experiments and collaborative learning in physics. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1043-1058.  
<https://doi.org/10.1080/0950069980200903>

- Reiner, M. y Burko, L. (2003). On the limitations of thought experiments in physics and the consequences for physics education. *Science and Education*, 12, 385-358.  
<https://doi.org/10.1023/A:1024438726685>
- Reiner, G. y Gilbert, J. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 22(5), 489-506.  
<https://doi.org/10.1080/095006900289741>
- Reiner, M. y Gilbert, J. K. (2004). The symbiotic roles of empirical experimentation and thought experimentation in the learning of physics. *International Journal of Science Education*, 26(15), 1819-1834.  
<https://doi.org/10.1080/0950069042000205440>
- Revel Chión, A. y Adúriz-Bravo, A. (2019). Modelización y argumentación en la enseñanza de las Ciencias Experimentales. *Didacticae*, 5, 2-5.  
<http://dx.doi.org/10.1344/did.2019.5.3-6>
- Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. En F. J. Perales y P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 239-276). Alcoy: Marfil.
- Seel, N. M. (2017). Model-based learning: A synthesis of theory and research. *Educational Technology Research and Development*, 65(4), 931-966.  
<https://doi.org/10.1002/tea.2031110.1007/s11423-016-9507-9>
- Shayer, M. y Adey, P. (1984). *La ciencia de enseñar ciencias: desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*. Madrid: Narcea.
- Smith, C. L., Wisner, M., Anderson, C. W. y Krajcik, J. (2006). Implications of Research on Children's Learning for Standards and Assessment: A Proposed Learning Progression for Matter and the Atomic-Molecular Theory. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 4(1-2), 1-98.  
<http://dx.doi.org/10.1080/15366367.2006.9678570>
- Sorensen, R. A. (1992). *Thought experiments*. Nueva York: Oxford University Press.
- Stavy, R. (1990). Children's conception of changes in the state of matter: From liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), 247-266.  
<https://doi.org/10.1002/tea.3660270308>
- Velentzas, A. y Halkia, K. (2013). The Use of Thought Experiments in Teaching Physics to Upper Secondary-Level Students: Two examples from the theory of relativity. *International Journal of Science Education*, 35(18), 3026-3049.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2012.682182>
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69.
- Vygotsky, L. (1978). *Mind and Society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

---

# Does the mass of the Earth vary? Modeling through thought experiment

José M<sup>a</sup> Oliva  
Departamento de Didáctica,  
Universidad de Cádiz.  
josemaria.oliva@uca.es. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0002-2686-6131>

Juan José Vicente Martorell  
Departamento de Didáctica,  
Universidad de Cádiz.  
juanjose.vicente@uca.es. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0001-7498-0214>

Rosario Franco-Mariscal  
IES Castillo de Luna, Rota, Cádiz.  
rosario.franco@uca.es. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0001-5535-7216>

María del Mar Aragón Méndez  
Departamento de Didáctica,  
Universidad de Cádiz.  
mariadelmar.aragon@uca.es. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0002-5997-389X>

Jesús Matos Delgado  
IES Santo Domingo, El Puerto de Santa  
María, Cádiz.  
jmatosd@yahoo.es. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0002-0770-2641>

Francisco Soto Mancera  
Colegio Británico Sage College.  
Jerez de la Frontera, Cádiz.  
francisco.sotomancera@uca.es. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0001-7974-7470>

Rubén Marín Barrios  
IES Huerta del Rosario, Chiclana, Cádiz.  
ruben.marin@uca.es. ORCID:  
<https://orcid.org/0000-0003-2288-7610>

The conservation of mass is one of the necessary requirements for the understanding of the idea of matter and, therefore, for the study of science, in general, and more particularly of chemistry. Although this notion is repeatedly studied in school, many students who finish compulsory secondary school and high school fail to understand or integrate it into their explanations, especially if the phenomena involve chemical reactions, particularly with the intervention of gases.

From our point of view, the idea of conservation of the mass should be constructed in intimate connection with the closed or open character of the system in which it is verified, analyzing different possible cases, until concluding that, in all of them, the conservation of the mass is complied when performing a material balance.

This paper analyzes the effect of the resolution of a qualitative problem through a mental experiment, in the use of the idea of conservation of mass. Its purpose is to identify the models expressed by the students, and how they adjust and self-regulate because of the work in the classroom.

The problem was to determine whether the Earth's mass varies over time. The task was developed in several phases: *a*) autonomous individual working, *b*) guided individual working, *c*) small group discussion, *d*) large group debate, *e*) individual formulation of conclusions. This activity can be considered as a mental experiment, by integrating all the ingredients indicated in the literature for this type of reasoning.

The research questions were as follows: *i*) what models did the students use in response to the problem posed during the activity?, and *ii*) which net changes were observed in these models at the end of the activity?

To answer these questions, a multiple case study was carried out with secondary school students, one of them with 9th grade students (case A) and two with 8th grade students (cases B and C). The research approach was qualitative.

Throughout the mental experiment, students began mobilizing simple and naive models, based on a non-conservation of matter, while more than half ended up formulating others that spontaneously integrated the principle of conservation of mass and the idea of Earth as an open system. Specifically, the models found were:

1. a non-conservative model of change, according to which the mass is not conserved net, although there may be partial processes in which it is conserved;
2. a compensatory type of model, in which the amount of mass may remain unchanged, thanks to a compensation of partial effects of decrease and inflation of the mass;
3. a simple conservative model, consistent with the principle of conservation of mass, in which the planet is conceived as an isolated system from the outside; and
4. a complex conservative model, like the previous one, but which also contemplates the Earth as an open system that can exchange matter with the outside.

All students progressed in case A, 21 of 25 did so in case B, and 18 of 23 evolved in C. Overall, five out of six students progressed to some extent, although not all with the same scope, nor did they all start from the same initial levels. In the end, approximately six out of ten participants assumed the conservation of the mass, most of which did so by combining it with the idea of Earth as an open system. Meanwhile, initially, only one in twenty retained the mass and, of them, none reached the maximum level of the rubric.

It does not follow that the progress detected is stable and irreversible, since any learning requires time and a varied repertoire of contexts that allow transfer processes. What these results do tell us is that the activity carried out, based on the individual, group, and collective development of a mental experiment, was a favorable factor for the use of the idea of conservation, providing a rich and stimulating context for these ideas emerged spontaneously in the arguments used





# Tendencias investigadoras en enseñanza de las ciencias en revistas españolas 2014-2018

## Research trends in science teaching in Spanish journals 2014-2018

David Aguilera-Morales, José Miguel Vílchez-González

*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada (España)*  
davidaguilera@ugr.es, jmvilchez@ugr.es

Javier Carrillo-Rosúa

*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada (España)*  
*Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, (CSIC-UGR)*

jcarril@ugr.es

F. Javier Perales-Palacios

*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Granada (España)*  
fperales@ugr.es

**RESUMEN** • Se presenta una revisión de los artículos publicados en las principales revistas españolas de investigación en didáctica de las ciencias experimentales entre 2014 y 2018. Se han analizado 504 artículos de las revistas *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, *Enseñanza de las Ciencias*, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* y *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, con el objetivo de identificar las tendencias de investigación. El análisis se ha centrado en: 1) autores; 2) tipo de colaboración; 3) tipo de publicación; 4) etapa educativa; y 5) temática. Los resultados muestran que la mayoría de los autores pertenecen a instituciones iberoamericanas, la investigación suele desarrollarse en educación secundaria y la temática preferente es la enseñanza, el conocimiento didáctico del profesorado, el contenido científico y los libros de texto.

**PALABRAS CLAVE:** Revisión de la literatura; Didáctica de las ciencias experimentales; Investigación educativa; Revistas españolas.

**ABSTRACT** • A review of the papers published in the main Spanish research journals in science education from 2014 to 2018 is shown. A total of 504 papers from the reviews *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, *Enseñanza de las Ciencias*, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* and *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* were analyzed with the aim of identifying research trends. The analysis has focused on 1) authors; 2) type of collaboration; 3) type of publication; 4) educational stage; and 5) thematic. The results show that most of the authors belong to Latin American institutions; research is usually carried out in secondary education; and the preferred theme is teaching, teaching knowledge for teachers, scientific content and textbooks.

**KEYWORDS:** Literature review; Science education; Research in education; Spanish reviews.

Recepción: noviembre 2019 • Aceptación: mayo 2020 • Publicación: junio 2021

Aguilera, D., Carrillo-Rosúa, J., Vílchez-González, J. M. y Perales-Palacios, F. J. (2021). Tendencias investigadoras en enseñanza de las ciencias en revistas españolas 2014-2018. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 45-62.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3180>

## INTRODUCCIÓN

La didáctica de las ciencias experimentales (DCE, en adelante), aunque pueda considerarse una disciplina joven frente a otras de más larga tradición, como las denominadas ciencias «clásicas» o «duras», tales como la física, la química, la biología o las ciencias de la tierra, o incluso la propia didáctica general o la psicología educativa, día a día va consolidándose como un referente entre las llamadas didácticas específicas. A ello han contribuido, sin duda, diversos factores, como la existencia de una sólida comunidad de investigadores asentada básicamente en las facultades de Educación españolas, algunas de las cuales, incluso, poseen departamentos exclusivos de DCE, unos medios de difusión de la investigación internacionales pioneros y de reconocida solvencia (por ejemplo, la revista *Science Education* lleva publicándose desde el año 1916) o, como señalan Gil, Carrascosa y Martínez-Terrades (2000): «(a) la existencia de una problemática relevante, susceptible de despertar el suficiente interés para justificar los esfuerzos que exija su tratamiento y (b) el carácter específico de dicha problemática, que impide su tratamiento efectivo desde un cuerpo de conocimientos ya existente» (p. 15).

Dentro del apartado (a) anterior incluiríamos, sin duda, la necesidad de dar respuesta a la demanda creciente de una ciencia para todos, que dote a la población general de unas herramientas básicas para desenvolverse críticamente en un mundo cada vez más dependiente de la ciencia y la tecnología. Ese desafío constituye una tarea compleja de asumir y exige, entre otros requisitos: una enseñanza de la ciencia que se inicie en la etapa de educación infantil y se extienda hasta el final de los niveles educativos obligatorios, incentivando una actitud positiva hacia ella; una educación no formal mediante canales como los museos de ciencia; una educación informal a través de actividades de divulgación, presencia en los medios de comunicación de masas y en las redes sociales, etc.; una formación del profesorado, tanto inicial como permanente, con la suficiente especificidad y rigor como para dotarle de un conocimiento didáctico solvente e innovador; la apertura a otras disciplinas como la tecnología, las matemáticas y el arte –incluyéndose aquí también al resto de las humanidades– (movimiento STEAM), o una clarificación de los marcos teóricos que respaldan la DCE.

En España, el área de DCE surge de un modo formal en la década de los ochenta del pasado siglo y ha ido consolidándose hasta nuestros días, con una evolución no exenta de dificultades (Perales, 2018). Así, algunos de los retos señalados por Porlán (1998) siguen en cierta forma vigentes, otros han sido superados y otros han ido surgiendo impulsados por motivos socioeconómicos, psicodidácticos y tecnocientíficos.

Esta progresiva consolidación de la DCE ha generado investigaciones que tratan de sintetizar y analizar su evolución mediante técnicas como los metaanálisis o las revisiones sistemáticas. Recientemente, en esta misma revista, se han publicado sendos trabajos de dicha naturaleza: el de Ezquerro, Mafokozi, Campillejo, Beneitez, Morcillo y Ortega (2019), una revisión sistemática sobre la formación científica de la ciudadanía, y el de Manchón-Gordón y García-Carmona (2018), una revisión crítica de la investigación sobre la enseñanza de la física en los diez últimos años.

En este artículo nos interesamos por los estudios de tendencia. Como referentes más próximos disponemos de los trabajos de Tsai y colaboradores (Lin, Lin y Tsai, 2014; Lee, Wu y Tsai, 2009; Lin, Lin, Potvin y Tsai, 2019; Tsai y Wen, 2005), que abarcan el periodo comprendido entre 1998 y 2012. Entre otras variables, estos autores trataban de dilucidar los cambios en las preferencias de investigación a nivel internacional mediante el análisis de los artículos publicados en algunas de las revistas más relevantes en DCE (*International Journal of Science Education*, *Journal of Research in Science Teaching* y *Science Education*).

En consonancia con lo descrito, esta investigación se plantea como objetivo cubrir una ausencia de este tipo de investigaciones en el ámbito español, mostrando una panorámica del estado de la cuestión en el área de DCE a partir del análisis sistemático del contenido publicado en las cuatro principales

revistas españolas de investigación del área (excluyéndose las que tienen una orientación puramente profesional) y contrastándolo con otros estudios internacionales. Las revistas son, ordenadas según el índice de impacto de Dialnet Metrics (2018)<sup>1</sup>: *Enseñanza de las Ciencias (EC)*, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias (Eureka)*, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales (DCES)* y *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (REEC)*. En este sentido, pretendemos responder a las siguientes preguntas, tanto globalmente como para cada revista:

- ¿Con qué frecuencia publicaron en estas revistas autores de diferentes países durante el periodo 2014-2018?
- ¿Cuál es el tipo de colaboración entre los autores?
- ¿Qué tipo de artículos se han publicado a lo largo de estos cinco años?
- ¿En qué etapas educativas se centra la investigación en DCE publicada en las revistas españolas?
- ¿Qué temáticas abordan los artículos sobre DCE en función de la revista y año de publicación?
- ¿Qué similitudes y diferencias se observan con el ámbito internacional?

## MÉTODO

### Muestra

La presente revisión de la literatura, que sigue un procedimiento similar al desarrollado por Tsai y Wen (2005), incluyó aquellos artículos publicados en las revistas españolas *EC*, *Eureka*, *DCES* y *REEC* durante el periodo 2014-2018, ambos inclusive, que abordaban la DCE. Se trata de revistas que nacieron entre 1983 y 2004, indexadas en Dialnet Metrics (2018); la primera de ellas lo está también en la *Web of Science-Claravite analytics*, y las dos primeras en *SCOPUS*. Las cuatro revistas admiten trabajos en castellano, si bien algunas también aceptan trabajos en otras lenguas (inglés en el caso de *DCES* y *REEC*, y portugués, catalán, vasco, gallego, francés e italiano en el caso de *REEC*). Conviene destacar que los artículos de tipo «editorial», «comentarios» o «reseñas» fueron excluidos del análisis, así como artículos de otras didácticas específicas (de Matemáticas en el caso de *EC* y de Ciencias Sociales en el de *DCES*), por lo que quedan un total de 504 artículos (tabla 1). Tampoco se consideraron aquellos números extraordinarios o monográficos cuya publicación fue motivada por algún evento académico (congresos, seminarios de investigación, etc.).

Tabla 1.  
Resumen de los artículos incluidos en la revisión

Año	<i>EC</i>	<i>Eureka</i>	<i>DCES</i>	<i>REEC</i>	Total
2018	20	40	8	35	103
2017	24	45	8	26	103
2016	20	49	11	26	106
2015	18	41	7	21	87
2014	48	32	7	18	105
Total	130	207	41	126	504

1. Para justificar las revistas seleccionadas y el orden en el que se presentan hemos utilizado Dialnet Metrics: *EC* (0,948), *Eureka* (0,664), *DCES* (0,316) y *REEC* (0,092).

El análisis sistemático del contenido de los artículos seleccionados lo realizaron los cuatro autores de este trabajo. El procedimiento de codificación se desarrolló en tres fases: (1) codificación piloto de una pequeña muestra de artículos, realizada conjuntamente por todos los autores con el objetivo de aunar criterios en la categorización; (2) codificación independiente de los artículos, adjudicando una revista a cada autor y señalando aquellos documentos cuya codificación pudiera plantear alguna duda, y (3) puesta en común de la codificación realizada por cada uno de los autores, consensuando aquellos casos que presentaban interrogantes. La codificación se realizó de acuerdo con las siguientes unidades de análisis:

### **Número de autores y nacionalidad de la institución a la que pertenecen**

Se contabilizaron los autores que participaron en los artículos seleccionados y se clasificaron en función de la nacionalidad de la institución en la que declaraban estar afiliados. La información de la cual nos servimos para esta unidad de análisis se corresponde con aquella manifestada en las afiliaciones de los autores, generalmente al inicio de cada uno de los artículos.

### **Tipo de colaboración**

La información utilizada para codificar esta información partió también de las afiliaciones de los autores. Así, se consideraron cuatro categorías para analizar la colaboración entre autores:

1. Interdepartamental: colaboran autores adscritos a distintos departamentos de una misma universidad.
2. Interuniversitaria: colaboran autores adscritos a universidades diferentes.
3. Interinstitucional: colaboran autores de distintas instituciones (universidades, centros de educación infantil, primaria y/o secundaria, centros de investigación, museos...).
4. Sin colaboración: no existe colaboración, es decir, la categoría contempla aquellos artículos de un solo autor, o aquellos en los que todos sus autores pertenecen al mismo departamento universitario, escuela, instituto u otra institución.

A excepción de aquellos artículos de la categoría «sin colaboración», el resto de los estudios se incluyó en uno, dos o los tres tipos de colaboración establecidos.

### **Tipo de artículo**

El tipo de artículo se clasificó de acuerdo con las categorías propuestas por Smith et al. (1998), las cuales también inspiraron el trabajo de Tsai y Wen (2005). Se consideraron las siguientes:

1. Empírico: investigaciones con diseño cuantitativo, cualitativo o de método mixto.
2. De posición: aquellos en los que los investigadores articulan una posición específica para una determinada temática de la DCE.
3. Teórico: trabajos en los que se propone una nueva teoría, o un marco teórico, sobre alguna temática de DCE.
4. De revisión: cuando los investigadores discuten la literatura sobre alguna temática de DCE sin manifestar una posición sólida.
5. Otros: artículos que presentan una descripción de un determinado programa de reforma educativa, una propuesta o experiencia innovadora, etc.

## Etapa educativa

La etapa educativa en la que se ubicó cada uno de los artículos analizados se codificó en función de la etapa en la que se llevó a cabo la investigación. Así, se establecieron cinco categorías: (1) Educación Infantil, (2) Educación Primaria, (3) Educación Secundaria, (4) Universidad y (5) no asignable. La última categoría engloba los estudios teóricos, de posición, de revisión, análisis curriculares o de libros de texto, así como los desarrollados en contextos de enseñanza-aprendizaje (E-A) no formales, informales y los destinados al desarrollo profesional de docentes en activo.

## Temática del artículo

Los artículos se clasificaron en nueve categorías: (1) formación de docentes; (2) enseñanza; (3) aprendizaje y cambio conceptual en los estudiantes; (4) contextos de aprendizaje y características del alumno; (5) política educativa, currículo y evaluación educativa; (6) cuestiones culturales, sociales y de género; (7) historia, filosofía, epistemología y naturaleza de la ciencia; (8) tecnología educativa, y (9) enseñanza y aprendizaje informal. Estas fueron definidas por Tsai y Wen (2005) a partir de las establecidas por la National Association for the Research in Science Teaching. Los descriptores que definen cada categoría son (con asterisco, los añadidos en este estudio):

1. Formación de docentes: formación de futuros maestros y profesores; desarrollo profesional de docentes; programas y políticas de formación docente; cuestiones relacionadas con la reforma de la formación docente; enseñar a enseñar\*.
2. Enseñanza: cognición docente; conocimiento del contenido\*; conocimiento pedagógico y conocimiento pedagógico del contenido; formas de representación del conocimiento (por ejemplo, metáforas, imágenes, etc.); liderazgo; maestros ejemplares; pensamiento, percepciones y conductas del docente; estrategias de enseñanza; libros de texto\* (los que centran su atención en el docente).
3. Aprendizaje y cambio conceptual en los estudiantes (Aprendizaje): métodos para investigar la comprensión y adquisición de contenidos por parte de los estudiantes; concepciones alternativas; cambio conceptual; desarrollo conceptual; enfoques y estrategias orientadas al aprendizaje (los que centran su atención en el alumno).
4. Contextos formales de aprendizaje y características del alumno (Contexto - Características del alumno): motivación, interés y actitud del alumnado; ambiente de aula; razonamiento; interacciones docente-discente; interacciones entre compañeros; características afectivas, cognitivas y procedimentales del alumnado; lenguaje, escritura y argumentación en el aprendizaje de las ciencias; factores sociales, políticos y económicos relacionados con el estudiante.
5. Política educativa, currículo y evaluación educativa: desarrollo, cambio, difusión o evaluación curricular; análisis social del currículo; formas alternativas de evaluación; evaluación docente; identificación de escuelas efectivas; política curricular y reforma.
6. Cuestiones culturales, sociales y de género: temas multiculturales y bilingües; cuestiones étnicas; cuestiones de género; estudios comparativos desde el punto de vista social, cultural o de género; atención a la diversidad.
7. Historia, filosofía, epistemología y naturaleza de la ciencia: cuestiones históricas; cuestiones filosóficas; cuestiones epistemológicas; cuestiones éticas y morales; naturaleza de la ciencia.
8. Tecnología educativa: ordenadores; aplicaciones o herramientas interactivas; vídeo; integración de la tecnología en la enseñanza; aprendizaje asistido por la tecnología.
9. Enseñanza y aprendizaje informal: aprendizaje de la ciencia en contextos informales y no formales (por ejemplo, museos, entornos al aire libre, etc.); conciencia pública de la importancia de la ciencia.

Los artículos se incluyeron únicamente en una categoría, aquella que mejor se ajustaba a sus características a juicio de los cuatro autores.

Como ejemplo de la codificación realizada, incluimos la del artículo E\_15\_3 (Torres-García, Marrero, Navarro y Gavidia, 2018) (tabla 2).

Tabla 2.  
Ejemplo de codificación de una referencia

Ref.	Año	Tipo de publicación	Temática	Etapas educativa	Nacionalidad (España)	Colaboración interdepartamental	Colaboración interuniversitaria	Colaboración interinstitucional
E_15_3	2018	1	2	2	4	Sí	Sí	2

### Análisis de datos

Se han obtenido frecuencias relativas y absolutas para cada una de las categorías en las distintas unidades de análisis. Además, se ha determinado la media, el mínimo y el máximo de autores por artículo. Por último, se ha calculado el coeficiente V de Cramer y Chi cuadrado para analizar la asociación entre las variables «temática del artículo», «revista» y «año de publicación». El análisis se ha realizado con SPSS v. 20.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Número de autores y nacionalidad de la institución a la que pertenecen

Entre 2014 y 2018, las contribuciones a las publicaciones de *EC* provinieron de autores afiliados a instituciones de diez países; *Eureka* incluyó a autores de doce países; en *DCES* publicaron autores de seis países, mientras que en *REEC* publicaron autores de ocho países (tabla 3). La apertura internacional de las revistas españolas es considerablemente menor que la de las revistas *Science Education (SE)*, *Journal of Research in Science Teaching (JRST)* e *International Journal of Science Education (IJSE)*, de acuerdo con los datos mostrados por Tsai y Wen (2005), que identificaron más de una veintena de nacionalidades en cada una de las revistas que analizaron, lo que resulta coherente con el predominio del inglés como lenguaje de comunicación científica.

Tabla 3.  
Número de autores según el país al que pertenece su institución

<i>País</i>	<i>EC</i>	<i>Eureka</i>	<i>DCES</i>	<i>REEC</i>	<i>Total</i>
España	276 (77,1 %)	357 (70,8 %)	97 (78,9 %)	55 (15,6 %)	785 (58,7 %)
Brasil	3 (0,8 %)	10 (2,0 %)	-	263 (74,7 %)	276 (20,6 %)
Argentina	44 (12,3 %)	58 (11,5 %)	10 (8,1 %)	14 (4,0 %)	126 (9,4 %)
México	9 (2,5 %)	17 (3,4 %)	-	8 (2,3 %)	34 (2,5 %)
Chile	11 (3,1 %)	19 (3,8 %)	-	-	30 (2,2 %)
Portugal	4 (1,1 %)	9 (1,8 %)	-	9 (2,6 %)	22 (1,6 %)
Colombia	7 (1,9 %)	13 (2,6 %)	1 (0,8 %)	-	21 (1,5 %)
Reino Unido	1 (0,3 %)	-	13 (10,6 %)	-	14 (1,0 %)
Uruguay	-	12 (2,4 %)	1 (0,8 %)	-	13 (0,9 %)
Bolivia	-	5 (1,0 %)	-	-	5 (0,4 %)
Bosnia	-	2 (0,4 %)	-	-	2 (0,2 %)
Estados Unidos	2 (0,6 %)	-	-	-	2 (0,2 %)
Costa Rica	-	1 (0,2 %)	-	-	1 (0,1 %)
Ecuador	-	-	1 (0,8 %)	-	1 (0,1 %)
Francia	-	-	-	1 (0,3 %)	1 (0,1 %)
Perú	-	-	-	1 (0,3 %)	1 (0,1 %)
Alemania	1 (0,3 %)	-	-	-	1 (0,1 %)
Venezuela	-	1 (0,2 %)	-	-	1 (0,1 %)
Túnez	-	-	-	1 (0,3 %)	1 (0,1 %)
Total	358	504	123	352	1337
Promedio*	2,75	2,43	3	2,77	2,64
Mínimo*	1	1	1	1	1
Máximo*	18	5	6	8	18

\*Presentan datos referidos al número de autores por artículo.

Durante el periodo 2014-2018 se publicaron 504 artículos sobre DCE en las cuatro revistas analizadas (tabla 1), en los cuales participaron un total de 1337 autores (tabla 3). Ello arroja un índice de colaboración medio de 2,64 autores por trabajo publicado, resultado sensiblemente superior al obtenido por Anta y Pérez (2007) en su estudio para el área de DCE (1,81) o aquel hallado por Aguilera et al. (2018) en una revisión de artículos sobre la enseñanza de las ciencias basada en indagación publicados entre 2007 y 2017 en las revistas españolas especializadas en DCE (1,49). Este hecho parece apuntar a un incremento de la colaboración en las producciones científicas del área de DCE en los últimos años. Dicho incremento en el número de autores coincide con una tendencia global en las ciencias sociales, que es aún más acusada en las ciencias experimentales e ingenierías (Fortunato et al., 2018). Cabe señalar que, también en todas las áreas de conocimiento, los artículos de mayor impacto se asocian con una mayor probabilidad a equipos de investigación más numerosos (Fortunato et al., 2018). El trabajo de Mellado et al. (2014) es un ejemplo representativo de la relación causal establecida por Fortunato et al. (2018). En este participan 18 investigadores, además de presentar un elevado grado de colaboración interuniversitaria (cinco universidades) e interdepartamental (dos departamentos de la Universidad de Extremadura). También supera ampliamente, tanto en número de visitas (1650, según la web de *EC*

–18 de mayo de 2020–) como de citas en Google académico (69), al resto de artículos publicados en su mismo número (entre 300 y 1000 visitas, y entre 1 y 30 citas), y que cuentan con un menor número de autores y grado de colaboración.

Desde la perspectiva individual, las publicaciones de la revista *DCES* demuestran un índice de colaboración medio de tres autores por trabajo, superior al calculado para *EC* (2,75), *Eureka* (2,43) y *REEC* (2,77).

El idioma de los artículos (o idiomas en el caso de *REEC*: español y portugués), junto a la nacionalidad de la propia revista, parecen estar altamente relacionados con la frecuencia en la que publican autores que dominan dicho idioma, o que comparten nacionalidad con la revista. En este sentido, la nacionalidad predominante en las revistas *EC*, *Eureka* y *DCES* es la española, que significa más del 70 % del volumen de autores que han publicado en ellas durante el periodo analizado (este porcentaje llega al 90 %, si consideramos el ámbito hispanoamericano). De igual modo, más del 74 % de los autores que publican en *REEC* están afiliados a instituciones brasileñas, coincidiendo su lengua oficial con uno de los idiomas en los que esta revista publica: el portugués. Este hallazgo se ha repetido en otros trabajos similares, centrados en el análisis de revistas de Estados Unidos, británicas y/o australianas (Chang, Chang y Tseng, 2010; Lee et al., 2009; Lin et al., 2014; Tsai y Wen, 2005).

Respecto a las tres nacionalidades más frecuentes en las afiliaciones de los autores (tabla 3), encontramos que en *EC* y *Eureka* fueron España, Argentina y Chile, respectivamente; en *DCES* fueron España, Reino Unido y Argentina, situándose como la revista española especializada en DCE con mayor participación de autores anglosajones (en torno al 10 %); finalmente, en *REEC* fueron Brasil, España y Argentina, por lo que constituye la revista con mayor volumen de autores internacionales y la única en la que los españoles no son los mayoritarios.

Finalmente, cabría preguntarse por qué no hay artículos escritos en otras lenguas, además del español y portugués, y si un mayor uso del inglés en estas revistas podría aumentar la internacionalización de la investigación en DCE de las revistas españolas, especialmente en referencia a ámbitos diferentes al latinoamericano, y si esto no contribuiría a un mayor impacto de la producción científica del área de las revistas españolas (de las cuatro revistas consideradas, solo *EC* está indexada en *Web of Science-Claravite Analytics*).

## Tipo de colaboración

El 60,3 % de los estudios analizados no presenta colaboración de ninguno de los tipos establecidos: interdepartamental, interuniversitaria e interinstitucional (tabla 4). El 11,3 % se corresponde con trabajos de un solo autor, mientras que el resto fueron realizados entre investigadores de un mismo departamento universitario. Estos resultados son similares a los obtenidos por Romera-Iruela (2014), quien en su revisión sobre investigación-acción en DCE identificó un 67,5 % de artículos en los que solamente constaba una institución.

Tabla 4.  
Análisis de los artículos según el tipo de colaboración entre autores

<i>Tipo de colaboración</i>	<i>EC</i>	<i>Eureka</i>	<i>DCES</i>	<i>REEC</i>	<i>Total</i>
Interdepartamental	17 (13,1 %)	43 (20,8 %)	6 (20,6 %)	35 (27,8 %)	104 (20,6 %)
Interuniversitaria	31 (23,8 %)	46 (22,2 %)	12 (29,3 %)	36 (28,6 %)	122 (24,2 %)
Interinstitucional	20 (15,4 %)	38 (18,4 %)	7 (17,1 %)	10 (7,9 %)	75 (14,9 %)
Sin colaboración	81 (62,3 %)	120 (57,9 %)	23 (56,1 %)	80 (63,5 %)	304 (60,3 %)

En aquellos casos en los que se ha identificado colaboración han predominado las de tipo interdepartamental (N = 104; 20,6 %) e interuniversitario (N = 122; 24,2 %). Además, de los datos de la tabla 4 podemos afirmar que: (1) en las cuatro revistas predominan los artículos que no evidencian colaboración; (2) *REEC* es la que publica con mayor frecuencia artículos en los que intervienen departamentos universitarios diferentes; generalmente las colaboraciones fueron entre departamentos de ciencias y didáctica de las ciencias; (3) de los artículos publicados en la revista *DCES*, casi el 30 % mostraron una colaboración del tipo interuniversitaria, y (4) la revista *Eureka* es la que publica más artículos con colaboraciones interinstitucionales, en los que suelen participar asiduamente profesorado en activo de las distintas etapas educativas.

Esta situación podría sugerir que para aumentar la significación y el impacto del área se debería aumentar este grado de colaboración para incidir, entre otros aspectos, en una mayor interdisciplinariedad. Ya subrayaba Porlan (1990) que una de las necesidades de la DCE, hace ya treinta años, era precisamente aumentar el grado de interdisciplinariedad.

### Tipo de publicación

La tabla 5 muestra, por un lado, la totalidad de las diferentes tipologías de artículos publicados durante el periodo analizado, y por otro la frecuencia con la que aparece cada una de ellas en las cuatro revistas analizadas.

Tabla 5.  
Tipos de publicación analizados por revistas

<i>Tipo de publicación</i>	<i>EC</i> <i>N = 130</i>	<i>Eureka</i> <i>N = 207</i>	<i>DCES</i> <i>N = 41</i>	<i>REEC</i> <i>N = 126</i>	<i>Total</i> <i>N = 504</i>
Empírico	103 (79,2 %)	133 (64,3 %)	25 (61,0 %)	104 (82,5 %)	365 (72,4 %)
De posición	2 (1,5 %)	2 (1,0 %)	6 (14,6 %)	-	10 (1,9 %)
Teórico	3 (2,3 %)	8 (3,9 %)	-	2 (1,6 %)	13 (2,6 %)
Revisión	14 (10,8 %)	10 (4,8 %)	1 (2,4 %)	6 (4,8 %)	31 (6,2 %)
Otros	8 (6,2 %)	54 (26,1 %)	9 (22,0 %)	14 (11,1 %)	85 (16,9 %)

Respecto a los valores totales, los resultados indican que los trabajos empíricos han sido el tipo de publicación preferente (N = 365; 72,4 %). Esta tendencia también ha sido manifestada, aunque de forma más acrecentada, con frecuencias relativas que subieron del 86,9 % en el quinquenio 1998-2012 al 94,4 % en el quinquenio 2013-2017 (Lee et al., 2009; Lin et al., 2014; Lin et al., 2019; Tsai y Wen, 2005), en las revistas *SE*, *JRST* e *IJSE*; así como en investigaciones publicadas en ámbito europeo (actas del congreso ESERA y la revista *NORDINA*), con valores por encima del 80 % en el periodo 2005-

2013 (Lampiselkä, Kaasinen, Kinnunen y Malmi, 2019). Por el contrario, los artículos de posición (1,9 %), teóricos (2,6 %) y de revisión (6,2 %) se publican con baja frecuencia en las revistas españolas especializadas en DCE, algo que ocurre de igual modo, o incluso en algún caso con menor proporción aún, en las revistas *SE*, *JRST* e *IJSE* (Lin et al., 2019). Sin embargo, el número de artículos publicados sobre innovación educativa (propuestas y experiencias didácticas) –codificados en la tipología de publicación «*otros*»– demuestra la principal diferencia entre las revistas nacionales *EC*, *Eureka*, *DCES* y *REEC* (16,9 %) y las revistas internacionales *SE*, *JRST* e *IJSE* (<2 %).

Las revistas españolas parecen asumir en mayor medida la necesidad de ampliar su alcance a docentes de ciencias, cuyos intereses y formación seguramente difieren de los investigadores y académicos de la DCE, lo que puede respaldarse con los datos provistos por las propias revistas. Así, si consultamos el último número publicado en 2018 por *EC*, el artículo más visitado ha sido el de García-Martínez, García-Martínez, Andreo-Martínez y Almela-Ruiz (2018),<sup>2</sup> sobre innovación educativa. En el caso de la revista *Eureka*,<sup>3</sup> si consultamos la sección «Más leídos en la última semana», es altamente probable que encontremos artículos sobre innovación educativa, como el elaborado por Heredia-Ávalos (2017) o por Aguilar-Muñoz y Durán-Torres (2011).

En cuanto a los resultados obtenidos para cada revista, encontramos que en todas predominaron los artículos empíricos, oscilando entre el 61,0 y el 82,5 %. También identificamos que:

- *REEC* fue la revista con mayor frecuencia relativa en artículos empíricos, pero no publicó ningún artículo de posición durante el periodo 2014-2018.
- *DCES* fue la revista que publicó más artículos de posición (N = 6; 14,6 %) y menos artículos teóricos (ninguno) en los cinco años analizados.
- *EC* fue la que más artículos de revisión publicó (N = 14; 10,8 %).
- *Eureka* publicó más propuestas y experiencias educativas (N = 54; 26,1 %) que ninguna otra de las analizadas.

## Etapas educativas

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 6, la Educación Secundaria se presenta como la etapa educativa preferente para investigar en DCE (34,3 %), hecho que han destacado algunos autores, como Benarroch (2010), Oliva (2010) y Pro (1998), en revisiones nacionales anteriores. De igual modo, las etapas de Educación Infantil y Primaria parecen quedar relegadas a un segundo plano en la investigación e innovación publicadas en las revistas de DCE españolas; entre ambas aglutinan solo un 10,7 % de los artículos revisados. También Benarroch (2010) obtuvo una frecuencia relativa de 10,4 % en los 726 trabajos publicados en las Actas del VIII Congreso Internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias. Por tanto, recurriendo a una vieja canción, podríamos afirmar que «aquí (en el área de DCE) todo sigue igual». Cabe señalar que en el ámbito internacional esta tendencia no resulta tan pronunciada, al menos para la educación primaria. Así, en una revisión de artículos de revistas internacionales en el ámbito de la educación biológica entre 1997 y 2014 los trabajos sobre educación primaria alcanzaban a ser el 20 %, si bien se consideraba hasta el 8.º curso (Gul y Sozbilir, 2016).

2. <https://ensciencias.uab.es/article/view/v36-n3-garcia2-garcia3-andreo-et-al/2473-pdf-es>

3. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/index>

Tabla 6.  
Etapas educativas en las que se centran los estudios

<i>Etapas educativas</i>	<i>EC</i> N = 130	<i>Eureka</i> N = 207	<i>DCES</i> N = 41	<i>REEC</i> N = 126	<i>Total</i> N = 504
Educación infantil	5 (3,8 %)	4 (1,9 %)	-	-	9 (1,8 %)
Educación primaria	23 (17,7 %)	9 (4,3 %)	3 (7,3 %)	10 (7,9 %)	45 (8,9 %)
Educación secundaria	46 (35,4 %)	80 (38,6 %)	12 (29,3 %)	35 (27,8 %)	173 (34,3 %)
Universidad	31 (23,9 %)	56 (27,1 %)	17 (41,5 %)	39 (30,9 %)	143 (28,4 %)
No asignable*	25 (19,2 %)	58 (28,0 %)	9 (21,9 %)	42 (33,3 %)	134 (26,6 %)

\*Engloba estudios teóricos, de posición, de revisión, análisis curriculares y de libros de texto, así como estudios destinados a contextos de E-A informales y a desarrollo profesional (profesorado en activo).

Al hilo de lo anterior, pero desde la perspectiva individual, las revistas *EC* y *Eureka* son las únicas que publicaron artículos centrados en la etapa de educación infantil, cinco y cuatro trabajos respectivamente. En el caso de la educación primaria, la revista *EC* es quien publica mayor volumen de artículos de investigación (N = 23; 17,7 %) y, en menor medida, innovaciones sobre esta etapa educativa. Por el contrario, *Eureka* es la revista que publica más de la etapa de educación secundaria (N = 80; 38,6 %), mientras que las revistas *DCES* y *REEC* lo hacen con mayor frecuencia en la etapa universitaria (41,5 y 30,9 %, respectivamente).

### Temática del artículo

En la tabla 7 se muestran las frecuencias absolutas y relativas obtenidas en cada temática de acuerdo con la revista en la que fueron publicados los artículos.

Tabla 7.  
Temáticas de los trabajos analizados por revista. Periodo 2014-2018

<i>Temática</i>	<i>EC</i>	<i>Eureka</i>	<i>DCES</i>	<i>REEC</i>	<i>Total</i>
Formación de docentes	5 (3,8 %)	20 (9,7 %)	7 (17,1 %)b	19 (15,1 %)	51 (10,1 %)
Enseñanza	61 (46,9 %)a	37 (17,9 %)b	17 (41,5 %)a	35 (27,8 %)a	150 (29,8 %)a
Aprendizaje	13 (10,0 %)c	45 (21,7 %)a	3 (7,3 %)	25 (19,8 %)b	86 (17,1 %)b
Contexto-características del alumno	27 (20,8 %)b	32 (15,5 %)c	5 (12,2 %)c	21 (16,7 %)c	85 (16,7 %)c
Política-curriculum	11 (8,5 %)	12 (5,8 %)	4 (9,8 %)	5 (4,0 %)	32 (6,4 %)
Cuestiones culturales	1 (0,8 %)	7 (3,4 %)	-	8 (6,3 %)	16 (3,2 %)
Historia, ... de la ciencia	7 (5,4 %)	26 (12,6 %)	1 (2,4 %)	5 (4,0 %)	39 (7,7 %)
Tecnología educativa	5 (3,8 %)	18 (8,7 %)	1 (2,4 %)	4 (3,2 %)	28 (5,6 %)
E-A informal	-	10 (4,8 %)	3 (7,3 %)	4 (3,2 %)	17 (3,4 %)

Nota: a = temática con más publicaciones; b = segunda temática; c = tercera temática.

De acuerdo con estos resultados, las revistas *EC*, *DCES* y *REEC* publican mayoritariamente artículos sobre la temática «Enseñanza», lo que significa entre el 27 y el 47 % del volumen de artículos publicados durante el periodo analizado. Así, la temática de investigación sobre la que más se publicó se centró en el conocimiento didáctico del profesorado, sobre el contenido o sobre libros de texto. Contrariamente a este hallazgo, tradicionalmente los artículos publicados en algunas de las revistas in-

ternacionales de DCE más relevantes (*SE*, *JRST* e *IJSE*) han abordado cuestiones relativas a la temática «Contexto-características del alumno» (Lin et al., 2019). Pero también se han encontrado similitudes con las revisiones realizadas por Tsai y colaboradores (Lee et al., 2009; Lin et al., 2014; Lin et al., 2019; Tsai y Wen, 2005) y en otras revisiones en el ámbito de didáctica de las ciencias (Guly y Sozbilir, 2016; Teo, Goh y Yeo, 2014):

1. Las temáticas que aglutinan mayor volumen de publicaciones son: «Aprendizaje», «Contexto-características del alumno» y «Enseñanza».
2. La temática «E-A informal» es una de las que cuenta con menor número de publicaciones.

Comparativamente, los artículos sobre la temática «Cuestiones culturales» representan el 3,2 % de aquellos publicados en las cuatro revistas españolas analizadas. En cambio, esta temática ha recibido mayor atención por parte de las revistas *SE*, *JRST* e *IJSE*, aglutinando un volumen de publicaciones del 14,3 % durante el periodo 1998-2002 (Tsai y Wen, 2005), aunque bien es cierto que en los tres últimos periodos analizados en estas revistas (2003-2017) descendió claramente, oscilando entre el 4,8 y el 6,8 % (Lin et al., 2019). Podría, por tanto, existir una tendencia global hacia un menor interés de la comunidad investigadora sobre estos temas en los últimos tiempos.

Por un lado, la revista *Eureka* parece centrar su atención en la temática «Aprendizaje», siendo la que presenta mayor volumen de publicación durante el periodo analizado (21,7 %); de igual modo, esta revista es la que más publica en España sobre «Historia... de la Ciencia» (12,6 %) y «Tecnología educativa» (8,7 %). Por otro lado, las temáticas «Formación de docentes» y «Política-curriculum» reciben mayor atención por la revista *DCES* (17,1 y 9,8 %, respectivamente), mientras que *REEC* parece mostrar más interés por las «Cuestiones culturales» (6,3 %) que el resto de revistas analizadas, justo la revista en la que han publicado más autores latinoamericanos, especialmente de Brasil.

Las diferencias en las preferencias de publicación de cada una de las revistas son evidentes según los datos mostrados en la tabla 7, los cuales fueron corroborados por la prueba Chi-cuadrado de Pearson ( $\chi^2 = 81,617$ ;  $p < 0,01$ ), demostrando el coeficiente V de Cramer una asociación moderada entre las variables «revista» y «temática del artículo» (valor = ,232;  $p < 0,01$ ). No existe un análisis de datos equivalente en los otros estudios de revisión aquí utilizados. No obstante, los valores de frecuencia de las temáticas en las tres revistas internacionales de mayor impacto para un periodo equivalente, *SE*, *JRST* e *IJSE*, presentan menos diferencias entre ellas (Lin et al., 2019) que en el caso aquí presentado.

La tabla 8 muestra las frecuencias de cada temática en cada uno de los cinco años revisados.

Tabla 8.  
Temáticas de los trabajos analizados por año

Temática	2014	2015	2016	2017	2018
Formación de docentes	11 (10,5 %)	4 (4,6 %)	9 (8,5 %)	18 (17,5 %) <sup>b</sup>	9 (8,7 %)
Enseñanza	32 (30,5 %) <sup>a</sup>	21 (24,1 %) <sup>a</sup>	38 (35,8 %) <sup>a</sup>	21 (20,4 %) <sup>a</sup>	38 (36,9 %) <sup>a</sup>
Aprendizaje	16 (15,2 %) <sup>c</sup>	21 (24,1 %) <sup>a</sup>	22 (20,8 %) <sup>b</sup>	16 (15,5 %) <sup>c</sup>	11 (10,7 %)
Contexto-características del alumno	20 (19 %) <sup>b</sup>	16 (18,4 %) <sup>b</sup>	14 (13,2 %) <sup>c</sup>	18 (17,5 %) <sup>b</sup>	17 (16,5 %) <sup>b</sup>
Política-curriculum	5 (4,8 %)	4 (4,6 %)	4 (3,8 %)	7 (6,8 %)	12 (11,7 %) <sup>c</sup>
Cuestiones culturales	2 (1,9 %)	3 (3,4 %)	1 (0,9 %)	6 (5,8 %)	4 (3,9 %)
Historia, ... de la ciencia	8 (7,6 %)	7 (8,0 %) <sup>c</sup>	12 (11,3 %)	8 (7,8 %)	4 (3,9 %)
Tecnología educativa	8 (7,6 %)	5 (5,7 %)	3 (2,8 %)	8 (7,8 %)	4 (3,9 %)
E-A informal	3 (2,9 %)	6 (6,9 %)	3 (2,8 %)	1 (1,0 %)	4 (3,9 %)

Nota: a = temática con más publicaciones; b = segunda temática; c = tercera temática.

Dada la elevada fluctuación de los valores obtenidos, con ascensos y descensos significativos de un año para otro en prácticamente la totalidad de las temáticas establecidas, resulta complicado realizar el análisis de tendencias. Muestra de ello son los resultados arrojados por la prueba Chi-cuadrado ( $\chi^2 = 30.163$ ;  $p > 0,05$ ), la cual no identifica asociación entre las variables «temática del artículo» y «año de publicación». Sin embargo, la temática «Enseñanza», a pesar de experimentar notables altibajos, se consolida como la temática de publicación preferente en las revistas españolas en cada uno de los años revisados. Además, la temática «Política-curriculum» parece ser la única que evidencia un patrón de publicación creciente durante el periodo 2014-2018, elevando el volumen de publicación desde el 4,8 % en 2014 hasta el 11,7 % en 2018 (tercera temática con más publicaciones).

## CONCLUSIONES

En esta revisión de la literatura se ha realizado un análisis de los artículos publicados en las principales revistas españolas sobre investigación en DCE (*EC*, *Eureka*, *DCES* y *REEC*) entre 2014 y 2018. El análisis se ha centrado en: (1) el número de autores y la nacionalidad de sus instituciones; (2) el tipo de colaboración; (3) el tipo de publicación; (4) la etapa educativa, y (5) la temática del artículo. Las conclusiones derivadas de este son:

1. Los autores que contribuyen con sus trabajos a las revistas de DCE españolas proceden en su mayoría de instituciones españolas u otras nacionalidades en las que la lengua oficial es el español. Le sigue en importancia el ámbito iberoamericano de habla portuguesa, siendo muy minoritaria las aportaciones desde otros países. El promedio de autores por artículo es cercano a tres, representando un ascenso considerable en el número de firmas por trabajo respecto a estudios anteriores como el de Anta y Pérez (2007), coherente con las tendencias de investigación en ciencias sociales y otras áreas de conocimiento (Fortunato et al., 2018).
2. Los artículos de DCE presentan un grado de colaboración bajo. El 60 % de los trabajos cumplen dos condiciones que fundamentan esta afirmación: el 11 % fueron firmados por un autor, y el 49 %, por autores de la misma institución. El tipo de colaboración más frecuente es universidad-universidad (interuniversitario), siendo notablemente menores las colaboraciones universidad-escuela u otras instituciones.

3. Los artículos empíricos representan el mayor volumen entre los 504 artículos revisados, aunque la literatura publicada por las revistas españolas parece preocuparse en mayor medida por la difusión de propuestas y experiencias didácticas que revistas como *SE*, *JRST* e *IJSE* y otras publicaciones en el ámbito internacional. Ello puede ser indicio de que se está tomando en consideración la necesidad de transferir la investigación a maestros y profesores, además de académicos e investigadores expertos del área.
4. La educación secundaria, identificada tradicionalmente como la etapa educativa más representativa de la DCE, continúa siéndolo actualmente. Esto se puede deber a la formación inicial de la mayoría de los investigadores en DCE, los cuales han realizado estudios superiores en las diferentes disciplinas científicas, cursado posgrados orientados a la etapa de Secundaria e incluso por poseer experiencia docente en dicha etapa. En una situación contraria, encontramos las etapas de Educación Infantil y Primaria, las cuales aglutinan apenas el 10 % de los artículos publicados en los últimos cinco años, valores que pueden ser incluso más bajos que los del contexto internacional.
5. La literatura de DCE publicada en las revistas españolas del área se centra mayoritariamente en las características del profesorado y en las de la enseñanza.

En definitiva, los resultados de este estudio ponen de manifiesto la necesidad de incrementar el número de investigaciones centradas en el alumnado, profundizando en el aprendizaje de las ciencias, además de considerar la influencia del contexto y las características del alumnado sobre aquel. Asimismo, dado el escaso volumen de investigación dedicado a las etapas educativas de infantil y primaria, consideramos imprescindible abrir el área a maestros recientemente graduados o en activo con el fin de incrementar su formación en investigación en DCE y, de este modo, elevar el número de estudios en dichas etapas. Una conclusión similar se extrajo en el Seminario Internacional sobre Investigación en la Enseñanza de las Ciencias de 2004 celebrado en Aveiro (Portugal) de acuerdo con Cachapuz, Lopes, Paixão, Praia y Guerra (2004). Nada parece haber cambiado quince años después.

Al igual que se ha realizado y se está realizando en el ámbito internacional, sería deseable acometer estudios similares a este en el contexto español, bien en periodos anteriores al abarcado, bien posteriores, de manera que se pueda contrastar la evolución de los parámetros analizados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Muñoz, M. L. y Durán-Torres, C. (2011). Química recreativa con agua oxigenada. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, n.º extraordinario, 446-453. Obtenido de <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2737>
- Aguilera, D., Martín, T., Valdivia, V., Ruiz, A., Williams, L., Vílchez, J. M. y Perales, F. J. (2018). La enseñanza de las ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española. *Revista de Educación*, 381, 259-284. <http://dx.doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2017-381-388>
- Anta, C. y Pérez, J. M. (2007). La producción científica sobre Didáctica de las Ciencias. *IV Congreso Comunicación Social de la Ciencia*. Madrid: CSIC.
- Benarroch, A. (2010). La investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales en las etapas educativas de Infantil y Primaria. En A. M. Abril y A. Quesada (Eds.), *XXIV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 32-52). Baeza, Jaén: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Jaén.

- Cachapuz, A. F., Lopes, B., Paixão, F., Praia, J. F. y Guerra, C. (2004). Seminario internacional sobre «el estado actual de la investigación en enseñanza de las ciencias». Reseña por J. M. Oliva. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, 3(1), 167-171.  
[http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2006.v3.i1.14](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i1.14)
- Chang, Y. H., Chang, C. Y. y Tseng, Y. H. (2010). Trends of Science Education Research: An Automatic Content Analysis. *Journal of Science Education and Technology*, 19, 315-331.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s10956-009-9202-2>
- Ezquerro, A., Mafokozi-Ndabishibije, J., Campillejo, A. G., Beneitez-Villamor, A. E. y Morcillo-Ortega, J. G. (2019). Tendencias de las investigaciones sobre la ciencia presente en la sociedad: una revisión sistemática. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(3), 31-47.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2727>
- Fortunato, S., Bergstrom, C. T., Borner, K., Evans, J. A., Helbing, D., Milojevic, S. y Barabasi, A. L. (2018). Science of science. *Science*, 359(6379).  
<http://dx.doi.org/10.1126/science.aao0185>
- García-Martínez, N., García-Martínez, S., Andreo-Martínez, P. y Almela-Ruiz, L. (2018). Ciencia en la cocina. Una propuesta innovadora para enseñar Física y Química en educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(3), 179-198.  
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2473>
- Gil, D., Carrascosa, J. y Martínez-Terrades, F. (2000). Una disciplina emergente y un campo específico de investigación. En F. J. Perales y P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 11-34). Alcoy, Alicante: Marfil.
- Gul, S. y Sozbilir, M. (2016). International trends in biology education research from 1997 to 2014: A content analysis of papers in selected journals. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 12(6), 1631-1651. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1363a>
- Heredia-Ávalos, S. (2006). Experimentos de química recreativa con sulfato de cobre pentahidratado. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 467-484. Obtenido de <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3851>
- Lampiselkä, J., Kaasinen, A., Kinnunen, P. y Malmi, L. (2019). Didactic focus areas in science education research. *Education Sciences*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/educsci9040294>
- Lee, M. H., Wu, Y. T. y Tsai, C. C. (2009). Research Trends in Science Education from 2003 to 2007: A content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 31(15), 1999-2020.  
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690802314876>
- Lin, T.-J., Lin, T.-C., Potvin, P. y Tsai, C.-C. (2019). Research trends in science education from 2013 to 2017: a systematic content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 41(3), 367-387.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1550274>
- Lin, T. C., Lin, T. J. y Tsai, C. C. (2014). Research Trends in Science Education from 2008 to 2012: A systematic content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 36(8), 1346-1372.  
<http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2013.864428>
- Manchón-Gordón, A. F. y García-Carmona, A. (2018). ¿Qué investigación didáctica en el aula de física se publica en España? Una revisión crítica de la última década para el caso de educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(2), 125-141.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2451>

- Mellado, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L.V., Dávila, M. A., Cañada, F., Conde, M. C., Costillo, E., Cubero, J., Esteban, R., Martínez, G., Ruiz, C., Sánchez, J., Garritz, A., Mellado, L., Vázquez, B., Jiménez, R. y Bermejo, M. L. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 11-36.  
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1478>
- Oliva, J. M. (2010). La educación secundaria como foco de atención en las publicaciones de didáctica de las ciencias de revistas de nuestro entorno. En A. M. Abril y A. Quesada (Eds.), *XXIV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 53-66). Baeza, Jaén: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Jaén.
- Perales, F. J. (2018). El área de Didáctica de las Ciencias Experimentales: entre la tribulación y la esperanza. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 2(2), 1-14.  
<https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.3915>
- Porlán, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 175-185.
- Pro, A. (1998). ¿Qué investigamos?, ¿cómo lo hacemos?, ¿a qué conclusiones llegamos?: tres preguntas que hacen pensar. En C. Martínez y S. García (Eds.), *La Didáctica de las Ciencias. Tendencias actuales* (pp. 19-43). A Coruña: Universidade da Coruña.
- Romera-Iruela, M. J. (2014). La investigación-acción en didáctica de las ciencias: perspectiva desde las revistas españolas de educación. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 221-239.  
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.529>
- Smith, M. C., Locke, S. G., Boisse, S. J., Gallagher, P. A., Krengel, L. E., Kuczek, J. E., Mcfarland, J. E., Rapoo, B. y Wertheim, C. (1998). Productivity of educational psychologists in educational psychology journals, 1991-1996. *Contemporary Educational Psychology*, 23, 173-181.
- Teo, T. W., Goh, M. T. y Yeo, L. W. (2014). Chemistry education research trends: 2004-2013. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 470-487.  
<https://doi.org/10.1039/c4rp00104d>
- Torres-García, M., Marrero-Marrero, M., Navarro-Rodríguez, C. y Gavidia-Catalán, V. (2018). ¿Cómo abordan los textos de Educación Primaria la competencia en alimentación y actividad física? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(1), 1103.  
[https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2018.v15.i1.1103](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1103)
- Tsai, C. C. y Wen, L. M. C. (2005). Research and Trends in Science Education from 1998 to 2002: A content analysis of publication in selected journals. *International Journal of Science Education*, 27, 3-14.  
<http://dx.doi.org/10.1080/0950069042000243727>

---

# Research trends in science teaching in Spanish journals 2014-2018

David Aguilera-Morales, José Miguel Vílchez-González, Javier Carrillo-Rosúa, F. Javier Perales-Palacios  
Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación.  
Universidad de Granada (España)  
davidaguilera@ugr.es, jmvilchez@ugr.es, fjcarril@ugr.es, fperales@ugr.es

Science Education (SE) constitutes an area within Education Sciences of recognized solvency and strength. However, as research production grows, some challenges remain to achieve science for all. In the Spanish case, the SE knowledge area emerged in an academic way in the last century and has been growing vigorously despite the difficulties that have arisen from the beginning. Such growth should be accompanied by works that synthesize and critically analyze the accumulated research. This work aims to cover an absence of this type of research in the Spanish environment, showing an overview of the state of the question in the SE area, from the systematic analysis of the content published in the four main Spanish research journals in the area and contrasting it with other international studies.

For this reason, a procedure similar to that developed by Tsai and Wen (2005) is followed, focusing on the Spanish journals *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, *Enseñanza de las Ciencias*, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* and *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, on a sample of 504 specific articles on SE.

The coding procedure was developed in three phases: 1) pilot coding of a small sample of articles, carried out jointly by all the authors with the aim of combining criteria in the categorization; 2) independent codification of the articles, awarding a magazine to each author and indicating those documents whose codification could raise any doubts; and 3) pooling of the coding carried out by each of the authors, agreeing on those cases that presented doubts. It was carried out according to the following units of analysis: 1) number of authors and nationality of the institution to which they belong; 2) type of collaboration; 3) item type; 4) educational level; and (5) theme of the article.

Relative and absolute frequencies were obtained for each of the categories in the different units of analysis. In addition, the mean, minimum and maximum authors per article were determined. Finally, the Cramer and Chi-square coefficient V were calculated to analyze the association between the variables «article topic», «journal» and «year of publication». The analysis was performed with SPSS v.20.

The results indicate the following: 1) the authors who contribute their work to the Spanish SE journals come mostly from Spanish institutions or other nationalities in which the official language is Spanish. The Portuguese-speaking Ibero-American context follows in importance, with contributions from other countries being very minor. The average number of authors per article is close to three, representing a considerable increase in the number of signatures per work compared to previous studies such as that of Anta and Pérez (2007). 2) SE papers have a low degree of collaboration. The most frequent type of collaboration is university-university (inter-university), with university-school or other institutions collaborations being notably less. 3) The empirical articles represent the largest volume among the 504 articles reviewed, although the literature published by Spanish reviews seems to be more concerned with the dissemination of proposals and didactic experiences than reviews such as *SE*, *JRST* and *IJSE* and other publications at the international level. 4) Secondary education is the most representative educational stage of SE. This may be due to the initial training of most researchers in SE and even to their teaching experience at that stage. In a contrary situation, we find the preschool and primary education stages, which bring together just 10 % of the articles published in the last five years. (5) The SE literature published in the Spanish reviews in this area focuses mainly on the characteristics of teachers and on science teaching.





# Aprendizaje de la equidistancia a través de la variación: un estudio con niños de primaria

## Learning equidistance through variation: a study with primary school children

Ivonne Twigg Sandoval Cáceres  
*Universidad Pedagógica Nacional, México*  
isandoval@upn.mx

Leonor Camargo Uribe  
*Universidad Pedagógica Nacional de Colombia*  
lcamargo@pedagogica.edu.co

**RESUMEN** • Presentamos momentos del aprendizaje de la equidistancia de niños de 10 años, al experimentar la variación de elementos de figuras geométricas. La intervención se realizó en una escuela pública de la Ciudad de México en tres sesiones de 90 minutos cada una. Ellos usaron por primera vez un programa de geometría dinámica para construir y explorar propiedades invariantes de circunferencias, triángulos isósceles y equiláteros. Los resultados, fundamentados en la teoría de la variación, muestran que la experimentación realizada fue significativa para conceptualizar la equidistancia, en contraste con la colinealidad y la congruencia, al resolver problemas de geometría.

**PALABRAS CLAVE:** Aprendizaje de la geometría; Conceptualización de equidistancia; Teoría de la variación; Educación Primaria; Geometría dinámica.

**ABSTRACT** • We present 10 year-old children's learning moments on equidistance, that occur when experiencing the variation of elements in geometric figures. The intervention was carried out in a public school in Mexico City in three 90-minute sessions. Children used for the first time a dynamic geometry program to construct and explore invariant properties of circumferences, isosceles and equilateral triangles. The results, based on the theory of variation, show that the experience was significant for conceptualizing equidistance, in contrast to collinearity and congruence, when solving geometry problems.

**KEYWORDS:** Learning of geometry; Equidistance conceptualization; Theory of variation; Primary School; Dynamic geometry.

Recepción: marzo 2020 • Aceptación: julio 2020 • Publicación: junio 2021

Sandoval Cáceres, I. T. y Camargo Uribe, L. (2021). Aprendizaje de la equidistancia a través de la variación: un estudio con niños de primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 63-81. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3254>

## INTRODUCCIÓN

La geometría, vista como el estudio de patrones espaciales en los que se involucran formas, tamaños relativos, localizaciones y estructuras, es una herramienta poderosa para resolver problemas. Su enseñanza, en cualquier nivel educativo, debería promover la construcción significativa de conceptos, relaciones y propiedades geométricas, así como fomentar el uso de estos en la exploración empírica, la formulación de conjeturas y la argumentación (Jones, 2002; Sarama y Clements, 2009; Owens y Outhred, 2006). Estas expectativas son señaladas en documentos que trazan orientaciones curriculares en diversos países, como en México (Secretaría de Educación Pública, 2011, 2017) y Colombia (Ministerio de Educación Nacional, 2006). Adicionalmente, autores como Aravena, Gutiérrez y Jaime (2016) remarcan la necesidad de hacer cambios en la enseñanza de la geometría, desde los primeros grados escolares, a través de metodologías que involucren la resolución de problemas.

Tres relaciones geométricas, que conviene introducir desde los primeros grados de educación básica, son la equidistancia, la colinealidad y la congruencia. Estas son importantes para caracterizar geométricamente formas, tamaños relativos, ubicaciones y movimientos, así como para reconocer regularidades en diversas figuras y en transformaciones geométricas. Samara y Clements (2009) señalan que, si bien estas relaciones se van construyendo intuitivamente desde temprana edad, se requiere investigar con detalle cómo impulsar su conceptualización en la escuela primaria.

En la revisión hecha por Mulligan y Vergnaud (2006), sobre el desarrollo matemático de los niños, no se reportan investigaciones relacionadas con el aprendizaje de la equidistancia en educación primaria. Tampoco en los dos documentos donde se revisan investigaciones publicadas en actas del PME<sup>1</sup> (desde 1996 hasta 2015) sobre el aprendizaje de la geometría y la medida (Owens y Outhred, 2006; Jones y Tzekaki, 2016). En Sinclair et al. (2016), los reportes investigativos se centran principalmente en el desarrollo del sentido espacial global, el reconocimiento de formas bidimensionales y tridimensionales, el papel del dibujo en la construcción de significados de figuras, relaciones y transformaciones geométricas y la caracterización de niveles de razonamiento; pero no se documentan estudios sobre la relación geométrica de la que se ocupa nuestra investigación.

Identificamos entonces un área investigativa aún no suficientemente explorada, que se ocupe de estudiar la construcción del significado de la equidistancia en contraste y separación con otras relaciones como la colinealidad y la congruencia y de buscar formas para que los estudiantes las diferencien, pero también las relacionen. Nos preguntamos entonces ¿qué experiencias de aprendizaje se constituyen en una oportunidad para que niños de primaria avancen en la construcción significativa de la equidistancia?

En busca de una respuesta, vemos promisorio el uso de programas de geometría dinámica en el diseño de tareas para el aula que promuevan el estudio de relaciones geométricas de manera dinámica. Programas como GeoGebra o Cabri estimulan la exploración de representaciones geométricas cuya apariencia visual puede ser modificada a voluntad para centrar la atención en propiedades que permanecen invariantes. Así, el estudio de la geometría se redimensiona para ir más allá del reconocimiento perceptual-visual global, acercamiento usual en la educación primaria, y avanzar hacia la externalización gráfica de diferentes atributos que cambian y de aquellos que permanecen invariantes y determinan figuras geométricas (Healy, 2000; Mariotti, 2000). El ambiente dinámico estimula el tránsito del universo empírico de las formas hacia el universo del conocimiento geométrico, que esperamos que nuestros estudiantes alcancen al finalizar la educación básica (Sandoval, 2009).

En este artículo reportamos hallazgos de una experiencia educativa e investigativa, llevada a cabo con estudiantes que iniciaban su último año escolar de educación primaria en una zona periférica y

1. Por sus siglas en inglés de *Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*.

de alta marginación de la Ciudad de México. Trabajamos con ellos cuatro problemas de geometría, al tiempo que los enseñamos en el uso del programa Cabri. Nuestra intención didáctica era propiciar su avance en producir enunciados que explicitaran relaciones de dependencia relativas a hechos geométricos, a partir de la evidencia obtenida por exploración empírica, y explicar el asunto que plantea el enunciado proponiendo inferencias, más allá de la experiencia directa.

Para el análisis elegimos la teoría de la variación (Leung, 2003, 2008; Lo, 2012), dado su potencial para analizar el aprendizaje en contextos dinámicos. Mostramos los patrones de variación experimentados por los niños, que les permitieron discernir la relación de equidistancia entre puntos que pertenecen a circunferencias o a triángulos, en contraste con la colinealidad de puntos y la congruencia de segmentos. Adicionalmente, dado que las situaciones de enseñanza que estimulan la interacción entre profesor y estudiantes tienen una gran influencia en lo que aprenden (Pang, Bao y Ki, 2017), en el análisis señalamos aspectos de la gestión del profesor que impulsaron o limitaron el discernimiento por parte de los estudiantes. En un artículo previo (Camargo y Sandoval, 2017), dimos cuenta de las fases por las que pasaron los niños en la resolución de dos de los problemas propuestos en esta experiencia, teniendo en cuenta la propuesta de Marton, Runesson y Tsui (2004) y Leung (2003, 2008).

## UN ACERCAMIENTO AL APRENDIZAJE DE LA GEOMETRÍA A TRAVÉS DE PATRONES DE VARIACIÓN

Como lo plantean Jones y Herbst (2012), hay diferentes rangos de teorías en educación matemática. La teoría de la variación forma parte de aquellas que están centradas en la interacción profesor-estudiante. Surge al unir dos propuestas, una oriental (elaborada por Gu en China) y una occidental (desarrollada por Marton y sus colegas en Suecia). Esta ha mostrado ser efectiva para promover en los estudiantes el aprendizaje de las matemáticas en diferentes contextos (Gu, Huang y Marton, 2004). En la actualidad hay un creciente interés en la comunidad de investigadores por usarla y discutirla (por ejemplo, Lo, 2012; Jones y Herbst, 2012; Huang, Barlow y Prince, 2016; Huang y Li, 2017), así como para refinar algunos de sus elementos y ampliarla a otros contextos, como por ejemplo con el uso de artefactos tecnológicos (Leung, 2003, 2008).

Según la teoría de la variación, el aprendizaje de un objeto de conocimiento se favorece cuando se experimentan cambios al explorar representaciones variadas y dinámicas de este. Las formas de concebir una entidad se relacionan con aquellos de sus aspectos críticos en los que es indispensable enfocarse. Como señala Lo (2012), es tarea del profesor promover oportunidades para experimentar la variación y evaluar el aprendizaje a partir del rastreo de cambios en la forma de concebir la entidad a lo largo de un proceso.

En educación matemática nos referimos a la construcción de significado de objetos y relaciones matemáticas por medio de la identificación de sus propiedades invariantes. Estas son detectadas al experimentar, mental o físicamente, variaciones en representaciones dinámicas de estos (Leung, 2003, 2008). Este proceso es denominado *discernimiento*. Las propiedades matemáticas deben discernirse, es decir, ser foco de atención, identificación y diferenciación, en situaciones de variación, para construir su significado.

En Camargo y Sandoval (2017) señalamos tres presupuestos centrales de la teoría de la variación acerca del aprendizaje. Uno, el discernimiento de una propiedad está relacionado con la riqueza y diversidad de experiencias de variación experimentadas por quien aprende, donde tal propiedad se reconoce como una cualidad invariante. Dos, no basta reconocer la invariancia de una propiedad en representaciones que la poseen; es necesario identificar tal propiedad como una dimensión de variación, es decir, susceptible de adoptar diversos valores en otras entidades o situaciones. Tres, no basta con ser informado sobre las propiedades de una entidad para construir su significado; es necesario ex-

perimentar personalmente los posibles valores que puede tener una dimensión de variación, identificar en cuáles el valor es siempre el mismo y reconocerlo como un invariante.

Hay diversas maneras de experimentar la variación para identificar cualidades invariantes, es decir, propiedades. En la teoría de la variación se identifican cuatro patrones de variación.

*Contraste:* Este patrón sucede cuando una experiencia de variación permite distinguir entidades o situaciones que tienen una propiedad de interés de otras que no la tienen. Es decir, un valor de la cualidad comienza a notarse porque se compara con otros valores que adopta la cualidad en otras entidades o situaciones. En ese sentido, el aprendiz reconoce que hay al menos dos valores de la cualidad (Lo, 2012; Marton et al., 2004; Marton y Pang, 2009). Por ejemplo, al explorar representaciones de tres puntos, colineales o no, y en los que se varía a propósito la posición entre ellos, los estudiantes pueden comenzar a discernir la equidistancia entre pares de puntos, diferenciándola de la colinealidad. Para construir el significado de equidistancia la atención se enfoca en diferenciar pares de puntos que están a la misma distancia de aquellos que no, estén o no alineados (véase tabla 1).

Tabla 1.  
Ejemplo de patrón de contraste

<i>Valores de la cualidad</i>	<i>Patrón de contraste</i>	<i>Propiedad esencial por discernir</i>
Dados dos puntos cuya distancia es $a$ , hay pares de puntos que pueden estar a la misma distancia $a$ (son equidistantes) y hay pares de puntos que no están a la misma distancia $a$ (no son equidistantes).	Dos puntos son equidistantes a un tercero y también están alineados con este. Dos puntos son equidistantes a un tercero y no están alineados con este. Dos puntos no son equidistantes a un tercero y son colineales con este.	Hay pares de puntos que son equidistantes y no necesariamente colineales.

*Separación:* Este patrón tiene dos interpretaciones:

- Una, cuando la experiencia de variación permite identificar una cualidad invariante en diversas representaciones de una misma entidad o situación, donde otras cualidades varían (Lo, 2012). La cualidad así discernida se ve como independiente de otras cualidades del objeto, se separa de estas. Por ejemplo, al experimentar con diversas representaciones de triángulos isósceles es posible que los estudiantes identifiquen la equidistancia entre dos pares de vértices como una propiedad de tales triángulos, sin importar las longitudes específicas de los lados o la medida de ángulos interiores.
- Dos, cuando la experiencia de variación permite identificar una cualidad invariante en diversas entidades o situaciones (Leung, 2015). La cualidad así discernida se separa de las entidades o circunstancias donde se experimentó para convertirse en un objeto, en sí misma, y usarse como relación para resolver problemas. Por ejemplo, los estudiantes pueden identificar la equidistancia entre pares de vértices en triángulos isósceles o equiláteros, en pares de extremos de radios de una circunferencia o de circunferencias congruentes, etc. Así, la equidistancia no es «propia» de una sola entidad, se separa de esta y surge como una relación «equidistancia entre» pares de puntos (véase tabla 2).

Tabla 2.  
Ejemplo de patrón de separación

<i>Valores de la cualidad</i>	<i>Patrón de separación</i>	<i>Propiedad esencial por discernir</i>
Dados dos puntos cuya distancia es $a$ , hay pares de puntos que pueden estar a la misma distancia $a$ (son equidistantes) y hay pares de puntos que no están a la misma distancia $a$ (no son equidistantes).	En los triángulos isósceles hay dos pares de vértices equidistantes, sin importar las medidas de los lados y de los ángulos.	La equidistancia es una relación entre pares de puntos en los que se conserva la misma distancia.
	En los triángulos equiláteros cualquier par de vértices equidista de los otros dos pares de vértices.	
	En una circunferencia, un punto de esta y el centro son equidistantes de cualquier otro de sus puntos y el centro.	

*Generalización:* Este patrón sucede cuando una propiedad se identifica como cualidad invariante y necesaria en una entidad o situación en las que otras cualidades varían y se la reconoce como distintiva o determinante de la entidad o situación. Por ejemplo, al representar circunferencias en las que se varía a propósito su apariencia, cambiando el tamaño o la posición del centro, se discierne que no puede haber alguna donde existan puntos no equidistantes del centro (véase tabla 3).

Tabla 3.  
Ejemplo de patrón de generalización

<i>Valores de la cualidad</i>	<i>Patrón de generalización</i>	<i>Propiedad esencial para discernir</i>
Dados dos puntos cuya distancia es $a$ , hay pares de puntos que pueden estar a la misma distancia $a$ (son equidistantes) y hay pares de puntos que no están a la misma distancia $a$ (no son equidistantes).	No es posible que una circunferencia tenga algunos puntos que no equidisten del centro.	En cualquier circunferencia, todos los puntos equidistan del centro.

*Fusión:* Este patrón sucede cuando se articulan dos o más propiedades, apreciándolas simultáneamente en diferentes entidades o situaciones al enfocar la atención en ellas, después de haberlas generalizado por separado. Por ejemplo, al experimentar la variación de la longitud (cualidad que varía) de radios de una circunferencia, se puede enfocar la atención primero en la congruencia entre pares de radios (cualidad que no varía) y luego en la distancia del centro a cualquier punto de la circunferencia (cualidad que no varía). La fusión sucede cuando se identifica la indisolubilidad de las dos cualidades invariantes: congruencia de radios y equidistancia de los puntos de la circunferencia al centro de esta (véase tabla 4).

Tabla 4.  
Ejemplo de patrón de fusión

<i>Cualidad 1 invariante</i>	<i>Cualidad 2 invariante</i>	<i>Cualidades indisolubles invariantes</i>
Congruencia de los radios de una circunferencia.	Equidistancia de los puntos de la circunferencia al centro.	Relación entre la congruencia de los radios y la equidistancia entre los puntos de la circunferencia y el centro.

Las experiencias de variación conducen entonces a discernir cualidades como propiedades invariantes. Cuando se discierne más de una propiedad se hace referencia a la simultaneidad en la identificación de cualidades esenciales del objeto, lo cual contribuye de manera contundente a la construcción de significados de este.

## ASPECTOS METODOLÓGICOS<sup>2</sup>

Nuestro objetivo de investigación es dar cuenta de experiencias de aprendizaje que son oportunidades para que niños de último grado de Educación Primaria avancen en la construcción significativa de la relación de equidistancia. Para ello realizamos un *experimento de enseñanza* (Steffe y Thompson, 2000) en tres sesiones de clase, cada una de 90 minutos, al comienzo del ciclo escolar 2015-2016. Los participantes fueron 25 niños de 10 años, un grupo completo de una escuela pública, a quienes seleccionamos por el interés de su maestra en apoyar procesos investigativos. Ellos trabajaron en parejas o tríos, utilizando el programa Cabri. Aunque no tenían experiencia previa con geometría dinámica, sí estaban familiarizados con acciones de mover objetos en tabletas.<sup>3</sup>

Organizamos las tareas en una secuencia de cuatro problemas cuya meta final preveía dos aprendizajes, uno vinculado al proceso de construcción y otro a la argumentación, a través de la explicación («por qué»). Los niños debían lograr construir un triángulo equilátero en Cabri, cuyos lados permanecieran congruentes, aunque la representación sufriera variaciones debidas al arrastre de los vértices. También debían explicar la congruencia entre los lados del triángulo, apoyándose en construcciones auxiliares de circunferencias. Concebimos entonces una secuencia en la que los estudiantes tuvieran la oportunidad de explorar la relación de equidistancia en diversos objetos, sin proporcionarles procedimientos convencionales de construcción. En este sentido, los problemas se consideran como tareas para «hacer matemáticas» (Huang, Barlow y Prince, 2016). Para discernir la equidistancia ellos debían contrastarla y separarla de otras relaciones geométricas como la colinealidad, la interestancia<sup>4</sup> y la congruencia.

A medida que los niños aprendían a usar Cabri, esperábamos que consideraran la circunferencia como una opción para construir, verificar y justificar equidistancias entre puntos y congruencia entre segmentos. La gestión de la profesora debía enfocarse en apoyar la búsqueda de opciones de construcción e incentivar argumentos basados en cualidades invariantes y no en la percepción visual o los valores específicos de medidas.

En la tabla 5 presentamos los problemas, así como las intenciones didácticas relacionadas con la relación de equidistancia.

2. El acercamiento metodológico de la investigación es el mismo al presentado en Camargo y Sandoval (2017), por lo que este apartado es similar.

3. Debido a su participación en el Programa de Inclusión y Alfabetización Digital (PIAD). Para mayor información, consúltese: <https://www.gob.mx/mexicodigital/articulos/programa-de-inclusion-y-alfabetizacion-digital-piad>.

4. La interestancia es la relación «estar entre» y se define así: El punto C está entre A y B, si se cumplen dos condiciones: *i*) A, B y C son colineales, y *ii*) la suma de las distancias de A a C y de C a B es igual a la distancia de A a B (Samper, Molina y Echeverry, 2013).

Tabla 5.  
Enunciados de los problemas e intenciones didácticas

<i>Enunciado del problema</i>	<i>Intenciones didácticas</i>
P1. Determinar varios puntos que estén a la misma distancia de un punto dado A. Identificar en qué objeto geométrico se encuentran todos los puntos que están a la misma distancia de A.	Discernir que la relación de equidistancia se da entre pares de puntos y que la equidistancia al centro es propiedad de los puntos de una circunferencia. Diferenciar la colinealidad y la equidistancia entre puntos.
P2.1. Encontrar una propiedad común a todos los radios de una circunferencia.	Comparar la equidistancia entre los puntos de circunferencia y el centro y la congruencia de los radios determinados por esos puntos.
P2.2. Encontrar qué figura describe el extremo de un segmento (sin variar su longitud) <sup>5</sup> cuando este gira alrededor del otro extremo fijo.	
P3. Construir un triángulo isósceles, describir el proceso de construcción y justificar por qué es isósceles.	Construir, verificar y justificar la equidistancia entre pares de puntos y la congruencia de segmentos en el triángulo isósceles.
P4. Construir un triángulo equilátero, describir el proceso de construcción y justificar por qué es equilátero.	Establecer relaciones de equidistancia entre pares de puntos, extremos de radios, de circunferencias congruentes.

En diálogos previos sostenidos con los estudiantes detectamos que reconocían perceptualmente circunferencias, radios, triángulos y triángulos isósceles y recordaban la clasificación de triángulos según sus lados. En el libro de texto gratuito para quinto grado *Desafíos matemáticos* (SEP, 2013) identificamos lecciones en las que se exploran relaciones de equidistancia y congruencia en diversos contextos y problemas. Los conocimientos sobre la circunferencia se enuncian, en el currículo oficial, como «Distinción entre círculo y circunferencia; su definición y diversas formas de trazo. Identificación de algunos elementos importantes como radio, diámetro y centro» (SEP, 2013, p. 80). Sin embargo, los niños con quienes trabajamos no recordaban experiencias de esa naturaleza.

La maestra titular fue invitada a participar, pero optó solo por observar el proceso. Una de las investigadoras actuó como profesora y la otra investigadora accionó dos cámaras de vídeo e interactuó con algunos estudiantes, en calidad de «otra profesora». También llevó un diario de anotaciones con sus observaciones sobre el trabajo de los estudiantes. Al terminar cada sesión o al inicio de la siguiente, se hizo una puesta en común, para destacar aspectos centrales.

Empleamos los registros de vídeo para transcribir las interacciones de las profesoras con algún niño o grupos de niños, así como las puestas en común, en cada una de las tres sesiones de clase. Complementamos las transcripciones con observaciones hechas por las investigadoras y con 12 producciones escritas en las que los estudiantes, en grupo, presentaron un informe de cada problema.

Realizamos varias lecturas analíticas a las transcripciones, en busca de la identificación de experiencias de los niños relacionadas con los patrones de variación que apuntaban a discernir la equidistancia diferenciándola de la colinealidad o de la congruencia. En ese sentido, empleamos la teoría de la variación como herramienta analítica. Las categorías de análisis corresponden a los patrones de contraste, separación, generalización y fusión, definidos como se propone en el marco teórico.

5. La longitud se escoge libremente, pero luego se trata de que no varíe.

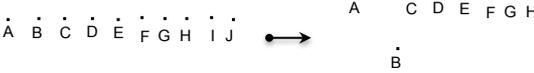
## ANÁLISIS DE POSIBLES PATRONES DE VARIACIÓN ASOCIADOS A LA EQUIDISTANCIA

El análisis nos permite evidenciar que los estudiantes experimentan los patrones de variación, relacionados con la equidistancia de pares de puntos, contraste y generalización. Sobre la separación y la fusión, tenemos dudas de que los hayan experimentado. Para organizar el reporte del análisis, identificamos y describimos experiencias de variación que nos permiten observar el aprendizaje de la equidistancia en *contraste* y *separada* de la colinealidad o la congruencia.

### Misma distancia-diferente distancia: patrón de contraste y dificultad para experimentar la separación

Al resolver el problema P1 los estudiantes deben discernir la «misma distancia a un punto» en el momento de localizar diez puntos equidistantes a uno dado. Ellos deben establecer que otras relaciones, como la colinealidad, no son determinantes de la relación de equidistancia. En la tabla 6 presentamos acciones de los estudiantes que, desde nuestro punto de vista, son indicadores de experimentación del *contraste* «misma distancia- diferente distancia».

Tabla 6.  
Ejemplos de patrón contraste hacia la equidistancia de pares de puntos

<i>Acciones de estudiantes (con apoyo de la profesora)</i>	<i>Experiencia de variación</i>
<p>Después de ubicar 10 puntos en la pantalla y nombrarlos de la <i>A</i> a la <i>J</i>, Samanta y Gustavo arrastran los puntos, variando sus posiciones hasta obtener la siguiente configuración:</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p>Primeros pasos en el discernimiento de la relación de equidistancia a través del <i>contraste</i> «misma distancia-diferente distancia».</p>
<p>Javier arrastra los puntos hasta lograr la siguiente configuración:</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>La profesora le pide que ubique <i>D</i> a la misma distancia de <i>A</i> que <i>B</i>. Javier arrastra el punto <i>D</i> y lo coloca superpuesto sobre <i>C</i>.</p>	<p>Dificultades en <i>separar</i> la equidistancia de la colinealidad por considerar una posición prototipo, en este caso, verticalidad.</p>
<p>Configuración de Benjamín.</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p><i>Contraste</i> entre «misma distancia-diferente distancia» entre pares de puntos, pero no todos ellos respecto al punto <i>A</i>.</p>

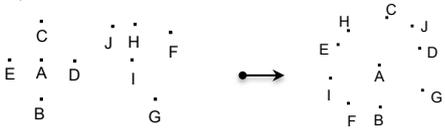
La atención de los estudiantes está puesta en lograr establecer la misma distancia entre pares de dos puntos, pero no necesariamente incluyendo el punto *A*. Al no haber separado la equidistancia de la colinealidad, las configuraciones mantienen interstancias no pedidas.

Para apoyar el discernimiento de la relación de equidistancia, la profesora les pide comparar distancias buscando la identificación del *contraste* «misma distancia» y «diferente distancia». Ellos perciben visualmente cuándo tienen éxito y cuándo no.

### Misma distancia a un punto fijo-diferente distancia a un punto fijo: patrón de contraste y posibles indicios de separación de la colinealidad

Los estudiantes exploran configuraciones de puntos en donde se verifique el valor «misma distancia a un punto fijo *A*» en contraste con el valor «diferente distancia al punto fijo *A*». Este contraste les permite relacionar la propiedad de equidistancia a un punto fijo con la forma aparente de una «circunferencia», a nivel perceptivo visual, estático (válido para un único caso) y discreto (con diez puntos) (véase tabla 7).

Tabla 7.  
Relación entre equidistancia y circunferencia. Primeros acercamientos

<i>Acciones de estudiantes (con apoyo de la profesora)</i>	<i>Experiencia de variación</i>
<p>La profesora arrastra el punto <i>A</i> hasta un lugar céntrico en la pantalla y les pide ubicar los puntos hasta que queden «a la misma distancia del punto». <sup>6</sup> Javier ubica los puntos y <i>señala con el dedo cuáles están a la misma distancia de <i>A</i> y cuáles no.</i></p>  <p>En la interacción con la profesora, Javier percibe que la figura que se forma es «una circunferencia».</p>	<p><i>Contraste</i> entre «misma-diferente distancia a un punto fijo» a través de una comparación perceptiva.</p> <p>Discernimiento de la equidistancia <i>separándola</i> de la colinealidad.</p>
<p>La profesora invita a los niños a distribuirse por el salón: «Vamos a imaginarnos que todos ustedes son puntos [...] Cada uno de ustedes está ocupando un lugar en el suelo, que es como la pantalla del computador. Ahora vamos a escoger un punto, lo vamos a llamar centro. Eric es el punto <i>A</i> [...] lo voy a poner acá. Y a Guadalupe la voy a poner acá. Cuando yo diga ¡ya!, todos se tienen que poner a la misma distancia que está Guadalupe de Eric».</p> <p>Estefanía: «que estén a la misma distancia».</p>	<p><i>Contraste</i> entre «misma-diferente distancia» a un punto fijo.</p>

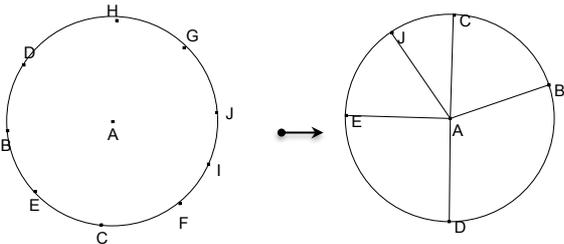
La estrategia de la profesora, al sugerir ubicar al punto *A* en otro lugar de la pantalla y pedirles «fijarse» en este punto al ubicar los demás, es una oportunidad para que los estudiantes comiencen a *separar* la equidistancia de la colinealidad. Por eso rompen con configuraciones rectilíneas, logran experimentar el *contraste* «misma distancia a *A*-diferente distancia a *A*» y obtienen una configuración curva que les evoca una circunferencia. Ella refuerza la experiencia de *contraste* con una modelación activa de la situación, en la que los niños representan puntos.

6. Usamos las comillas para indicar las expresiones textuales mencionadas en la interacción entre estudiantes y con la profesora; ponemos en cursiva aquellas expresiones que dan evidencia de patrones de variación.

**Misma distancia entre dos puntos-misma longitud del segmento que los contiene como extremos. Patrón de contraste**

Para resolver el problema P2-1 los niños construyen circunferencias, primero intentando que los puntos ubicados a «la misma distancia de A» queden perceptualmente contenidos en ella y, posteriormente, mediante una construcción robusta (Healy, 2000), en la que primero hacen la circunferencia y luego determinan varios puntos en ella. También, por sugerencia de la profesora, trazan los segmentos del centro a cada punto determinado.

Tabla 8.  
Experiencia que relaciona la equidistancia y la congruencia

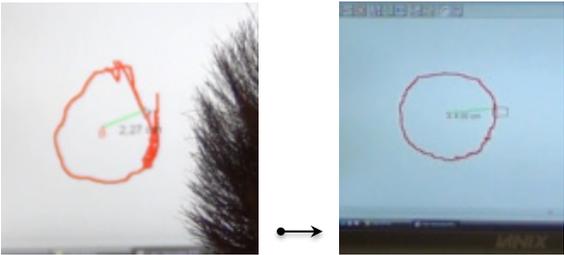
<i>Acciones de estudiantes (con apoyo de la profesora)</i>	<i>Experiencia de variación</i>
<p>En un grupo, los niños han construido una circunferencia y sus radios.</p>  <p>Profesora: «Miren los radios a ver si ven una característica común a todos».                      Javier: [Después de explorar la construcción]: «La distancia de un punto a otro punto».                      Profesora: «¿En qué se parecen todos estos puntos? ¿Qué tienen igual?».                      Javier: «Que miden lo mismo».                      Dónovan: «Que todos ellos están a la misma medida».</p>	<p><i>Contraste</i> misma distancia entre dos puntos-diferente distancia entre dos puntos.</p> <p>Dificultad para <i>separar</i> la equidistancia entre pares de puntos y la congruencia de los segmentos cuyos pares son los extremos en una misma circunferencia.</p>

Como se evidencia en el intercambio (véase tabla 8), la construcción del significado de circunferencia se promueve al pedir a los niños ubicar puntos equidistantes a uno dado y construir radios para observar si estos tienen una propiedad común. En esta experiencia, quizás podría suponerse que los estudiantes experimentan *fusión* entre las propiedades de equidistancia entre pares de puntos y congruencia de los segmentos cuyos pares son los extremos. Sin embargo, al no haber *separado* las dos propiedades, los estudiantes experimentan una «confusión», pues no distinguen cuándo se habla de equidistancia y cuándo de congruencia o «misma medida». La confusión es notoria en la respuesta de Dónovan. Como experiencia de variación que buscaba el *contraste* relacionado con cada propiedad, quizás fue prematuro pretender que los estudiantes relacionaran las dos propiedades.

**Acercar/alejar dos puntos-achicar/alargar el segmento que los contiene como extremos: patrón de contraste**

En el proceso de resolución del problema P2-2, los niños experimentan con un segmento *AB* buscando que, al mover uno de los extremos, mantenga invariante su longitud, a fin de garantizar la misma distancia de *A* a *B*. Los estudiantes usan la «traza» dejada por *B*.

Tabla 9.  
Para lograr congruencia entre segmentos procuran equidistancia entre sus extremos

<i>Acciones de los estudiantes (con apoyo de la profesora)</i>	<i>Experiencia de variación</i>
<p>Profesora: «Van a mover a <i>A</i> tratando de que <i>la medida (del segmento) siempre sea igual</i>. Traten de que <i>se quede igual</i>, no importa que se cambie un poquitico. ¿Qué se tiene que formar?».</p>  <p>Leonardo: «Un círculo». Teresa: «Un círculo. Porque [el segmento] <i>es el radio</i> de la circunferencia».</p>	<p><i>Contraste</i> «misma distancia-diferente distancia» entre los extremos del segmento <i>AB</i>.</p> <p><i>Contraste</i> entre «misma longitud y diferente longitud de los segmentos».</p>

Una primera exploración centra la atención de los estudiantes en comparar situaciones en las que los extremos de un segmento (cuya longitud no es fija) permanecen a la misma distancia, mientras el segmento cambia de posición, de aquellas en las que los extremos «se alejan» o «se acercan» (tabla 9). El patrón de *contraste* se experimenta ligado a un objeto geométrico: el segmento.

Cuando los estudiantes usan la opción «medida», se visibiliza la longitud del segmento, cuya posición varía al mover a *B*. Los niños tienen la oportunidad de experimentar el *contraste* entre la misma medida y diferente medida. La atención selectiva a la distancia de los extremos o a la longitud del segmento podría llevar a experimentar el patrón de *separación*, pero los términos con los que los niños se expresan nos hacen difícil determinar si realmente experimentan aquí tal separación. En caso de lograrlo, esta oportunidad de *contraste* les permitiría, eventualmente, experimentar el patrón de *fusión* al relacionar la distancia entre *A* y *B* con cambios en la medida del segmento *AB*. Ellos ilustran las relaciones con movimientos de los extremos en la pantalla y expresiones como: «cuando se alarga [*B* se aleja de *A*], la cantidad [longitud del segmento] se hace más grande y cuando se achica [*B* se acerca a *A*], la medida se hace menor» (Sandra); «se hace más grande [si *B* se aleja de *A*] y más chiquito [si *B* se acerca a *A*]» (Javier); «cuando lo arrastrábamos se hacía más grande o si lo corríamos hacia el otro punto se hacía más chica [la medida]» (Ariel). Sin embargo, no tenemos manera de confirmar que experimentan *fusión*, al no tener evidencias contundentes de *separación*.

### Misma distancia entre puntos-congruencia de radios. Patrones de contraste y generalización

La profesora propone representar la situación trabajada en P2-2 promoviendo la oportunidad de experimentar la variación con el uso del cuerpo (tabla 10). La atención está en discernir que los radios de una circunferencia son congruentes y que la distancia de los puntos de la circunferencia al centro es igual. Los niños que representan los radios deberán tener el «mismo tamaño». Sus pies están en el centro de la circunferencia y coinciden, mientras que sus cabezas están sobre una circunferencia imaginaria. Así, ellos *contrastan* «mismo tamaño-diferente tamaño» respecto a la estatura de Dónovan, que representa a un segmento dado.

Tabla 10.  
Patrón de contraste e indicios de generalización

<i>Acciones de estudiantes o de la profesora</i>	<i>Experiencia de variación</i>
<p>Profesora: «Ahora vamos a representar con tres niños, unos radios. [Varios niños levantan la mano]. Dónovan, representa un radio. Pero tienes que ponerte en el piso porque un extremo está en el centro y el otro está allá donde está Benjamín. Para representar otro radio de esta circunferencia, ¿servirán Uriel, Ariel o Benjamín? ¿Qué característica tienen que tener?».</p> <p>Teresa: «<i>Todos tienen que ser del mismo tamaño</i>».</p> <p>Estefanía: «Porque si no quedan uno más grande y uno más pequeño».</p> <p>Profesora: «¿Por qué tienen que ser del <i>mismo tamaño</i>?».</p> <p>Benjamín: «Porque harían una circunferencia».</p> <p>Profesora: «Los <i>radios son segmentos</i> que tiene extremos. Y que tienen longitud [...] y <i>todas las longitudes son iguales</i>. Pero <i>si quitamos los radios</i>, ¿cuál es la característica de los puntos de la circunferencia?».</p> <p>Dónovan: «<i>Siempre están a la misma distancia</i>».</p> <p>Estefanía: «Qué están todos a la misma distancia».</p>	<p><i>Contraste</i> misma longitud-distinta longitud de los radios de una circunferencia.</p> <p>Indicios de <i>generalización</i>.</p>

En las interacciones entre los estudiantes identificamos expresiones de los niños como «todos» y «siempre», para establecer la relación de equidistancia, que informan del tránsito en la conceptualización de la relación de equidistancia desde una percepción visual a la conservación del valor de la distancia. Interpretamos algunos indicios del patrón de *generalización* en ejemplos de sus expresiones.

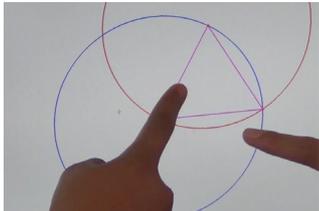
Para brindar la oportunidad de favorecer el discernimiento de la conceptualización de la circunferencia como lugar geométrico, también es necesario variar el tamaño de esta sin cambiar el centro, o variar la ubicación del centro (mediante traslación). Esta experiencia fue realizada por los niños en la actividad de construcción de triángulos isósceles y equiláteros.

### **Equidistancia separada de la congruencia, pero relacionadas: conservación de una medida sin un valor numérico específico. Patrón de separación**

Para resolver el problema P4, es necesario establecer relaciones de congruencia entre tres radios y entre, al menos, dos circunferencias, tanto en la construcción como al justificar la relación de igualdad entre los lados.

La intervención de la profesora permitió a los estudiantes centrar la atención en pares de radios, a través del uso de la herramienta «Ocultar/mostrar» figuras, así como con el cambio de colores de los trazos, a fin de resaltar los «radios» que hay que comparar (sin conocer el valor numérico de la longitud). Esta acción didáctica generó la oportunidad de que algunos niños identificaran la congruencia entre pares de radios de una circunferencia, y entre pares de circunferencias congruentes con un radio en común. Esto es, usar relaciones geométricas para validar sus construcciones (tabla 11).

Tabla 11.  
 Contraste al validar la construcción de un triángulo equilátero

<i>Acciones de estudiantes o de la profesora</i>	<i>Experiencia de variación</i>
<p>La profesora enfoca la atención en la relación de dos radios, «[pasa el dedo índice por dos lados del triángulo]. Este lado y este lado, ¿son iguales?».</p> <p>Javier: «Sí, porque ambos <i>están entre la misma distancia</i> de un círculo. [Señala los radios de una circunferencia] Este y este».</p> <p>Rodrigo: «Y si pusiéramos el otro círculo [señala los radios de la otra circunferencia] sería este y este».</p>  <p>Benjamín explica por qué es un triángulo equilátero: «Porque <i>todos sus lados son iguales</i>. [Mientras habla, arrastra una de las circunferencias]. Este vértice está entre esta circunferencia y esta circunferencia; este [radio] igual y este [radio] igual. Y como <i>las circunferencias son del mismo tamaño tienen la misma distancia</i>».</p>	<p>Separación de la equidistancia respecto a la congruencia.</p> <p>Indicios de <i> fusión </i> entre la equidistancia de vértices de un triángulo equilátero y la congruencia de los lados.</p> <p>Indicios de <i> generalización </i> de la congruencia de los lados de un triángulo equilátero.</p>

Los estudiantes intentan valerse de la equidistancia de los extremos de los radios de circunferencias congruentes para justificar que los lados del triángulo equilátero son congruentes. Aunque sin usar un lenguaje muy preciso, hacen referencia a la equidistancia entre puntos para justificar la congruencia entre lados. Desde nuestro punto de vista, parece que han comenzado a *separar* la equidistancia de la congruencia. Además, parece haber indicios de *generalización*, sobre todo en las explicaciones de Benjamín y de  *fusión*  al establecer la mutua dependencia entre la equidistancia entre puntos y la congruencia de segmentos, en la construcción hecha.

Un aspecto importante en el proceso de discernir la equidistancia en *contraste* y *separada* de la congruencia es que cada relación involucra objetos geométricos diferentes. La profesora insistió en varias de sus intervenciones en enfocar la atención en esta diferencia, procurando que los niños *contrastaran* distancias y medidas y *separaran* una propiedad de la otra, en configuraciones en donde tiene sentido referirse a una o a otra.

Las relaciones de equidistancia y congruencia tienen que *separarse* o *fusionarse*, según el problema que haya que resolver. Sin embargo, consideramos que lograrlo requiere de más experiencias de variación en el contexto de resolución de problemas de construcciones geométricas.

## DISCUSIÓN

La equidistancia es una dimensión de variación de la figura geométrica circunferencia. Estar a la misma distancia es un valor de esta dimensión. La distancia del punto de referencia (en este caso, punto *A*) a otro que puede variar (punto *C*), pero conservando la distancia *AB*, determina la relación entre *A* y cualquier otro punto *C* para establecer la relación de «ser equidistante de *A* como *B*». A partir de interacciones con sus pares, la profesora y Cabri, los estudiantes dan muestra de una evolución en la construcción del significado de equidistancia *separada* de la colinealidad y la congruencia y están en proceso de vincularla con la circunferencia. Esta oportunidad de trabajar entre pares, de manera independiente, y compartir sus hallazgos con la clase, resultó ser un contexto provechoso para la exploración.

En la implementación notamos que los estudiantes experimentaron la variación a fin de:

- Caracterizar figuras geométricas como circunferencia y triángulo (isósceles y triángulo equilátero).
- Descubrir propiedades como la congruencia entre los radios de una circunferencia y entre radios de circunferencias congruentes.
- Diferenciar (de manera incipiente) configuraciones geométricas en las que se establece la relación de colinealidad, de equidistancia o de congruencia.
- Transitar de un caso particular que representa una situación a una familia de casos en los que se mantienen invariantes las características que los definen.
- Usar el arrastre, la medición y la traza como herramientas para experimentar patrones de variación.
- Iniciarse en la argumentación válida en matemáticas donde son las relaciones geométricas las que explican y no la verificación con un caso particular o lo que «parece» según la percepción visual.

Para que los estudiantes tuvieran experiencias de variación fue necesario involucrarlos en exploraciones de representaciones que implicaron movimiento, observación y confrontación con sus ideas intuitivas. En este sentido, la resolución de problemas de construcción geométrica resultó beneficiosa, brindando oportunidades de aprendizaje para desarrollar la visualización, la conjeturación, la verificación de conjeturas (usando arrastre, medición) y la explicación (recurriendo a relaciones entre objetos geométricos). Notamos que experiencias previas vinculadas con la idea de «misma distancia» en actividades de formación, en clases de Educación Física o actividades cívicas, es un referente inicial para los niños en el que relacionan estrechamente la equidistancia con colinealidad. Ampliar esta idea a estructuras no colineales resultó un reto inicial para los niños participantes en este estudio.

Nuestros resultados muestran cómo la relación de equidistancia se va reinterpretando a lo largo de la experiencia de variación. En este sentido, encontramos coincidencia con lo señalado por González y Herbst (2009) para el caso de la congruencia. Estos autores identifican cuatro tipos de interpretaciones con estudiantes de secundaria: perceptivo visual, conservación de medida, correspondencia y transformación. Para la relación geométrica de equidistancia, en las experiencias de variación experimentadas por los niños de nuestro estudio, identificamos los tres primeros; por lo que consideramos que sería necesario profundizar al respecto con una investigación más amplia. Al igual que González y Herbst (2009), sostenemos que en el aula debemos generar oportunidades de aprendizaje para movilizar la atención de la percepción de formas globales a la caracterización de propiedades de las figuras geométricas, y lograr así que los niños rebasen el primer nivel, el perceptivo visual.

Las evidencias nos llevan a afirmar que se produjo aprendizaje respecto a la equidistancia en *contraste* con otras relaciones geométricas. Los niños se enfocaron en aspectos críticos de esta relación e identificaron invariantes de objetos geométricos, vinculados con esta, como la circunferencia y triángulos isósceles y equiláteros. Al resolver los problemas de construcción, los niños experimentaron, en mayor medida, el patrón de *contraste* seguido por el de *generalización* e identificamos indicios de *separación* y de *fusión*.

Para poder discernir un objeto de aprendizaje consideramos necesario experimentar los cuatro patrones de variación. Como señalan Lo (2012), Marton et al., (2004) y Marton y Pang (2009), el *contraste* induce a la *separación* de las dimensiones de variación, de modo que los aspectos críticos y las características se separan; la *generalización* ayuda a diferenciar los aspectos críticos de aquellos que no lo son, mientras que el patrón *fusión* posibilita identificar la interacción entre aspectos críticos. Sin embargo, la experiencia nos muestra la complejidad de promover experiencias relacionadas con los patrones en un salón de clase.

A lo largo de la experimentación identificamos acciones de la profesora que, como se mostró en el análisis, vinculan la relación entre «arrastre/medición» y el discernimiento de una propiedad geométrica. Inicialmente los niños se limitaron a ubicar en la pantalla puntos de sus construcciones, de manera conveniente, y sus explicaciones se centraron en «porque así se ve», «los números no cambian», «miden lo mismo», «tienen el mismo tamaño» o «si lo mueve queda la misma medida». Sin embargo, la manera en que participó la profesora (preguntas o afirmaciones) favoreció que la atención se enfocara en analizar lo que sucedía mientras movían (arrastre) los puntos, de manera sistemática, y los guio para que interpretaran lo observado en términos de propiedades y relaciones geométricas abordadas a lo largo de la experiencia.

La riqueza de la interacción alumnos-profesora permitió identificar el papel de los patrones de variación en el aprendizaje de la equidistancia en *contraste* y *separada* de la de congruencia, como se mostró en el análisis. Las acciones realizadas por la profesora fueron diversas, a fin de dar oportunidades para el aprendizaje. Ella promovió la adquisición de nuevo vocabulario a fin de enriquecer el proceso comunicativo y de argumentación geométrica; sugirió ideas clave para lograr la construcción o para enfocar la atención de los estudiantes hacia el logro de la tarea propuesta; ejemplificó ideas, usando lo realizado por otros estudiantes; enfocó la atención en aspectos claves que pudieran favorecer el discernimiento a través de preguntas; e informó a los estudiantes sobre el manejo de ciertas herramientas propias de programa de geometría dinámica, de acuerdo con las necesidades de la tarea matemática en cuestión y la intencionalidad de los niños.

Un elemento central en esta experiencia de variación fue el uso del programa de geometría dinámica, pues permitió a los niños construir figuras geométricas, visualizar sus características (con el uso de «traza») y recibir retroalimentación en tiempo real. Como señalan Soldano, Luz, Arzarello y Yerushamy (2018), el programa es un instrumento poderoso para identificar cómo los estudiantes relacionan aspectos visuales con cualidades geométricas invariantes. Este tipo de programas condicionan qué se aprende y cómo, pero hay una fuerte interrelación con otros elementos que inciden en su uso, como son la intervención del profesor y el trabajo colaborativo entre los estudiantes (Morera, Fortuny y Planas, 2012). Por ello, reivindicamos el uso de programas de geometría dinámica en el aprendizaje de la geometría, a temprana edad. Sin embargo, no basta introducir su uso en las clases, debe acompañarse de discusiones sobre lo que se hace, explicaciones, verificaciones y justificaciones que permitan a los niños construir criterios compartidos sobre el quehacer matemático.

Como señalan Marton y Pang (2009), la enseñanza no puede predecirse ni prescribirse, sino describirse. Al describir estas experiencias podemos vislumbrar la complejidad del proceso de aprendizaje y su relación con el modo en que fue abordado, estructurado y presentado en la clase.

## CONCLUSIONES

Las experiencias escolares con la geometría, sobre todo en primaria, suelen estar caracterizadas por la exhibición de representaciones concretas de las figuras o cuerpos geométricos y la descripción de sus propiedades, sin ofrecer vías claras sobre cómo distinguir entre aquellas cualidades que son invariantes o aquellas que son particulares de la representación. Casi nunca se involucra a los estudiantes en experiencias de variación que les posibiliten discernir las propiedades determinantes de las formas geométricas y explicar por qué siempre se cumple esa propiedad.

Nuestros resultados muestran una experiencia de variación con una noción geométrica importante, equidistancia en *contraste* y *separada* de la colinealidad y la congruencia. Experiencia que resultó significativamente diferente para los niños participantes y les brindó oportunidades para su aprendizaje. Abordar estas ideas geométricas en la educación primaria, a través de la variación en ambientes de geometría dinámica, permitió a los niños acercarse a ella a través de resolución de problemas de construcción.

El ejercicio analítico nos permitió profundizar en la teoría de la variación y valorar su potencial. Pudimos ponerla en juego para estudiar el aprendizaje de una relación geométrica. Además, la investigación nos permitió poner en entredicho la linealidad con la que se asumen frecuentemente los patrones de variación, pues notamos que es un asunto de avances y retrocesos. En particular, el patrón de *fusión* se puede ir experimentando sin haber *separado* las propiedades relacionadas, pero es innegable que mientras estas no estén *separadas* no se podrá afirmar que se identifica la dependencia entre las propiedades.

Un asunto que queremos señalar, a manera de conclusión, es que el patrón de *separación* tiene al menos dos interpretaciones en la literatura y este hecho no se hace explícito. Algunos autores (Lo, 2012) lo refieren a un solo objeto de aprendizaje (como un todo), mientras que otros (Leung, 2015) lo refieren a varios objetos. En nuestro marco teórico explicitamos las dos interpretaciones y las usamos como parte del análisis.

Las investigaciones revisadas (Mulligan y Vergnaud, 2006; Owens y Outhred, 2006; Sinclair et al., 2016 y Jones y Tzekaki, 2016) señalan la necesidad de proponer alternativas de enseñanza más efectivas que den a los estudiantes oportunidad de acceso a conceptos geométricos relevantes. Consideramos que nuestra investigación aporta luz a este asunto pues se abordaron objetos y relaciones geométricas importantes en actividades de variación. Sin embargo, es necesario realizar más estudios en edades tempranas para profundizar en el aprendizaje de la equidistancia.

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigaciones de la Universidad Pedagógica Nacional de Colombia, por su apoyo a los proyectos de investigación «Geometría: vía al razonamiento científico» –DMA-399-15– y «Conocimiento del profesor de geometría para diseñar tareas de argumentación y demostración» –DMA-518-20–. A la Secretaría de Relaciones Exteriores por la Beca de Excelencia de Programas Especiales del Gobierno de México para Extranjeros Convocatoria 2015, AMEXCID. Al Área Académica 4: Tecnologías de la Información y Modelos alternativos de la Universidad Pedagógica Nacional, unidad Ajusco, México, por su apoyo al proyecto «Razonamiento espacial en edades tempranas: Un estudio con profesores en diferentes ambientes culturales y tecnológicos». A la Escuela Primaria Alfredo V. Bonfil, por su participación en el programa de vinculación interinstitucional, de la Universidad Pedagógica Nacional, unidad Ajusco, México, «Aprendizaje de las matemáticas en contextos diversos».

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aravena, M., Gutiérrez, Á. y Jaime, A. (2016). Estudio de los niveles de razonamiento de Van Hiele en alumnos de centros de enseñanza vulnerables de educación media en Chile. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(1), 107-128.  
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1664>
- Camargo, L. y Sandoval, I. (2017). Acceso equitativo al razonamiento científico mediante la tecnología. *Revista Colombiana de Educación*, 73, 179-211.  
<https://doi.org/10.17227/01203916.73rce177.209>
- González, G. y Herbst, P. (2009). Students' conceptions of congruency through the use of dynamic geometry software. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 14(2), 153-182.  
<https://doi.org/10.1007/s10758-009-9152-z>

- Gu, L., Huang, R. y Marton, F. (2004). Teaching with variation: An effective way of mathematics teaching in China. En L. Fan, N. Y. Wong, J. Cai y S. Li (Eds.), *How Chinese learn mathematics: Perspectives from insiders* (pp. 309-345). Singapore: World Scientific.  
[https://doi.org/10.1142/9789812562241\\_0012](https://doi.org/10.1142/9789812562241_0012)
- Healy, L. (2000). Identifying and explaining geometrical relationship: Interactions with robust and soft Cabri constructions. En T. Nakahara y M. Koyama (Eds.), *Proceedings of the 24th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (vol. 1, pp. 103-117). Hiroshima: Universidad de Hiroshima.
- Huang, R., Barlow, A. y Prince, K. (2016). The same tasks, different learning opportunities: An analysis of two exemplary lessons in China and the US from a perspective of variation. *The Journal of Mathematical Behavior*, 41, 141-158.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2015.12.001>
- Huang, R. y Li, Y. (Eds.) (2017). *Teaching and learning mathematics through variation: Confucian heritage meets western theories*. The Netherlands: Sense Publishers.  
<https://doi.org/10.1007/978-94-6300-782-5>
- Jones, K. (2002). Issues in the Teaching and Learning of Geometry. En L. Haggarty (Ed.), *Aspects of Teaching Secondary Mathematics: Perspectives on Practice* (pp. 121-139). Londres: Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9780203165874>
- Jones, K. y Herbst, P. (2012). Proof, proving, and teacher-student interaction: Theories and contexts. En G. Hanna y M. de Villiers (Eds.), *Proof and Proving in Mathematics Education* (vol. 15, pp. 261-277). Dordrecht: Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-007-2129-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2129-6_11)
- Jones, K. y Tzekaki, M. (2016). Research on the teaching and learning of geometry. En A. Gutiérrez, G. Leder y P. Boero (Eds.), *The Second Handbook of Research on the Psychology of Mathematics Education* (pp. 109-149). Rotterdam: Sense Publishers.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-6300-561-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-6300-561-6_4)
- Leung, A. (2003). Dynamic geometry and the theory of variation. En N. Pateman, B. Dougherty y J. Zilliox (Eds.), *Proceeding of the 27th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (vol. 3, pp. 197-204). Honolulu: PME.
- Leung, A. (2008). Dragging in a dynamic geometry environment through the lens of variation. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 13(2), 135-157.  
<https://doi.org/10.1007/s10758-008-9130-x>
- Leung, A. (2015). Discernment and Reasoning in Dynamic Geometry Environments. En S. J. Cho (Ed.), *Selected Regular Lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education* (pp. 451-469). Cham: Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-17187-6\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-319-17187-6_26)
- Lo, M. (2012). *Variation theory and the improvement of teaching and learning*. Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
- Mariotti, M. (2000). Introduction to proof: the mediation of a dynamic software environment. *Educational Studies in Mathematics*, 44(1), 25-53.  
<https://doi.org/10.1023/A:1012733122556>
- Marton, F. y Pang, M. F. (2009). On some necessary conditions of learning. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(2), 193-220.  
[https://doi.org/10.1207/s15327809jls1502\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327809jls1502_2)
- Marton, F., Runesson, U. y Tsui, A. (2004). The Space of Learning. En F. Marton y T. Amy (Eds.), *Classroom Discourse and the space of learning* (pp. 3-42). Nueva York: Taylor & Francis Group.  
<https://doi.org/10.4324/9781410609762>

- MEN (Ministerio de Educación Nacional) (2006). *Estándares básicos de competencias en lenguaje, matemáticas, ciencias y ciudadanas*. Bogotá: Ministerio de Educación Nacional.
- Morera, L., Fortuny, J. y Planas, N. (2012). Momentos clave en el aprendizaje de isometrías en un entorno colaborativo y tecnológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(1), 143-154.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v30n1.569>
- Mulligan, J. y Vergnaud, G. (2006). Research on children's early mathematical development. En A. Gutiérrez y P. Boero (Eds.), *Handbook of Research on the Psychology of Mathematics Education: Past, Present and Future* (pp. 117-146). UK: Sense Publishers.  
[https://doi.org/10.1163/9789087901127\\_006](https://doi.org/10.1163/9789087901127_006)
- Owens, K. y Outhred, L. (2006). The complexity of learning geometry and measurement. En A. Gutiérrez y P. Boero (Eds.), *Handbook of Research on the Psychology of Mathematics Education: Past, Present and Future* (pp. 83-115). UK: Sense Publishers.  
[https://doi.org/10.1163/9789087901127\\_005](https://doi.org/10.1163/9789087901127_005)
- Pang, M., Bao, J. y Ki, W. (2017). «Bianshi» and the variation theory of learning: illustrating two frameworks of variation and invariance in the teaching of mathematics. En R. Huang y Y. Li (Eds.), *Teaching and Learning Mathematics through Variation* (pp. 43-67). The Netherlands: Sense Publisher.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-6300-782-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-6300-782-5_3)
- Samper, C., Molina, O. y Echeverry A. (2013). *Elementos de Geometría*. Bogotá: Fondo editorial Universidad Pedagógica Nacional.
- Sandoval, I. (2009). La geometría dinámica como una herramienta de mediación entre el conocimiento perceptivo y el geométrico. *Educación Matemática*, 21(1), 5-27.
- Sarama, J. y Clements, D. (2009). *Early Childhood Mathematics Education Research: Learning Trajectories for Young Children*. Nueva York: Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9780203883785>
- SEP (Secretaría de Educación Pública) (2011). *Programas de estudio 2011. Guía para el maestro. Educación Básica. Primaria. Quinto grado*. México: Conaliteg.
- SEP (Secretaría de Educación Pública) (2013). *Desafíos. Quinto grado. Docente*. México: Conaliteg.
- SEP (Secretaría de Educación Pública) (2017). *Aprendizajes Clave para la Educación Integral. Plan y Programas de Estudio para la Educación Básica*. México: Conaliteg.
- Sinclair, N., Bussi, M., 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>
- Soldano, C., Luz, Y., Arzarello, F. y Yerushamy, M. (2018). Technology-based inquiry in geometry: semantic games through the lens of variation. *Educational Studies in Mathematics*, 100(1), 7-23.  
<http://doi-org-443.webvpn.fjmu.edu.cn/10.1007/s10649-018-9841-4>
- Steffe, L. y Thompson, P. (2000). Teaching Experiment Methodology: Underlying Principles and Essential Elements. En A. Kelly y R. Lesh (Eds.), *Handbook of Research Design in Mathematics and Science Education* (pp. 267-307). Nueva York: Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9781410602725>

---

# Learning equidistance through variation: a study with primary school children

Ivonne Twiggy Sandoval Cáceres  
Universidad Pedagógica Nacional, México  
isandoval@upn.mx

Leonor Camargo Uribe  
Universidad Pedagógica Nacional de Colombia  
lcamargo@pedagogica.edu.co

This article reports findings from an educational and research experience carried out with students who were starting their last year of Primary Education, in a peripheral and highly marginalized area of Mexico City.

Our research objective is to give an account of learning experiences that represent opportunities for 10-year-old children so as to advance in the meaningful construction of the equidistance relationship. To accomplish the foregoing we carried out a *teaching experiment* (Steffe and Thompson, 2000).

The participants were 25 children, a full class from a public school, whom we selected on account of the interest shown by their teacher for supporting research processes. We worked with them on four geometry problems, while teaching them how to use the Cabri program. Pedagogically, our intention was to encourage their progress in producing statements that would explain dependency relationships related to geometric facts, from the evidence obtained by empirical exploration and to explain the issue that the statement raises by proposing inferences, beyond direct experience.

For the analysis we chose the theory of variation (Leung, 2008; Lo, 2012), given its potential for analyzing learning in dynamic contexts. We show the patterns of variation experienced by children, which allowed them to discern the equidistance relationship between points in circumferences or triangles, in contrast to collinearity of points and the congruence of segments. Additionally, given that the teaching situations that stimulate the interaction between teacher and students wield great influence on what they learn (Pang, Bao and Ki, 2017), in the analysis we highlight aspects of the teaching that promoted or limited discernment by the students.

The evidence leads us to affirm that learning was produced with respect to equidistance in *contrast* to other geometric relationships. The children focused on critical aspects of this relationship and identified invariants in geometric objects linked to it, such as the circumference and isosceles and equilateral triangles. When solving the construction problems, the children experienced, to a greater extent, the *contrast* pattern followed by that of *generalization* and we identified signs of *separation* and *fusion*.

In order to discern a learning object, we believe it is necessary to experience the four patterns of variation. As Lo (2012), Marton, Runesson and Tsui (2004) and Marton and Pang (2009) point out, the *contrast* induces the *separation* of the dimensions of variation so that the critical aspects and the characteristics are separated; *generalization* helps to differentiate critical aspects from those which are not, while the *fusion* pattern makes it possible to identify the interaction between critical aspects. However, the experience shows us the complexity of promoting pattern-related experiences in the classroom.

The analytical exercise allowed us to delve into the theory of variation and assess its potential. We were able to apply it to study the learning of a geometric relationship. Furthermore, the research allowed us to put to the test the assumed linearity of variation patterns, as we have seen that it entails an ebb and flow of progress and setbacks. In particular, the *fusion* pattern can be experienced without having separated the related properties, but it is undeniable that if they have not been *separated*, the dependency between the properties cannot be said to have been identified.





# El libro de texto universitario de ciencias en la formación docente

## The science university textbook in teacher training

Carla Inés Maturano

*Departamento de Física y de Química. Instituto de Investigaciones en Educación en las Ciencias Experimentales.*

*Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes.*

*Universidad Nacional de San Juan. San Juan. Argentina.*

[cmatur@ffha.unsj.edu.ar](mailto:cmatur@ffha.unsj.edu.ar)

Claudia Alejandra Mazzitelli

*Departamento de Física y de Química. Instituto de Investigaciones en Educación en las Ciencias Experimentales.*

*Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes. Universidad Nacional de San Juan. San Juan. Argentina.*

*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.*

[mazzitel@ffha.unsj.edu.ar](mailto:mazzitel@ffha.unsj.edu.ar)

Ana María Guirado

*Departamento de Física y de Química. Instituto de Investigaciones en Educación en las Ciencias Experimentales.*

*Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes. Universidad Nacional de San Juan. San Juan. Argentina.*

[aguirado@ffha.unsj.edu.ar](mailto:aguirado@ffha.unsj.edu.ar)

**RESUMEN** • Esta investigación busca identificar las representaciones sociales del libro de texto universitario de ciencias y diseñar e implementar una propuesta para optimizar su utilización en la formación académica y en la futura práctica profesional de estudiantes de profesorado de Física, Química y Tecnología. Se aplicó una técnica de evocación y jerarquización y se formularon diversas preguntas para profundizar en el conocimiento y análisis de los libros de texto universitarios en relación con cuatro dimensiones (intrínseca, disciplinar, funcional y metodológica). Los resultados obtenidos permiten identificar un acercamiento acotado de los estudiantes a los libros que evidenciaría un escaso aprovechamiento que prioriza las secciones más tradicionales.

**PALABRAS CLAVE:** Libro de texto; Ciencias; Formación docente; Representaciones sociales; Reflexión.

**ABSTRACT** • This research seeks to identify the social representations of the science university textbook and design and implement a proposal to optimize its use in academic training and the future professional practice of students of teacher training in Physics, Chemistry, and Technology. An evocation and hierarchical technique were applied, and several questions were asked to deepen the knowledge and analysis of university textbooks about four dimensions (intrinsic, disciplinary, functional, and methodological). The results obtained allow us to identify the students' limited approach to the books that would show a limited use of books that prioritizes the more traditional sections.

**KEY WORDS:** Textbook; Science; Teacher training; Social representations; Reflection.

Recepción: septiembre 2019 • Aceptación: agosto 2020 • Publicación: junio 2021

Maturano, C. I., Mazzitelli, C. A. y Guirado, A. M. (2021). El libro de texto universitario de ciencias en la formación docente. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 83-101.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3070>

## INTRODUCCIÓN

En el área de las ciencias naturales, el material escrito más utilizado por los estudiantes en la Universidad es el manual o libro de texto universitario, que se constituye en la fuente básica para adquirir los conceptos y métodos de una disciplina, ya que «enseña a leer y a escribir ciencia» (Cubo, 2005, p. 326).

Según Parodi (2010), es muy fuerte la tendencia al uso de los manuales universitarios en el ámbito de las carreras relacionadas con las ciencias básicas e ingeniería, si se lo compara con carreras del área de las ciencias sociales y humanas, en las que se usa muchas veces el texto disciplinar. Así, la enseñanza de las ciencias naturales basada en el libro de texto es la que predomina en las aulas (Martins y Brigas, 2005; Occelli y Valeiras, 2013).

El autor de cada libro de texto, como especialista en la disciplina, concibe el quehacer científico de cierto modo y, en base a esto, presenta en el manual universitario las nuevas ideas y conceptos vinculados con la manera en la que el estudiante debe aprender a relacionarse con el conocimiento disciplinar (Parodi, 2010). Según este autor, los manuales no deben ni pueden ser concebidos exclusivamente como meros instrumentos didácticos ya que también influyen en la visión y comprensión del campo científico específico al que acercan a los estudiantes. Esto es, aunque en cada propuesta subyace un modelo didáctico definido que se destaca por una ruta de acceso al conocimiento que guía al aprendiz a desarrollar competencias disciplinares, culturales y sociales, también cumple un papel muy importante tanto en la transmisión de conocimientos disciplinares como de procedimientos. Esta característica dual se verifica tanto en los manuales de habla inglesa (cuya traducción se usa asiduamente en el ámbito de las carreras de ciencias en el contexto en que se desarrolló esta investigación) como en los manuales en español.

Específicamente, en las carreras de formación de docentes de ciencias naturales y tecnología en el ámbito universitario, los libros de texto no solo son el material de lectura y de acercamiento a los contenidos y procedimientos propios de las disciplinas científicas para el aprendizaje durante el proceso de formación inicial, sino que constituyen un recurso didáctico potencial para la enseñanza en su futuro desempeño profesional. Varias investigaciones coinciden en afirmar que casi la totalidad de los profesores utilizan los libros de texto en sus aulas, por lo que se convierten en el principal recurso didáctico (Occelli y Valeiras, 2013). Surge así la necesidad de caracterizar las ideas de los estudiantes de profesorado acerca de los libros de texto tanto como destinatarios –cuando aprenden una disciplina– como futuros profesores que, en función de su experiencia con los manuales, construirán modos particulares de uso del libro de texto en sus clases.

En investigaciones anteriores encontramos que futuros docentes de diferentes procedencias geográficas de Argentina, cuando planifican una clase utilizando libros de texto de nivel secundario, escogen predominantemente las secciones más tradicionales (los textos centrales que incluyen ejemplos, fotografías, dibujos y otras representaciones y las secciones que proponen actividades) (Maturano, 2018). Por otra parte, en muchos casos, detectamos un excesivo apego al manual como recurso para el diseño de las actividades del aula, por lo que se le otorga un lugar central o protagónico propio de los enfoques didácticos más tradicionales en la mayoría de las secuencias didácticas que se formulan (Maturano y Mazzitelli, 2017). Para favorecer la incorporación de elementos innovadores que contribuyan al aprendizaje de las ciencias, sería necesario que los futuros docentes se acerquen a las nuevas propuestas editoriales que generalmente incluyen tendencias más actuales en la didáctica de las disciplinas.

Con la finalidad de optimizar la utilidad del libro de texto en la formación académica y en la futura práctica profesional de los estudiantes de profesorado, en esta investigación nos proponemos identificar las representaciones sociales del libro de texto universitario de ciencias y diseñar e implementar una propuesta para profundizar su conocimiento y análisis en la formación docente con estudiantes de profesorado en Física, Química y Tecnología.

## MARCO TEÓRICO

En los últimos tiempos se ha incrementado el interés por las investigaciones referidas a la formación inicial de los docentes que se incorporarán a la escuela secundaria (Marcelo y Vaillant, 2009; Edelstein, 2011). Atendiendo las características del proceso educativo, consideramos que un abordaje psicosocial permite una mirada holística. Por esto, enfocamos la investigación desde la perspectiva de la teoría de las representaciones sociales (Moscovici, 1961), por ser esta un valioso instrumento para la investigación en el ámbito educativo (Chaib, 2015). Desde la perspectiva de esta teoría se considera al sujeto como un ser esencialmente social y en una relación mutuamente modificante con el medio o contexto en el que está inmerso (Moscovici, 1986).

Jodelet (1986) señala que las representaciones sociales (en adelante, RS) constituyen un conocimiento práctico de sentido común que nos permite comprender y explicar los hechos y las ideas de nuestro mundo, responder a las preguntas que este nos plantea, establecer nuestra posición en relación con los fenómenos, acontecimientos, objetos y comunicaciones, y, de esta manera, dar sentido a nuestro entorno y a los hechos que ocurren. Es un conocimiento implícito, socialmente elaborado y compartido y muy resistente al cambio, que se construye a través de nuestras experiencias físicas y de distintos procesos sociales como la comunicación y la educación. Las RS cumplen tres funciones: (1) función cognitiva de integración de la novedad –integrar lo nuevo a un sistema cognitivo, hacer que lo extraño resulte familiar–, (2) función de interpretación de la realidad –describir y explicar la realidad y comunicarla– y (3) función de orientación de las conductas y de las relaciones sociales –orientar las decisiones y las conductas–.

Otro aspecto que hay que tener en cuenta es que las RS constituyen un todo estructurado y organizado, compuesto por un conjunto de informaciones, creencias, opiniones y actitudes con relación a un objeto. Abric (1994) plantea que es necesario identificar su contenido y estructura, dado que está organizada alrededor de un núcleo central que cumple dos funciones: otorgar el significado a la representación y organizar el resto de los elementos. En el núcleo, la estabilidad de los elementos garantiza la permanencia y el carácter innegociable de la representación. También conforma la estructura de las RS un sistema periférico que tiende a preservar el núcleo de posibles transformaciones, es flexible y variable debido a que es más sensible al contexto inmediato.

En investigaciones desarrolladas en el contexto educativo argentino (Mazzitelli et al., 2009; Guirado et al., 2013; Maturano, 2018; entre otros) detectamos una relación entre las RS que el docente tiene de la enseñanza, del aprendizaje y de sus alumnos y la forma en que aborda los contenidos y las características de su práctica. Solís, Luna y Rivero (2002) consideran que la formación inicial de los docentes debería promover un cambio, tanto conceptual como metodológico, en las concepciones sobre la docencia, atendiendo a que en general los futuros profesores manifiestan aproximaciones a un modelo didáctico tradicional, por ser generalmente el único referente visto en su etapa como estudiantes. Así, se evidencia la importancia de indagar cuáles son las RS para favorecer su explicitación y la reflexión sobre sus implicancias en la práctica docente y, de esta manera, contribuir al mejoramiento de la enseñanza y, como consecuencia, del aprendizaje.

Uno de los objetos sociales de interés en el ámbito educativo es el libro de texto o manual. Según Ramírez (2007), una forma de comprender el uso que los docentes le dan al libro de texto en el aula sería a partir del estudio de sus RS sobre dicho dispositivo pedagógico. Como los docentes y futuros docentes interactúan y han interactuado cotidianamente con el objeto «texto escolar», han creado una representación sobre él. En investigaciones anteriores analizamos las RS de los futuros docentes de ciencias acerca del manual escolar que se utiliza en la escuela secundaria (Maturano, 2018). Surge de dichas investigaciones la necesidad de indagar acerca de las RS del libro de texto o manual universitario que utilizan los futuros profesores durante su formación inicial.

El libro de texto universitario es:

Ese material de consulta multilateral, dialéctico, didáctico, práctico y flexible; basado en cogniciones actualizadas, a tono con la tecnología y con una profunda visión de las problemáticas del contexto sociocultural y del futuro, que favorece la formación académica, profesional y axiológica entre educandos, docentes y sociedad (Reynosa Navarro, 2015, p. 117).

Los manuales pueden encuadrarse en un género discursivo «cuyo macropropósito comunicativo es instruir acerca de conceptos y/o procedimientos en una temática especializada» (Parodi, Ibáñez y Venegas, 2009, p. 91).

En esta investigación consideramos que los libros de texto constituyen un material curricular de gran relevancia en el aula de ciencias, lo cual, según Solaz-Portolés (2010), se pone de manifiesto en que se han convertido en objeto de estudio para muchos investigadores en la didáctica de las ciencias. Uno de los aspectos que se han analizado se relaciona con su adaptación a las reformas educativas y el cambio de sus propuestas pedagógicas (Guerra y López, 2011). Por una parte, las editoriales, aunque intentan publicar materiales innovadores, están fuertemente sometidas a las leyes del mercado (Martínez y García, 2003). Sus propuestas no son azarosas y rara vez apuestan por hacer grandes innovaciones para asegurarse la aceptación de los docentes y, por ende, sus beneficios económicos (Solbes, Montserrat y Furió, 2007). Por otra parte, los manuales han sufrido transformaciones importantes, no solo en cuanto a sus contenidos, sino también en cuanto a su estructura y diseño, debido a los aportes de la didáctica, la psicología, la lingüística y disciplinas afines, así como el desarrollo tecnológico en áreas como la computación y la informática que han permitido crear libros de texto cada vez más atractivos y eficientes desde el punto de vista pedagógico (Ramírez, 2002). En general, las propuestas han ido evolucionando a lo largo del tiempo con los adelantos científicos y técnicos de una forma diferente a como lo ha hecho la preparación de los docentes para su utilización (Gutiérrez-Escobar et al., 2013). Esto pone en evidencia la necesidad de actualizar el conocimiento de los profesores para utilizar los medios de enseñanza cuyo soporte se encuentra en muchas ocasiones en las nuevas tecnologías.

Los libros de texto son mediadores en la construcción del mundo de las ciencias de docentes y estudiantes (Salazar López, 2012) y están considerados como un elemento orientador y, en ocasiones, determinante en la toma de decisiones en los procesos de enseñanza y aprendizaje porque se usan como una herramienta que va más allá del simple recurso de apoyo a la enseñanza (Bernat y Gómez, 2009). Constituyen un factor de gran responsabilidad en el proceso educativo por la confianza que le atribuye el profesor una vez que lo elige (Solbes, Montserrat y Furió, 2007). Vázquez Bernal, Jiménez Pérez y Mellado Jiménez (2010) encontraron que un obstáculo importante lo constituye el hecho de considerar el libro de texto como fuente principal de información cuando analizaron las dificultades que surgen de la interacción entre la reflexión y la práctica de aula, así como su influencia en el desarrollo profesional.

La valoración del manual como recurso de aprendizaje en el ejercicio profesional puede asociarse, en cierta medida, a aspectos relacionados con la formación docente inicial. Existen evidencias que muestran que la formación de profesores está muy alejada de la profesión docente por su escasa articulación con el conocimiento pedagógico y con la práctica docente, sus rutinas y culturas profesionales (Nóvoa, 2009; Vaillant, 2007), por lo que es necesario cuestionar las prácticas de enseñanza basadas solamente en la transmisión de información. Esto implica plantear una formación docente inicial en la cual las prácticas se realicen desde un punto de vista teórico y metodológico que contribuya a la construcción de un conocimiento profesional docente. Según Nóvoa (2009), para ser profesores es imprescindible el dominio científico de una determinada área de conocimiento, pero no basta con ello, es necesario comprenderlo en todas sus dimensiones (el proceso histórico de su constitución, las explicaciones que prevalecieron y las que fueron abandonadas, el papel de ciertos individuos y de

ciertos contextos, las dudas que persisten, entre otros) y exige una reelaboración continua de saberes y prácticas. Es decir, ser un docente profesional requiere tener saberes teóricos y prácticos que no son una sumatoria de conceptos y de técnicas (Vaillant, 2007) y promover la indagación y la mejora continua sobre la base de la eficacia docente y el aprendizaje de los estudiantes (Marcelo y Vaillant, 2009).

En esta investigación nos proponemos generar instancias de reflexión acerca de las propias RS sobre el libro de texto universitario, de las características de este recurso y de sus formas de utilización como parte de la formación inicial de futuros docentes de ciencias naturales y tecnología.

## METODOLOGÍA

Desarrollamos esta investigación en una cátedra de formación docente de los profesorado en Física, Química y Tecnología de la Universidad Nacional de San Juan. La cátedra propone el abordaje de contenidos relacionados con la conceptualización de aprendizaje y enseñanza de las ciencias naturales. Llevamos a cabo la aplicación en tres instancias de trabajo: (1) cuestionario para la indagación de las RS acerca del libro de texto universitario como objeto de representación que incluye una técnica de evocación y jerarquización y el relevamiento de las opiniones sobre su utilización en la formación docente inicial a través de preguntas de respuesta abierta; (2) taller para profundizar en el conocimiento y análisis de las características de los libros de texto universitarios de ciencias, y (3) pregunta de reflexión final. La muestra estuvo constituida por 38 estudiantes que cursan el segundo año de las carreras mencionadas.

A continuación, detallamos las instancias de trabajo y las técnicas utilizadas.

### Cuestionario

Al comenzar el año académico, aplicamos un cuestionario en el que se incluyeron una técnica de evocación y jerarquización y preguntas de respuesta abierta.

#### *Técnica de evocación y jerarquización*

Esta técnica ha sido empleada en numerosas investigaciones en diversos contextos para la identificación de la estructura y el contenido de las RS (Mazzitelli et al., 2009; Maturano, 2018; entre otros). Esta metodología considera que las ideas expresadas mediante un procedimiento de asociación de palabras son producciones espontáneas de los sujetos con menos restricciones que las impuestas normalmente en entrevistas o cuestionarios cerrados, lo que permite la extracción de resultados menos sesgados (Abric, 1994).

En esta investigación utilizamos el concepto inductor *libro de texto universitario de ciencias*. Solicitamos a los participantes que escribieran las primeras cinco palabras, ideas o conceptos que asociaran al término *inductor*. Posteriormente, les pedimos que las ordenaran de mayor (valor 1) a menor importancia (valor 5) y que explicaran las razones por las que las mencionaron y de qué manera las relacionan con el libro de texto universitario de ciencias.

Una vez finalizada la aplicación de la técnica, y a fin de comenzar a procesar los datos obtenidos, consideramos todas las palabras y, a partir de estas, elaboramos categorías y dimensiones para agruparlas. Cabe mencionar que en la elaboración de las categorías y dimensiones tuvimos en cuenta los resultados de investigaciones anteriores sobre el manual escolar (Maturano y Mazzitelli, 2017). En la tabla 1 presentamos las dimensiones y categorías utilizadas, una breve descripción de estas y algunos ejemplos de las palabras o frases. En cada caso, las explicaciones solicitadas nos permitieron confirmar la correspondencia de los términos a las diferentes categorías de análisis.

Tabla 1.  
Dimensiones y categorías de análisis de las evocaciones

<i>Dimensión intrínseca: se refiere a los aspectos propios del género textual manual</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Características generales:</i> Características propias del género manual o especificaciones comunes a cualquier libro. Ejemplos: concreto, didáctico, ilustrado.</li> <li>– <i>Elementos:</i> Partes, elementos o secciones de un manual de ciencias naturales. Ejemplos: diagramas, dibujos, ejercicios.</li> <li>– <i>Valoración de características generales:</i> Expresiones (positivas o negativas) que reconocen o estiman el valor o las cualidades de algunas de las características del manual. Ejemplos: complejo, completo, confianza.</li> </ul>
<i>Dimensión disciplinar: se refiere a los contenidos disciplinares presentados en el manual</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Contenidos científicos generales:</i> Modos generales de expresión del conocimiento científico, disciplinas científicas propiamente dichas y/o contenidos estudiados en forma general por las ciencias naturales. Ejemplos: ciencia, contenidos, física.</li> <li>– <i>Contenidos científicos específicos:</i> Contenidos abordados especialmente por la física o la química. Ejemplos: átomo, equilibrio, movimiento.</li> <li>– <i>Contenidos científicos auxiliares:</i> Contenidos abordados especialmente por la matemática que son utilizados como herramienta en las ciencias naturales. Ejemplos: cálculo, vectores.</li> <li>– <i>Naturaleza de la ciencia:</i> Aspectos epistemológicos y sociológicos de las ciencias, incluyendo saberes, valores y creencias inherentes a la construcción del saber científico. Ejemplos: conocimiento, curiosidad, métodos.</li> </ul>
<i>Dimensión funcional: para qué se propone el uso del manual</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Recurso:</i> Palabras e ideas que consideran al manual como un medio o instrumento que le facilita la tarea a alguien y le permite conseguir los objetivos que pretende. Ejemplos: apoyo, comprensión, herramienta.</li> <li>– <i>Procesos educativos:</i> Procesos que se producen en el aula, mencionados en forma general. Ejemplos: aprender, enseñanza.</li> </ul>
<i>Dimensión metodológica: se asocia a cómo se propone utilizar el manual</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Estrategias:</i> Tareas mencionadas de forma específica que implican el uso del manual y podrían proponerse en diferentes momentos de la clase, lo que promueve la interacción entre el estudiante y el libro de texto. Ejemplos: aplicar, lectura, técnicas.</li> </ul>

Para procesar los datos, analizamos la frecuencia de las palabras incluidas en cada categoría y el orden de importancia promedio asignado, siguiendo un modo de procesamiento similar al utilizado por Mazzitelli et al. (2009) para establecer si la frecuencia relativa de cada categoría es alta o baja (en función del promedio entre la mayor y la menor de las frecuencias obtenidas) y si la importancia asignada a esta es grande o pequeña (teniendo en cuenta el valor de referencia 3). En función de los valores obtenidos para la frecuencia y la importancia de cada categoría, identificamos las cuatro zonas características de las RS.

- a) Núcleo: frecuencia alta-importancia grande
- b) Primera periferia: frecuencia alta-importancia pequeña
- c) Elementos de contraste: frecuencia baja-importancia grande
- d) Segunda periferia: frecuencia baja-importancia pequeña

### *Preguntas de respuesta abierta*

Solicitamos a los participantes que se expresaran acerca de la utilidad del libro de texto universitario de ciencias, tanto para el docente como para los estudiantes, y sobre los obstáculos que asocian a su uso.

## Taller para profundizar en el conocimiento y análisis de los libros de texto de ciencias

Con el objetivo de promover un acercamiento de los futuros docentes de la muestra a los libros de texto universitarios, consideramos conveniente abordar el análisis de dos prólogos de manuales universitarios de física de diferentes épocas a la luz de las dimensiones que surgieron de las evocaciones. Seleccionamos el prólogo como objeto de análisis ya que este constituye un texto independiente que puede considerarse un objeto de investigación en sí mismo (Garrido Vílchez, 2012). En un manual universitario, el prólogo provee un panorama ordenado y coherente de la disciplina y ayuda a captar las normas, valores e ideologías de una cultura académica particular, lo que lo convierte en un material conveniente para la lectura de docentes y estudiantes que se inician gradualmente en el estudio de una disciplina acompañados por el manual (Cubo, 2005).

Utilizamos una metodología de taller implementando un encuentro de tres horas de duración una vez que se habían abordado las teorías de aprendizaje durante las clases de la asignatura.

Las decisiones metodológicas se fundamentan en lo siguiente:

- Focalizamos el análisis en el prólogo ya que este informa acerca de las características más relevantes del libro, y presenta sus fundamentos tanto científicos como pedagógicos (Soliveres, Maturano y Macías, 2015).
- Trabajamos con libros de diferentes épocas para promover la discusión en torno a los cambios que han experimentado en el transcurso del tiempo.
- Elegimos dos libros de texto que corresponden a una misma propuesta editorial que se ha ido renovando en las sucesivas ediciones para minimizar la influencia de otras variables. Seleccionamos la Física Universitaria de Francis Sears y Mark Zemansky por su gran utilización en el contexto educativo en el que realizamos esta investigación (Sears y Zemansky, 1957; Young y Freedman, 2013).
- Optamos por las ediciones cuarta (la edición más antigua a la que accedimos en este estudio) –en adelante LEA, «libro de edición antigua»– y decimotercera (la edición más reciente en español en el momento en el que se realiza esta investigación) –en adelante LER, «libro de edición reciente»–.

Una vez seleccionados los libros, analizamos cada uno de los prólogos según las dimensiones señaladas (véase tabla 1). A partir de ese análisis, diseñamos actividades de lectura implementadas en tres momentos durante el taller coordinado por uno de los investigadores al que llamamos «el docente»:

### *Prelectura*

El docente propuso a los estudiantes que expresen qué es el prólogo de un libro de texto y qué información esperan encontrar allí. Luego, acotando las respuestas al prólogo de un manual universitario de ciencias, les pidió formular hipótesis acerca del contenido esperado. El docente solicitó agrupar estas hipótesis según se vinculen con las dimensiones identificadas en las RS sobre el manual universitario (tabla 1).

### *Lectura*

#### Lectura global

El docente pidió a los estudiantes que leyeran los prólogos de los manuales intentando identificar huellas que correspondan a cada una de las dimensiones analizadas.

## Lectura en detalle

Los estudiantes se dividieron en grupos, cada uno de los cuales analizó en ambos prólogos una de las dimensiones. Para cada grupo, las consignas de trabajo fueron las que incluimos en la tabla 2, solicitando que comparen ambos libros de texto definiendo en primer lugar los aspectos a comparar y, luego, mostrando las características correspondientes de cada propuesta.

Tabla 2.  
Consignas de trabajo para cada dimensión

<i>Dimensión intrínseca</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– ¿Qué características generales tiene cada manual según el prólogo?</li> <li>– ¿Se hacen valoraciones de estas características?</li> </ul>
<i>Dimensión disciplinar</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– ¿Qué contenidos se abordan en cada manual según el prólogo?</li> <li>– ¿Qué se dice en el prólogo acerca de estos contenidos y del nivel y forma de abordaje?</li> <li>– ¿Hay alusiones a contenidos de matemática como disciplina auxiliar?</li> <li>– ¿Qué referencias hay en el prólogo acerca de la naturaleza de la ciencia (apreciaciones acerca del conocimiento científico, saberes, valores y creencias inherentes a la construcción del saber científico)?</li> </ul>
<i>Dimensión funcional</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– ¿Para qué se propone utilizar cada uno de los manuales universitarios?</li> <li>– ¿Qué distinciones se hacen acerca de la función que desempeña el manual para el estudiante y para el docente?</li> <li>– ¿Qué concepciones de enseñanza y de aprendizaje subyacen a las propuestas analizadas?</li> </ul>
<i>Dimensión metodológica</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– ¿Qué estrategias de trabajo en el aula se mencionan en el prólogo?</li> </ul>

## Poslectura

Cada uno de los grupos expuso los resultados de la discusión. El docente guio el debate a fin de favorecer la participación de todos los estudiantes.

## Actividad de cierre del taller

Presentamos los resultados obtenidos de la indagación de las RS y de los usos y obstáculos asociados por los estudiantes de la muestra al libro de texto universitario. En esta instancia, buscamos establecer relaciones entre el análisis realizado con los prólogos y los contenidos trabajados en la cátedra sobre las distintas teorías de aprendizaje. La actividad se desarrolló intentando favorecer el análisis y la reflexión acerca de la concepción de docente, del alumno, del aprendizaje, de la enseñanza y del conocimiento que cada prólogo refleja.

## Pregunta de reflexión final

Para evaluar el impacto de la propuesta formulamos una pregunta a los estudiantes para ser respondida durante una instancia formal de evaluación prevista por la cátedra. La pregunta fue: «Teniendo en cuenta lo trabajado con los prólogos de los libros de texto de ciencias, ¿qué tendría en cuenta al momento de seleccionar un libro de texto para trabajar con sus alumnos en su futura práctica docente? Fundamente su respuesta desde las teorías de aprendizaje estudiadas».

Esta pregunta pretende, por un lado, favorecer una formación en la que se relacionen conocimientos fundados en teorías y prácticas o situaciones particulares y concretas con las que se encontrarán en sus futuras prácticas docentes. Por otro lado, pone en juego lo trabajado acerca de los prólogos a la luz de sus RS. De esta manera, buscamos favorecer una práctica reflexiva desde la formación inicial.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Técnica de evocación y jerarquización

En primer lugar, procesamos las evocaciones de los estudiantes acerca del término inductor *libro de texto universitario de ciencias*, siguiendo la metodología específica de la técnica de evocación y jerarquización (Mazzitelli et al., 2009). La estructura encontrada es la que mostramos en la figura 1.

<p>NÚCLEO Contenidos científicos generales</p>	<p>PRIMERA PERIFERIA Contenidos científicos específicos Elementos</p>
<p>SEGUNDA PERIFERIA Características generales Valoración de características generales Estrategias Contenidos científicos auxiliares</p>	<p>ELEMENTOS DE CONTRASTE Recurso Procesos educativos Naturaleza de la ciencia</p>

Fig. 1. Estructura de las RS acerca del libro de texto universitario de ciencias.

La estructura se encuentra centrada en el núcleo ocupado por la categoría «Contenidos científicos generales», que se refiere a aspectos formales del conocimiento científico como teorías, modelos o conceptos. En la primera periferia, reforzando el núcleo, se ubican las categorías «Contenidos científicos específicos» y «Elementos». En este punto cabe destacar que la primera categoría obtuvo el valor más alto de frecuencia. Además, las palabras que allí se incluyeron fueron mencionadas por alumnos de los tres profesados, lo cual evidencia que un porcentaje alto de estudiantes asocia el manual con los contenidos científicos específicos que se abordan. Estos abarcan un amplio espectro de temas, pero en general se trata de conceptos básicos de física, química y tecnología. Los elementos de los libros a los que más se refieren se corresponden con aquellos recursos que les permiten una síntesis o aplicación de los contenidos (problemas, ejercicios, esquemas).

Complementan esta estructura en la segunda periferia las categorías «Características generales», «Valoración de características generales», «Estrategias» y «Contenidos científicos auxiliares», correspondientes a las dimensiones intrínseca, metodológica y disciplinar. Quedan fuera de la RS que predomina, formando la zona de contraste, las categorías: «Recurso», «Procesos educativos» y «Naturaleza de la ciencia». La no inclusión de las dos primeras categorías implica la exclusión de la dimensión funcional. Por otra parte, la única categoría de la dimensión disciplinar que queda fuera de la RS es la «Naturaleza de la ciencia».

### Preguntas de respuesta abierta

Para el análisis de las respuestas de los estudiantes utilizamos las mismas dimensiones que para la técnica de evocación y jerarquización. Cabe aclarar que las respuestas pueden enmarcarse en más de una dimensión atendiendo a la multiplicidad de aspectos que consideraron los estudiantes.

A continuación, presentamos, para cada pregunta, los resultados y su análisis:

*¿Para qué utilizan habitualmente sus profesores el «libro de texto universitario de ciencias» (Física/Química)?*

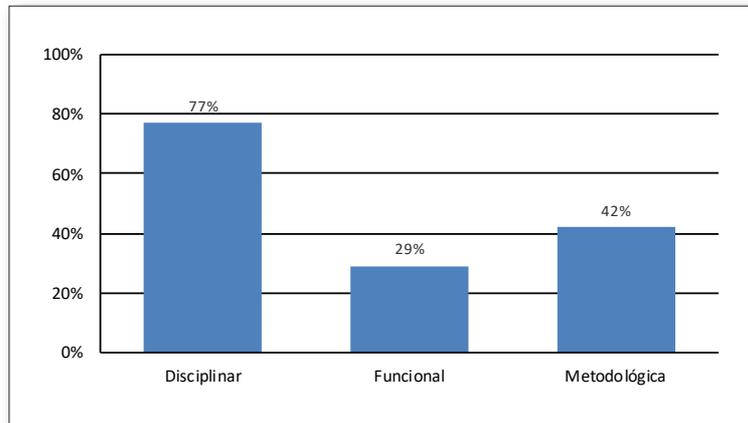


Fig. 2. Dimensiones asociadas al uso que hacen los profesores del libro de texto.

Agrupamos las respuestas dadas por los alumnos en tres de las cuatro dimensiones (véase figura 2):

- Disciplinar: se pueden diferenciar opiniones vinculadas con contenidos científicos generales y específicos. Entre las finalidades de uso mencionadas encontramos, por ejemplo: «Los profesores utilizan habitualmente el libro para dar los temas que tienen programados...»; «... para completar conocimientos de teorías específicas...»; «... para fundamentar conceptos...».
- Funcional: se refieren al uso del libro como recurso, para organizar el programa, guiar el aprendizaje y recomendar como referente para estudiar; por ejemplo: «Lo utilizan para armar el programa de los contenidos que darán a lo largo del año...»; «... para guiar el aprendizaje»; «... se lo recomienda como fuente de estudio».
- Metodológica: se refieren a estrategias, mencionando tareas específicas como la resolución de problemas y la ejemplificación; por ejemplo: «... ejercitación de los temas de los parciales»; «... sacar ejercicios y problemas»; «... usar ejemplos...».

*¿Para qué utilizas habitualmente el «libro de texto universitario de ciencias» (Física/Química)?*

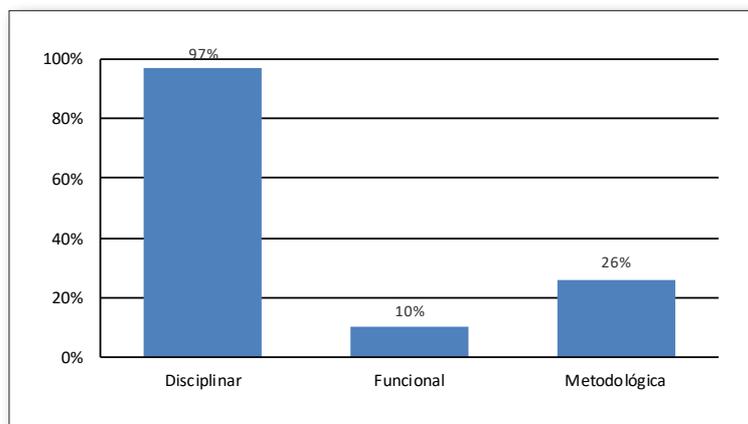


Fig. 3. Dimensiones asociadas al uso que hacen los estudiantes del libro de texto.

La dimensión que predomina en relación con el uso que los estudiantes hacen del libro de texto es la disciplinar (véase figura 3), en coincidencia con su opinión acerca del uso que hacen sus profesores. Agrupamos las respuestas en las siguientes dimensiones:

- Disciplinar: se diferencian opiniones vinculadas con contenidos científicos generales y específicos, manifestando su uso para: «... profundizar los temas... y estudiarlos»; «... buscar información...»; «... reforzar los aspectos teóricos...».
- Funcional: se refieren al libro como recurso principalmente «para preparar evaluaciones finales» y también «para aprender» en su proceso de formación actual y «para enseñar en el futuro».
- Metodológica: se refieren a estrategias o herramientas para aprender, mencionando como tarea específica la resolución de problemas y ejercicios; por ejemplo: «... guía de práctica»; «... ejercitar...».

*Encuentras obstáculos al utilizar el «libro de texto universitario de ciencias» (Física/Química)? Si es así, ¿cuáles?*

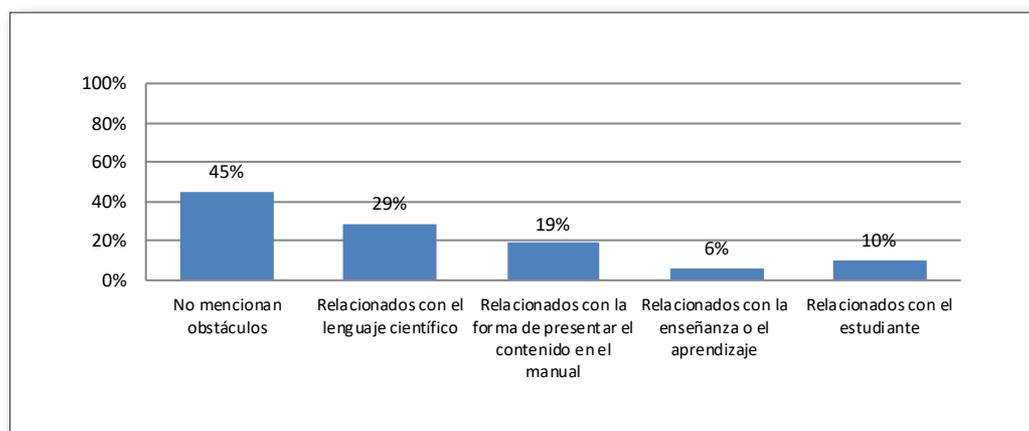


Fig. 4. Obstáculos asociados al uso del libro de texto.

Los resultados muestran que es mayor la cantidad de estudiantes que identifican obstáculos en el uso del libro de texto, siendo los más mencionados los que se relacionan con aspectos que tiene que ver con lo disciplinar (obstáculos relacionados con el lenguaje científico y con la forma de presentar el contenido en el manual).

Para esta pregunta agrupamos las respuestas en cinco categorías construidas según las dificultades mencionadas (véase figura 4). A continuación, presentamos las categorías y algunos ejemplos:

- Obstáculos relacionados con el lenguaje científico: «Cuesta un poco comprenderlos por la terminología específica»; «Uno de los obstáculos es la simbología...».
- Obstáculos relacionados con la forma de presentar el contenido en el manual: «A veces son muy viejos y su información obsoleta se contradice con libros más actuales»; «... suelen estar mal traducidos».
- Obstáculos relacionados con la enseñanza o el aprendizaje: «...Pocos recursos didácticos».
- Obstáculos relacionados con el estudiante: «Muchas veces me cuesta entender lo que leo e interpretarlo».

Las respuestas están fuertemente ligadas a la dimensión disciplinar, puesto que las potencialidades y las dificultades asociadas por los estudiantes al uso del manual universitario se relacionan en mayor medida con los contenidos disciplinares, más que con los enfoques didácticos que sustentan las propuestas.

### Taller de análisis y reflexión acerca de los libros de texto de ciencias

Una vez que se acercaron a los prólogos a través de la prelectura y lectura global, los estudiantes, organizados en cuatro grupos de trabajo constituidos voluntariamente, realizaron una lectura en detalle analizando cada una de las dimensiones y buscando indicadores explícitos de estas en los prólogos. Las respuestas obtenidas para las consignas que planteamos fueron las siguientes:

#### *Grupo 1: Dimensión intrínseca*

– ¿Qué características generales tiene cada manual según el prólogo?

Las respuestas centran su atención en las siguientes características comunes de ambos manuales: autores, destinatarios, contenidos, comentarios, agradecimientos y fecha de publicación. Para el LER se agregan otras características en el prólogo que los estudiantes no señalaron como: orientaciones sobre cómo estudiar los contenidos, la posibilidad de críticas por parte de los lectores y la mención de colaboradores.

– ¿Se hacen valoraciones de estas características?

Para el LEA, los estudiantes rescataron en sus respuestas las valoraciones que hacen los autores de la sencillez y claridad, de su carácter de instrumento nuevo de trabajo, de la conservación de las principales características de la primera edición y de su apertura en relación con opiniones de revisores y amigos. Para el LER, los estudiantes destacaron solamente la presencia de modificaciones y ampliaciones con respecto a ediciones anteriores en búsqueda de una mejor comprensión. En este último caso, han omitido considerar en sus respuestas otras valoraciones que se hacen en el prólogo sobre: el aporte considerado revolucionario en la forma de aplicar los principios fundamentales de la física, el hecho de haber tenido en cuenta aportes de la investigación educativa y la solicitud de que comuniquen a los autores los errores y deficiencias que encuentren en esa edición.

– ¿Qué secciones o elementos integran cada propuesta?

Para el LEA los aspectos destacados por los estudiantes se refieren a los elementos agregados a dicha edición como son problemas aclaratorios, nuevos temas, figuras y dibujos y problemas. Los estudiantes centraron su atención en los aspectos renovados del manual y no advirtieron que se reproducen los enunciados antiguos al final del libro como suplemento.

Para el LER, los estudiantes destacan los siguientes elementos constitutivos: contenidos agregados, impresión en color, ejemplos ampliados, figuras, actividades o problemas, tutoriales en internet y CD. Cabe destacar que el listado de elementos que podría hacerse es más amplio. Los estudiantes omitieron otras secciones presentadas en el prólogo como: advertencias de cuidado, aplicaciones de la física, sugerencia de una estrategia modelo para la resolución de problemas, preguntas para evaluar la comprensión y material para el profesor, entre otros aspectos novedosos que forman parte del LER.

### *Grupo 2: Dimensión disciplinar*

– ¿Qué contenidos se abordan en cada manual según el prólogo?

En cada caso, los estudiantes elaboraron un listado de los contenidos disciplinares, tanto generales como específicos, que se trabajan en cada manual. Para responder esta pregunta en relación con el LER, consultaron también el índice del manual.

– ¿Qué se dice en el prólogo acerca de estos contenidos y del nivel y forma de abordaje?

En relación con el LEA, las respuestas hacen hincapié en las modificaciones introducidas en esa edición como: haber dibujado nuevamente muchas figuras, haber incluido problemas aclaratorios y abordar con mayor rigor algunos temas. Los estudiantes no mencionaron en las respuestas la limitación al campo de la física pura que se explicita en el prólogo, ni el énfasis en los sistemas de unidades y de convenciones sobre símbolos y nomenclaturas contemporáneas de la época de edición.

Con respecto al LER, las respuestas focalizan en la utilización del cálculo en el abordaje propuesto, la utilización de un lenguaje más conciso y enfocado, la opción por una presentación más precisa de los contenidos de física moderna en lugar del enfoque histórico del material y algunas variaciones en relación con el orden en que se exponen los contenidos. No mencionan las aplicaciones adicionales a las ciencias de la vida ni la renovación producida en los problemas que requieren cálculo cuyo nivel se ha elevado.

– ¿Hay alusiones a contenidos de matemática como disciplina auxiliar?

Las respuestas, en ambos casos, ponen de manifiesto las alusiones en los dos prólogos a la importancia del manejo de contenidos de matemáticas necesarios para abordar los contenidos de física. En el LEA se explicita que los estudiantes deben seguir simultáneamente un curso de cálculo diferencial e integral. En el LER se hace hincapié en que el estudiante tenga estudios avanzados de matemática para comprender con más rapidez.

– ¿Qué referencias hay en el prólogo acerca de la naturaleza de la ciencia (apreciaciones acerca del conocimiento científico, saberes, valores y creencias inherentes a la construcción del saber científico)?

Con respecto al LEA, las respuestas destacan dos aspectos: *a)* el énfasis que se hace de las leyes físicas y *b)* el abordaje de aspectos fenomenológicos de algunos temas. Sin embargo, no se indica la idea completa expresada en el prólogo en cuanto a que: *a)* prioriza las leyes concediendo menor importancia al panorama histórico y a las aplicaciones prácticas y *b)* propone el abordaje fenomenológico complementario con un abordaje molecular. Tampoco se menciona en las respuestas de los estudiantes el enfoque del contenido científico ligado a la utilidad para la ingeniería.

En lo que se refiere al LER, las respuestas focalizan en dos aspectos relacionados con la naturaleza de la física que se mencionan en el prólogo: *a)* su objeto de estudio que se reconoce amplio y *b)* el trabajo cooperativo de científicos e ingenieros. Algunas omisiones que se detectan en las respuestas se relacionan con otras ideas que forman parte del prólogo pero no son reconocidas por los estudiantes como: las conexiones de la física con el mundo real y con otras disciplinas como la biomédica y el carácter deductivo de la física.

### *Grupo 3: Dimensión funcional*

– ¿Para qué se propone utilizar cada uno de los manuales universitarios?

Para el caso del LEA, la dimensión funcional fue asociada con su uso por parte de los estudiantes de ciencias e ingeniería. Con respecto al LER, las respuestas se centran en la función de desarrollar habilidades básicas y avanzadas que ayudarán al estudiante a resolver una gran variedad de problemas de física. Los estudiantes no incluyeron en sus respuestas la finalidad explicitada en el LER en relación con que el estudiante triunfe en física cuando lo «intente de verdad».

– ¿Qué distinciones se hacen acerca de la función que desempeña el manual para el estudiante y para el docente?

Los estudiantes en sus respuestas detectaron que el prólogo se refiere solo al estudiante para el LEA y que hay distinciones en el LER que propone prólogos diferentes para docentes y para estudiantes en los que expresa las funciones del manual. Las respuestas a esta pregunta no captan la función de herramienta que se le asigna al LER para los docentes cuando se indica que proporciona un punto de partida que puede o no seguirse sin modificaciones. Tampoco aluden a la función de seguimiento prevista en dicha propuesta a través del programa *Mastering Physics*.

– ¿Qué concepciones de enseñanza y de aprendizaje subyacen a las propuestas analizadas?

Para el LEA, los estudiantes consideraron que la concepción de aprendizaje que fundamenta la propuesta se manifiesta en la valoración de las sugerencias enviadas por docentes a partir de su experiencia pedagógica real. Estas respuestas solo captan las concepciones de base en forma superficial puesto que no incluye la mención de ciertas ideas que dan cuenta de estos procesos en el prólogo. Por ejemplo, subyace que el estudiante puede aprender solo ayudado exclusivamente por el manual, al calificar la obra «redactada con una claridad y precisión insuperables, el estudiante, con el auxilio de Física general, aun sin otra ayuda, llega a dominar los conceptos físicos y a comprender las leyes que los rigen...» (Sears y Zemansky, 1957, p. VII). Esta afirmación asignaría un valor de menor relevancia al docente.

Para el LER, los estudiantes respondieron que notaban, en relación con el aprendizaje, una inclinación constructivista al tener en cuenta los conocimientos que ya tiene el estudiante, y en relación con la enseñanza, ciertos aportes de Vigotsky referidos al andamiaje que estaría constituido por ayudas para los estudiantes que se proporcionan en el manual. Algunas características del manual que no fueron incluidas por los alumnos en sus respuestas tienen que ver con:

- el aprendizaje como un proceso, indicando que se incluye al principio de cada conjunto de problemas «un problema práctico ayuda a los estudiantes a transitar, con facilidad y confianza, de los problemas rutinarios a otros con un alto grado de dificultad» (Young y Freedman, 2013, p. VII).
- el aprendizaje como una construcción que tiene en cuenta lo aprendido anteriormente por el estudiante, tanto en física como en matemáticas: «Si en el bachillerato estudió física, es probable que aprenda los conceptos más rápido que quienes no lo hicieron... De igual modo, si tiene estudios avanzados de matemáticas comprenderá con más rapidez los aspectos matemáticos de la física» (Young y Freedman, 2013, p. XI).
- el aprendizaje como un proceso personal: «Cada uno de nosotros tiene un estilo diferente de aprendizaje y un medio preferido para hacerlo. Entender cuál es el suyo lo ayudará a centrarse en los aspectos de la física que tal vez le planteen dificultades y a emplear los componentes del curso que lo ayudarán a vencerlas» (Young y Freedman, 2013, p. XI).
- la enseñanza de la física sustentada en tres aspectos fundamentales: «enseñanza basada en la resolución de problemas, la pedagogía visual y conceptual» (Young y Freedman, 2013, p. XIII).

#### *Grupo 4: Dimensión metodológica*

– ¿Qué estrategias de trabajo en el aula se mencionan en el prólogo?

Para el LEA, los estudiantes resaltaron en sus respuestas las siguientes estrategias propuestas a partir del prólogo y de la nota editorial: leer, aplicar a casos prácticos y resolver problemas. Sin embargo, para el LER elaboraron un largo listado que incluye: estrategias para resolver problemas, realización de diagramas y esquemas, consulta de soluciones en tutoriales, conexiones entre los fenómenos de la vida y la física, uso del programa *Mastering Physics* y la propuesta de diferentes estrategias para facilitar el

aprendizaje (como trabajo grupal, formular preguntas en clase, tomar apuntes, entre otras sugerencias y recomendaciones). En sus respuestas, este grupo de estudiantes destacó que la versión actual tiene más en cuenta el aspecto metodológico e incluye pautas y consejos para el alumno y para el profesor, al igual que aspectos relacionados con el uso de la tecnología que denotan una concepción diferente de enseñanza y de aprendizaje de los autores.

Al finalizar el trabajo grupal, cada grupo expuso los resultados y el docente promovió el intercambio acerca de los aspectos diferentes analizados. Durante esta puesta en común, realizada como actividad de poslectura, los estudiantes manifestaron, en relación con la tarea propuesta, que nunca leen los prólogos de los libros de texto a los que acceden, y en relación con la comparación planteada, que notan avances en la actualización de las propuestas y detectan el impacto del contexto histórico en el que se escribió cada manual. Destacaron, por otra parte, que, dada la profundidad del análisis propuesto a partir de la lectura en detalle, habían podido «sacar mucho de muy poco» al comparar la longitud del prólogo con la riqueza de la discusión que se produjo durante el encuentro.

### **Pregunta de reflexión final**

En esta instancia participaron 33 estudiantes. Al analizar las respuestas a la pregunta de reflexión final, el 12,1 % la responde haciendo mención explícita de todas las dimensiones consideradas para el análisis de los prólogos del libro universitario. Otros estudiantes, 24,2 %, mencionan alguna o algunas dimensiones; por ejemplo, la dimensión metodológica «... y basándonos en el punto de vista metodológico podemos ver distintas situaciones problemáticas, aplicaciones y relacionar entre material, tipos de ayudas ya sea problemas, tutoriales, esquemas, etc.» o la dimensión disciplinar «... El manual de trabajo debe contar con contenidos conceptuales, explicativos». El 63,7 % hace referencia a alguna dimensión sin explicitarla, pero de sus respuestas se puede inferir que la han tenido en cuenta; por ejemplo: «que nos proporcione herramientas que nos facilite la tarea de enseñanza y nos sirva de guía práctica. Que posea los contenidos que necesitamos enseñar y que sean acordes al nivel requerido», refiriéndose así a aspectos relacionados con las dimensiones funcional, metodológica y disciplinar.

Respecto de la relación con las teorías de aprendizaje estudiadas, el 54,5 % usa de manera adecuada y explícita los fundamentos de las teorías y las vincula con las dimensiones consideradas para el análisis de los prólogos del libro universitario, por ejemplo: «Teniendo en cuenta el prólogo trabajado del libro nuevo (Física) y la postura de Vigotsky tendríamos un manual que tenga elementos que le permita al docente establecer sistemas de apoyo y ayudas, es decir andamiajes...». Otros estudiantes, 36,4 %, usan de manera aislada algunos conceptos de las teorías sin relacionarlos explícitamente con las dimensiones, tales como las ideas previas en relación con la teoría del aprendizaje significativo y la mediación y el andamiaje en relación con la teoría del aprendizaje sociocultural de Vigotsky. El 9,1 % de los estudiantes usa términos que no se relacionan con las teorías de aprendizaje estudiadas.

## **REFLEXIONES FINALES Y CONCLUSIONES**

Analizar las RS y opiniones de los futuros docentes en relación con el uso del libro de texto universitario nos ha permitido ahondar en los modos en que ellos, como grupo social e individualmente, se vinculan con el conocimiento disciplinar durante su formación inicial.

Las RS identificadas se centran predominantemente en los aspectos conceptuales de la dimensión disciplinar, y quedan excluidos los aspectos relacionados con la naturaleza de la ciencia, es decir, con los procesos de construcción del conocimiento científico, con la importancia del contexto y con la concepción de ciencia que subyace a la enseñanza de las ciencias y, por ende, a la práctica docente.

Otro punto que destacar es que no se incluyen en las RS elementos de la dimensión funcional. Estos resultados se ven reforzados por las respuestas a las preguntas del cuestionario en las que obtuvimos un predominio de lo conceptual sobre las restantes dimensiones, aun cuando preguntamos explícitamente «para qué» se utiliza el manual.

Al considerar el desempeño de los estudiantes durante el desarrollo de la propuesta de acercamiento a los prólogos, detectamos un escaso aprovechamiento del libro de texto, priorizando las menciones de las secciones tradicionales y desatendiendo los aportes de la investigación educativa que han llevado a los autores de los libros a incorporar otras secciones y elementos como aplicaciones al mundo real y a otras disciplinas, estrategias para la resolución de problemas, uso de nuevas tecnologías, herramientas de seguimiento del aprendizaje, entre otros.

Estos resultados, si se comparan con los obtenidos en estudios anteriores realizados con otros grupos del mismo contexto social y educativo (Maturano y Mazzitelli, 2017; Maturano, 2018), nos permiten explicar el apego a las secciones tradicionales y el protagonismo de este recurso en la planificación de clases cuando utilizan libros de texto de nivel secundario. Este conocimiento práctico adquirido en relación con el uso del manual universitario se asocia con un modelo de enseñanza tradicional, lo que podría extenderse para explicar los resultados anteriores y mostraría la incidencia de las RS en su desempeño profesional futuro.

En relación con la pregunta de reflexión final, destacamos en la elaboración de criterios para seleccionar un libro de texto una influencia marcada de las RS y cierta dificultad para aplicar las teorías de aprendizaje estudiadas.

Frente a estos resultados nos planteamos: qué influencia tendrían las RS analizadas en el aprendizaje de la disciplina y qué posibilidades de mejoramiento surgen para la formación docente. Por un lado, el manual universitario, en cuanto que objeto social, no es neutro, ya que las RS construidas influirían ahora en sus prácticas como estudiantes y tendrían consecuencias después en su desempeño docente. De esta manera, el libro de texto supera la mera utilidad como instrumento didáctico e influye en las concepciones de los estudiantes acerca del quehacer científico. Por otra parte, la posibilidad de cambio se asocia a la flexibilidad del sistema periférico y a la existencia de una representación social emergente que surge en la zona de contraste, ocupada por categorías de la dimensión funcional y por la naturaleza de la ciencia. Estos aspectos, más sensibles al contexto por el lugar que ocupan en la estructura de las RS, deberían transformarse en objeto de reflexión en el ámbito de la formación docente, objetivo al que hemos intentado atender desde el taller implementado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abric, J. C. (1994). *Pratiques sociales et représentations*. París: PUF.
- Bernat, F. y Gómez, J. G. (2009). Análisis del tratamiento didáctico de la biodiversidad en los libros de texto de Biología y Geología en Secundaria. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 23, 109-122.
- Chaib, M. (2015). Social representations, subjectivity and learning. *Cadernos de Pesquisa*, 45(156), 358-372.
- Cubo, L. (2005). *Los textos de la ciencia. Principales clases del discurso académico-científico*. Córdoba (Argentina): Comunicarte.
- Edelstein, G. (2011). *Formar y formarse en la enseñanza*. Buenos Aires: Paidós.
- Garrido Vilchez, G. B. (2012). Reseña bibliográfica. *Revista Argentina de Historiografía Lingüística*, 4(1), 83-90.

- Guerra Ramos, M. T. y López Valentín, D. M. (2011). Las actividades incluidas en el libro de texto para la enseñanza de las ciencias naturales en sexto grado de primaria: análisis de objetivos, procedimientos y potencial para promover el aprendizaje. *RMIE*, 16(49), 441-470.
- Guirado, A., Mazzitelli, C. y Olivera, A. (2013). Representaciones sociales y práctica docente: una experiencia con profesores de Física y de Química. *Revista Orientación Educativa*, 27(51), 1-20.
- Gutiérrez-Escobar, M., López-Fernández, R., Yanes-Seijo, R., Llerena-Bermúdez, M., Rosa-Rodríguez, M. y Olano-Rivalta, M. (2013). Medios de enseñanza con nuevas tecnologías versus preparación de los docentes para utilizarlos. *Medisur*, 11(2), 1-8.
- Jodelet, D. (1986). La representación social: fenómenos, concepto y teoría. En S. Moscovici (Ed.), *Psicología social II* (pp. 469-494). Barcelona: Paidós.
- Marcelo, C. y Vaillant, D. (2009). *Desarrollo profesional docente*. Madrid: Narcea.
- Martínez, C. y García, S. (2003). Las actividades de primaria y ESO incluidas en libros escolares. ¿Qué objetivos persiguen? ¿Qué procedimientos enseñan? *Enseñanza de las Ciencias*, 21(2), 243-264.
- Martins, I. y Brigas, M. A. (2005). Libros de texto de Química y aprendizaje de los alumnos: pensamiento y prácticas del profesorado. *Tarbiya: Revista de Investigación e Innovación Educativa*, 36, 149-166.
- Maturano, C. (2018). *El manual escolar en la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias Naturales: análisis de representaciones sociales y aspectos didácticos de su utilización en la escuela secundaria* (tesis doctoral). Mendoza: Universidad Nacional de Cuyo.
- Maturano, C. y Mazzitelli, C. (2017). Representaciones sociales de futuros docentes de Física y de Química sobre el manual escolar. *Revista Actualidades Investigativas en Educación*, 17(2), 1-20. <https://doi.org/10.15517/aie.v17i1.28203>
- Mazzitelli, C., Aguilar, S., Guirado, A. y Olivera, A. (2009). Representaciones sociales de los profesores sobre la docencia: contenido y estructura. *Revista Educación, Lectura y Sociedad*, 6(6), 265-290.
- Moscovici, S. (1961). *La Psychoanalyse, son image et son public*. París: Presses Universitaires de France.
- Moscovici, S. (1986). *Psicología Social I*. Barcelona: Paidós.
- Nóvoa, A. (2009). Para una formación de profesores construida dentro de la profesión. *Revista de Educación*, 350, 203-218.
- Ocelli, M. y Valeiras, N. (2013). Los libros de texto de ciencias como objeto de investigación: una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 133-152. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n2.761>
- Parodi, G. (2010). La organización retórica del género manual a través de cuatro disciplinas: ¿cómo se comunica y difunde la ciencia en diferentes contextos universitarios? *Boletín de Lingüística*, XXII(33), 43-69.
- Parodi, G., Ibáñez, R. y Venegas, R. (2009). El Corpus PUCV-2006 del Español: identificación y definición de los géneros discursivos académicos y profesionales. *Literatura y lingüística*, 20, 75-101. <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-58112009000100005>
- Ramírez, T. (2002). El texto escolar como objeto de reflexión e investigación. *Docencia Universitaria*, 3(1), 101-124.
- Ramírez, T. (2007). Los maestros venezolanos y los textos escolares. Una aproximación a las representaciones sociales a partir del análisis de segmentación. *Revista de Pedagogía*, 28(82), 225-260.
- Reynosa Navarro, E. (2015). El libro de texto universitario. Un enfoque metodológico. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria (RIDU)*, 9(2), 115-126. <https://doi.org/10.19083/ridu.9.415>
- Salazar López, T. I. (2012). La naturaleza de la ciencia desde la perspectiva de la educación en ciencias en un libro de texto. *Revista EDUCyT*, vol. extraordinario, 85-104.
- Sears, F. y Zemansky, M. (1957). *Física General* (4.ª ed.). Madrid: Aguilar.

- Solaz-Portolés, J. J. (2010). La naturaleza de la Ciencia y los libros de texto de Ciencias: una revisión. *Educación XXI*, 13(1), 65-80.  
<https://doi.org/10.5944/educxx1.13.1.277>
- Solbes, J., Montserrat, R. y Furió, C. (2007). Desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 21, 91-117.
- Solís, E., Luna, M. y Rivero, A. (2002). Las concepciones y los problemas profesionales del profesorado «novel» de secundaria del área de ciencias de la naturaleza. *Fuentes: Revista de la Facultad de Ciencias de la Educación*, 4, 127-138.
- Soliveres, M. A., Maturano, C. y Macías, A. (2015). Análisis de prólogos de manuales universitarios de Física. En P. Membiela, N. Casado y M. I. Cebreiros (Eds.), *Presente y futuro de la enseñanza de las Ciencias* (pp. 23-27). Ourense (España): Educación Editora.
- Vaillant, D. (2007). Mejorando la formación y el desarrollo profesional docente en Latinoamérica. *Revista Pensamiento Educativo*, 41(2), 207-222.
- Vázquez Bernal, B., Jiménez Pérez, R. y Mellado Jiménez, V. (2010). Los obstáculos para el desarrollo profesional de una profesora de enseñanza secundaria en ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 417-432.
- Young, H. y Freedman, R. (2013). *Física Universitaria con Física Moderna* (vol. 2, 13.<sup>a</sup> ed.). México: Pearson.

---

# The science university textbook in teacher training

Carla Inés Maturano

Instituto de Investigaciones en Educación en las Ciencias Experimentales. Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes.  
Universidad Nacional de San Juan. San Juan. Argentina.  
cmatur@ffha.unsj.edu.ar

Claudia Alejandra Mazzitelli

Departamento de Física y de Química. Instituto de Investigaciones en Educación en las Ciencias Experimentales.  
Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes. Universidad Nacional de San Juan. San Juan. Argentina.  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Argentina.  
mazzitel@ffha.unsj.edu.ar

Ana María Guirado

Departamento de Física y de Química. Instituto de Investigaciones en Educación en las Ciencias Experimentales.  
Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes. Universidad Nacional de San Juan. San Juan. Argentina.  
aguirado@ffha.unsj.edu.ar

In the area of natural sciences, the most widely used written material by students at university level is the textbook. Specifically, in the training degrees of teachers of natural sciences and technology, textbooks are not only the reading and approach material to the contents and procedures of scientific disciplines for learning, but they are a potential teaching resource in the teachers' future professional performance. Thus, it arises the need to characterize the teachers' ideas about textbooks. We approach this research from the perspective of the theory of social representations which considers that the «subject» is essentially social and has a mutually modifying relationship with the medium or context in which he is immersed. To optimize the use of this resource, in this research we aim to identify the social representations of future teachers about the science university textbook and to design and implement a proposal to deepen their knowledge and analysis in teaching training in Physics, Chemistry, and Technology at the Universidad Nacional de San Juan. We develop this research in a teacher training course through instances of reflection on one's own social representations. We carried out the investigation in three instances: (1) students answered a questionnaire about the university textbook that included a technique of evocation and hierarchization for the investigation of social representations and they completed open-ended questions about their opinions on the use of textbooks in initial teacher training; (2) students participated in a workshop to deepen the knowledge and analysis of the characteristics of the prologues of two science university textbooks from the same publishing house that has been renewed in successive editions, and (3) students completed a final reflection question on the criteria for selecting a textbook in their future teaching practice. We grouped the categories of analysis built from the students' evocations in four dimensions: intrinsic (about the aspects of the manual genre); disciplinary (about the disciplinary content presented in the manual); functional (related to «for which reason» is proposed the use of the manual), and methodological (associated with «how» is proposed to use the manual). The identified social representations focused predominantly on the conceptual aspects of the disciplinary dimension, excluding those related to the nature of science. Furthermore, elements of the functional dimension were not included in the social representations. These results were reinforced by the answers given in the questionnaire in which the conceptual aspects predominated over the other dimensions. In the development of the proposal to bring the students closer to the prologues, we detected little use of the textbook, prioritizing the traditional sections, and neglecting the contributions of educational research that have led the authors of the books to incorporate other sections and elements such as applications to the real world and other disciplines, strategies for solving problems, use of new technologies, tools for monitoring learning, among others. In relation to the final reflection question, we noticed a marked influence of social representations and a certain difficulty in applying the learning theories studied in the elaboration of criteria for selecting a textbook. We consider that it would be necessary to propose the social representations as an object of reflection to favor the use of the textbook in teacher training





# El aprendizaje de la reacción química: el uso de modelos en el laboratorio

## Learning of chemical reaction: the use of models in chemistry laboratory

Flor Reyes-Cárdenas, Brenda Ruiz-Herrera, Mercedes Llano-Lomas, Patricia Lechuga-Uribe, Margarita Mena-Zepeda  
*Departamento de Química Inorgánica y Nuclear, Facultad de Química, UNAM. CDMX, México.*  
fmreyes@unam.mx, ruizherrera@quimica.unam.mx, llano@unam.mx, palu@quimica.unam.mx, margaritamena@quimica.unam.mx

**RESUMEN** • El objetivo de este trabajo de investigación es documentar, caracterizar y analizar los modelos desarrollados por los estudiantes del primer año de licenciatura, al implementar el protocolo experimental «Reacción Química». Este estudio cualitativo muestra que, con la guía adecuada, los estudiantes son capaces de generar modelos de los conceptos implicados en los tres niveles de representación: simbólico, microscópico y macroscópico. Los resultados muestran que el uso de modelos pone en evidencia el nivel de comprensión sobre los conceptos involucrados en el trabajo experimental. Recomendamos la incorporación progresiva de modelos principalmente porque, en la licenciatura, los estudiantes deben integrar un gran número de conceptos y transitar simultáneamente entre los tres niveles de representación.

**PALABRAS CLAVE:** Enseñanza experimental; Modelos; Reacción química; Niveles de representación en química.

**ABSTRACT** • The aim of this research is to characterize and analyze the models developed by freshmen students, upon implementation of the experimental design «Chemical Reaction». This qualitative study shows that, with appropriate guidance, students are capable of generating models of the implied concepts in the three levels of representation: symbolic, microscopic, and macroscopic. The results show that the use of models show the level of comprehension regarding the concepts involved in the experimental work. We recommend the progressive incorporation of models because undergraduate students must consolidate a large number of concepts and transit simultaneously in between the three representational levels in chemistry.

**KEYWORDS:** Experimental learning; Models; Chemical reaction; Levels of chemical representation.

Recepción: febrero 2020 • Aceptación: septiembre 2020 • Publicación: junio 2021

## INTRODUCCIÓN

En la literatura se evidencia que la comprensión de las ciencias, y en particular de la química, es difícil para los estudiantes de los niveles básicos, debido a diversos factores, como la enorme abstracción de los contenidos (Johnstone, 2006), la persistencia de las concepciones alternativas que los alumnos poseen al llegar al aula, y que permanecen aun después de la instrucción escolarizada (Driver, 1988), y el aprendizaje enciclopédico acumulativo y no reflexivo que la mayoría de los profesores poseen (Flores et al., 2007).

Galagovsky (2005) ha documentado que, a pesar de los esfuerzos de la comunidad docente por mejorar la enseñanza de la química, es todavía un hecho que los estudiantes no logran apropiarse, del todo, del conocimiento que se intenta construir en las aulas y en los laboratorios. A lo largo de nuestra experiencia como profesores de nivel universitario, hemos detectado algunos problemas en el aprendizaje y la apropiación de contenidos que se pueden atribuir a diferentes factores, entre ellos: los problemas para establecer el nivel adecuado de los cursos, dadas las diferencias en la formación de estudiantes y profesores; los docentes interesados en mejorar sus métodos de enseñanza encuentran que las herramientas accesibles no suelen ser atractivas, o bien representan un reto que no desean enfrentar; y, por último, el currículo de ciencias no está atendiendo las necesidades, intereses y aspiraciones de los estudiantes.

Esta problemática se ha reportado en contextos educativos a nivel mundial. Para atender este problema, en el año 1992, dentro del Plan de Desarrollo de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (FQ-UNAM), se consideró prioritaria la revisión de la enseñanza experimental, lo que llevó al establecimiento del Programa de Reforma de la Enseñanza Experimental (PREE), que culminó con la publicación de un documento en el que se plantearon los fundamentos para la elaboración y el desarrollo de los protocolos de trabajo para los laboratorios de Química (Hernández-Luna y Llano, 1994).

El planteamiento institucional de la necesidad de un cambio radical en la concepción de la enseñanza experimental, planteado en el documento del PREE, hizo necesaria la realización de un análisis histórico para recuperar la evolución de esta actividad, a fin de lograr realmente un mejoramiento y no un retroceso o un mero cambio cosmético. Este análisis se restringió al primer año de estudios, que es la base del tronco común de las licenciaturas impartidas en la FQ-UNAM y en el que se consideró que repercutirían con mayor impacto los cambios que se realizaran. Una limitante que se encontró fue la falta de información escrita sobre programas y protocolos de enseñanza experimental, ya que en la mayor parte de la documentación oficial no se incluyen los programas de los laboratorios.

De acuerdo con la propuesta del PREE, los protocolos debían diseñarse de tal manera que acercaran al alumno al conocimiento, para permitir que por él mismo descubriera el concepto en estudio. La intención era acercar a los estudiantes a los fenómenos, sin que ellos hicieran una investigación previa y sin que el profesor explicara la práctica o mencionara los resultados que se iban a obtener. «El aprendizaje por descubrimiento, con énfasis en la participación activa de los alumnos y en el aprendizaje y aplicación de los procesos de la ciencia, se postulaba como una alternativa a los métodos pasivos basados en la memorización y en la rutina» (Campanario, 2002). Esta propuesta está fundamentada en la teoría de Piaget y desde los años ochenta ha permeado una buena parte de la enseñanza de las ciencias (Gil, 1983). Si bien años después de su introducción el aprendizaje por descubrimiento mostró que tenía algunas fallas y que debía evolucionar hacia una mejor propuesta educativa, que incorporara de forma más exitosa la construcción del conocimiento, así como la discusión de datos y resultados contrastados con el conocimiento científico, el cambio en la didáctica permitió que se rompiera la presión ejercida en los laboratorios con respecto al avance programático de una gran cantidad de prácticas en un tiempo establecido. Entre otras cosas, otorgó cierta autonomía y responsabilidad a los estudiantes,

ya que ellos podían repetir el experimento hasta considerar que sus datos fueran lógicos, lo cual podría llevar a un error conceptual sin una guía adecuada del profesor.

A partir del año 2015 se ha trabajado con una nueva propuesta de enseñanza experimental que surge de recuperar los años de experiencia, aprendizaje y logros de diferentes profesores, investigadores y grupos colegiados de la FQ-UNAM. El manual *Desarrollo de habilidades de pensamiento en el Laboratorio de Química General* (Reyes et al., 2019) recupera los conceptos seleccionados por el PREE, pero modifica la forma de trabajo de profesores y estudiantes, a fin de alcanzar los siguientes objetivos de aprendizaje: la construcción conceptual, el desarrollo de destrezas necesarias en el laboratorio y el desarrollo de habilidades de pensamiento. Lo anterior se logra responsabilizando al alumno de su aprendizaje, ya que es él quien diseña sus procedimientos experimentales, genera modelos y los reconstruye, a la vez que desarrolla su capacidad de argumentación a través de la comunicación y justificación de las explicaciones propuestas.

Un problema que identificamos en el aprendizaje de la química se relaciona con la dificultad de construcción de conocimiento por los estudiantes, ya que para poder comprender y experimentar con un fenómeno químico se deben construir, de forma simultánea, modelos en tres niveles de representación distintos y adicionalmente se debe realizar de forma segura y adecuada la parte experimental. Usualmente los estudiantes solo abordan los fenómenos en una aproximación macroscópica y les es difícil imaginar los átomos y las moléculas; por lo tanto, tampoco generan explicaciones utilizando estos conceptos. Además, el trabajo experimental puede representar por sí mismo un reto importante para el estudiante, por lo que se debe construir de la mano de la teoría y con la correcta guía del docente, para así potenciar mejores explicaciones por parte de los estudiantes.

El objetivo de este trabajo de investigación es documentar, caracterizar y analizar los modelos desarrollados por los estudiantes al implementar el protocolo experimental «Reacción Química».

## MARCO TEÓRICO

De acuerdo con Izquierdo et al. (1999), existe una gran dificultad para enseñar ciencias; de manera adicional, se debe considerar que los cambios que se están produciendo en las estrategias de enseñanza de las ciencias tienen como meta esencial que los estudiantes construyan su propio conocimiento, que sean capaces de darse cuenta de sus errores y autorregularse. Para ello se hace necesario que los profesores realicen una fase indagatoria preliminar que ponga en evidencia el conocimiento previo de los alumnos, al igual que incluye las concepciones alternativas (Ordenes et al., 2014).

La situación mencionada ha provocado una profunda preocupación que ha dado lugar a diversos intentos por renovar la enseñanza de las ciencias. Una tarea de los profesores de ciencias es diseñar en sus planeaciones una instrucción que ayude a los alumnos a cambiar sus interpretaciones del mundo por otras más sofisticadas y cercanas a las de los científicos (Duschl, 1997). La educación en ciencias debe promover que los estudiantes aprendan a pensar sobre ciencias dentro y fuera del aula, comprendan sus métodos, sus finalidades y su utilidad en la vida diaria (Moreno-Arcuri et al., 2013).

De acuerdo con Hofstein et al. (2007), realizar actividades en el laboratorio es una forma de aprender comprendiendo lo que se hace, lo cual da lugar a un proceso de construcción del conocimiento al hacer ciencia: para estos autores los estudiantes en el laboratorio llevan a cabo procesos científicos.

### La enseñanza de la química

Según Gillespie (1997), las grandes ideas de la química son: átomos, moléculas e iones; enlace químico; fórmula y geometría molecular; teoría cinética; reacción química; energía y entropía. De ellos, Gillespie considera «la reacción química» como la idea más importante de todas, pues con ella se

pueden explicar los fenómenos químicos. Su comprensión permite organizar las transformaciones de la materia en una forma específica, así como entender qué sustancias se convierten en otras. El concepto de *reacción química*, considerado como un «proceso que resulta de la interconversión de especies químicas» (IUPAC, 2006), es fundamental para los docentes de la química y está incluido en todos los planes de estudio de la asignatura. De acuerdo con Caamaño et al. (2004), la comprensión de la reacción química es un aspecto esencial de la estructura conceptual de la química.

No obstante, Barker (2000) expresa que, en la enseñanza habitual del tema, los estudiantes mantienen concepciones alternativas sobre la reacción química que no son tratadas con eficacia. Además, se observa que la mayoría de los textos y de los docentes dedican escaso espacio y tiempo a la explicación de aspectos conceptuales. Según Casado y Raviolo (2005), «un gran número de alumnos reconoce como falsa la afirmación que durante un cambio químico las moléculas permanecen sin cambiar [suponiendo sustancias moleculares], sin embargo, muchos alumnos tienen dificultad para explicar cómo cambian». A este respecto, que los alumnos puedan identificar un cambio químico sugiere que posiblemente entienden este concepto como aquel en el que ocurren transformaciones de sustancia(s), pero mantienen dificultad para reconocer qué es una sustancia y para entender si esta se transforma o no.

### Modelos en la enseñanza de las ciencias

En la enseñanza de las ciencias el proceso de creación de modelos consiste en elaborar una representación del fenómeno en estudio (García y Sanmartí, 2006), para ajustarlo a la aparición de nuevos datos que puedan surgir durante la investigación, mediante el planteamiento de hipótesis teóricas. Esta perspectiva (Justi, 2006) implica la comprensión coherente, flexible, sistemática y crítica de las ciencias, que tiene como finalidad que los alumnos construyan modelos para: «aprender ciencia y tecnología, aprender sobre ciencia y tecnología, hacer ciencia y tecnología, e implicarse en acciones sociopolíticas que les permitan desarrollar formas de pensar y aprender, semejantes a las de los científicos».

Espinet (2014) menciona que, si bien hay debates sobre el significado y alcance del término *modelo*, todos los miembros de la comunidad científica están de acuerdo en que los modelos son «sustitutos» de sistemas reales en estudio y que son «representaciones» de estos, en las que solo se resaltan algunos aspectos esenciales. «El modelo aún es más necesario cuando se da la imposibilidad de ver directamente el objetivo de estudio» (Tuzón y Solbes, 2017).

En las ciencias naturales los modelos se consideran una interpretación de un fenómeno natural y usualmente son representaciones concretas y simplificadas de sistemas complejos, como los que se encuentran en la naturaleza; por esta razón, los modelos se consideran facilitadores para entender el mundo real, lo cual es congruente con lo establecido por Giere (1999).

En este trabajo consideraremos que un modelo es un esquema teórico apoyado en representaciones gráficas o explicaciones asociadas al fenómeno de un sistema o de una realidad compleja, que únicamente captura de manera simplificada algunos elementos centrales y que pasa por alto los detalles a fin de permitir un acercamiento más sencillo al entendimiento y la manipulación de lo que se está modelizando: el modelo se elabora para facilitar la comprensión del sistema y el estudio de su comportamiento (Adúriz-Bravo e Izquierdo-Aymerich, 2009).

La ciencia escolar ha de utilizar sus propios modelos teóricos, sus propias aplicaciones y sus propios hechos ejemplares (Izquierdo-Aymerich y Adúriz-Bravo, 2003). El modelo moviliza los saberes y permite desarrollar habilidades tales como pensar, describir, predecir y actuar (Solsona e Izquierdo, 2003). Por lo tanto, los estudiantes «desarrollan habilidades cognitivas (analizar, comparar, deducir y formular hipótesis); potencian habilidades cognitivo-lingüísticas (describir, argumentar, demostrar e informar) y construyen conocimiento científico (conceptos, modelos, teorías y métodos)» (Sardá y Sanmartí, 2000).

La investigación ha mostrado que cuando los estudiantes generan o utilizan modelos se logra una mayor capacidad de retención a largo plazo, una motivación intrínseca, un nivel superior de razonamiento y pensamiento crítico, con lo cual los alumnos se involucran agradablemente en la ciencia (Chamizo et al., 2006). La construcción de un modelo también está fuertemente ligada al vocabulario utilizado, lo cual permite expresar ideas y emplear el discurso apropiado para comunicarlas (García y Márquez, 2006).

La construcción de modelos es un puente entre las concepciones alternativas de los estudiantes y el conocimiento científico. La construcción de modelos explicativos (Oliva, 2019) por parte de los alumnos pone en evidencia sus concepciones alternativas, a la vez que los obliga a hacer uso de su conocimiento previo. Considerar este punto de partida para una primera construcción de modelo explicativo es indispensable para la incorporación de nuevos elementos que les permitan cuestionar su primer modelo y generar modificaciones de este, que se acerquen más a una construcción científica, por lo que la guía individualizada y grupal dentro de las actividades planeadas es muy relevante.

Cuando los estudiantes aprenden a explicar fenómenos en términos de conceptos teóricos, se encuentran con el reto de elaborar modelos en los niveles de representación macroscópico y microscópico asociados a estos fenómenos, lo cual claramente repercute en una apropiación del lenguaje de las ciencias y específicamente del lenguaje químico (García y Sanmartí, 2006).

Oliva (2019) considera la modelización como progresión de modelos. De acuerdo con ello, el proceso de modelización implica que, después de definir un problema y un propósito que justifiquen la necesidad de un modelo, se elijan signos, códigos y un lenguaje de representación que explique el fenómeno u objeto; y que el modelo se construya y exprese con distintos lenguajes posibles: verbal, visual, simbólico, analógico, matemático, digital.

Dentro de la enseñanza de las ciencias se requiere que los alumnos utilicen el modelo creado y practiquen con él. Algunos experimentos han de ser diseñados por los alumnos para probar el alcance de sus modelos explicativos y dar respuesta a nuevas preguntas que ellos mismos formulen. Los modelos generados por los estudiantes no tienen que ser los mismos que los de la ciencia experta, pero sí deben ser coherentes con ella (López-Mota y Rodríguez-Pineda, 2013).

Es importante socializar los modelos construidos para enfatizar los aspectos específicos de cada modelo y así mejorarlos (Gómez, 2009), por lo que es necesario que los profesores motiven a los alumnos a expresar sus ideas, lo que favorece la comunicación, la construcción y la reconstrucción de sus modelos.

Adúriz-Bravo (2018) menciona que se concibe la modelización como una de las actividades más importantes de la empresa científica, y por tanto sugiere colocarla en un lugar central en la enseñanza de las ciencias. Así, la modelización científica escolar se constituye en una estrategia didáctica extremadamente potente: habilita a los estudiantes a que piensen sobre hechos clave y reconstruidos teóricamente, con el fin de dar sentido a los fenómenos del mundo que la ciencia intenta explicar.

### **Niveles de representación de la química: una integración entre los modelos y la reacción química**

Las teorías científicas dan sentido al mundo sobre el que se aplican, contienen los hechos interpretados por ellas y constituyen un «saber cómo». Puesto que no hay una relación tan directa entre lo que se dice y los fenómenos, los modelos representan la relación entre las teorías científicas y los hechos, aunque no se correspondan «exactamente» con la realidad (Justi, 2006). «Como una vía de caracterización Johnstone propuso en 1982, para las ciencias naturales en general y para la química en particular, tres niveles para explicitar las representaciones de los estudiantes: macroscópico, submicroscópico y simbólico» (Ordenes et al., 2014).

Johnstone y Talanquer, entre otros autores, consideran que en química existen tres ámbitos diferentes de representación que pueden visualizarse como los vértices de un triángulo; ninguno es superior a otro, pero cada uno es complemento de los otros. En estos vértices se representa: *a*) lo macroscópico y tangible, es decir, lo que se puede ver y tocar; *b*) lo submicroscópico (también llamado microscópico) correspondiente a átomos, moléculas, iones y estructuras; y *c*) lo representacional, que incluye símbolos, fórmulas, tratamiento matemático y gráfico (Johnstone, 2006; Talanquer, 2011; Rodríguez y Pérez, 2016).

Es común que, en la enseñanza experimental, los alumnos centren su atención en aspectos limitados del fenómeno, es decir, en las características manifiestamente cambiantes (nivel de representación macroscópico), que son las que ellos consideran sobresalientes (Driver, 1988), y que excluyan aspectos del nivel de representación microscópico (Stavridou y Solomonidou, 1989). Así, cuando se analiza con los alumnos una reacción de combustión, les resulta difícil comprender que uno de los productos de dicha reacción es agua; esto puede ser porque el vapor de agua no es tan evidente a la vista, o porque en su experiencia han observado que el agua apaga al fuego.

Específicamente Galagovsky (2005) hace referencia a procesos cognitivos relacionados con los tres vértices: *a*) las representaciones mentales adquiridas a partir de la experiencia sensorial directa; *b*) las representaciones abstractas; y *c*) las formas de expresar conceptos químicos mediante fórmulas, ecuaciones químicas, gráficos, etc.

Según Rodríguez y Pérez (2016) las reacciones químicas, a nivel macroscópico, se consideran como un proceso mediante el cual algunas sustancias desaparecen y aparecen otras nuevas; en el nivel microscópico, como un proceso en el que las partículas se reordenan; mientras que, a nivel simbólico, la descripción del proceso se representa a través de ecuaciones químicas. Este autor considera que el alumnado, al final de la educación secundaria, debería ser capaz de articular los tres niveles de representación.

Talanquer (2011) hace énfasis en que es relevante utilizar los tres niveles de representación en la enseñanza de la química y que no hay un consenso sobre las definiciones de cada nivel de representación, lo que ocasiona una diversidad de interpretaciones. De acuerdo con Amalia et al. (2018), para el aprendizaje de la química, el entendimiento de los niveles macroscópico y simbólico se da directamente al provenir de observaciones directas y símbolos que los estudiantes pueden relacionar, mientras que el nivel microscópico solo se puede alcanzar si los alumnos consiguen reflejarlo en sus modelos mentales, ya que este nivel no es observable a simple vista. Estos tres niveles de representación están interconectados para lograr el aprendizaje.

Considerando lo anterior, Vallejo (2017) realizó una investigación que se centra en una intervención didáctica para la asignatura teórica de química en el nivel de bachillerato, en la que analiza las diferentes maneras en las que los estudiantes comprenden, describen y representan la reacción química. En sus resultados resaltan la incapacidad de los estudiantes para relacionar los niveles de representación de la química y las dificultades en su lenguaje, debido a factores como la poca consciencia del mundo microscópico, la baja o deficiente comprensión de los modelos propios de la química, que se tornan abstractos y complejos, la alta abstracción que presenta su simbología y el dominio básico de la terminología propia del área.

## METODOLOGÍA

Se desarrolló el protocolo experimental «Reacción Química» (Reyes et al., 2019) para ser utilizado con estudiantes del Laboratorio de Química General (LQG), asignatura de primer semestre que forma parte del tronco común de las licenciaturas impartidas en la FQ-UNAM. El grupo de investigación responsable del diseño, elaboración e implementación del protocolo experimental ha colaborado por cinco años en el diseño de materiales educativos.

## Características de la muestra

Durante el periodo de agosto a noviembre de 2018, se evaluaron 13 de un total de 80 grupos de LQG, correspondiente al 14,9 % (213 estudiantes) de la matrícula total de nuevo ingreso a la FQ-UNAM (1430 alumnos), de los cuales el 55 % eran mujeres y el 45 % hombres; las edades de los estudiantes oscilaban entre 18 y 20 años. Cada grupo estaba dividido en equipos de trabajo de 4 a 5 estudiantes, conformados de manera voluntaria, por lo que se tuvieron equipos integrados solo por hombres o solo por mujeres, mientras que la mayoría fueron equipos mixtos. Este trabajo se enfoca en el análisis de los modelos generados por cada equipo. Los profesores titulares de estos grupos imparten asignaturas del primer año de licenciatura y participaron de manera voluntaria en este estudio.

## Descripción de protocolo experimental

El protocolo está integrado por seis actividades; para la evaluación de cada una se diseñaron documentos denominados entregables. En la tabla 1 se presentan los títulos de cada actividad, los objetivos de aprendizaje esperados y la información solicitada a los estudiantes en los entregables.

En las actividades 2 y 4 se solicitó a los estudiantes la elaboración de modelos (M1 y M2) correspondientes a las reacciones químicas propuestas; adicionalmente, para ambas actividades se les pidió que respondieran por escrito a la pregunta «¿Qué explica tu modelo?». Este trabajo se enfoca en el análisis de los modelos elaborados, M1 y M2.

Tabla 1.

Objetivos por actividad y contenido de los documentos de evaluación denominados entregables

<i>Actividad (clave de identificación)</i>	<i>Título</i>	<i>Objetivo de aprendizaje esperado</i>	<i>Análisis solicitado a los estudiantes en los entregables</i>
A1	¿Cómo saber que se llevó a cabo una reacción química?	Identificar reacciones químicas y diferenciarlas de fenómenos físicos.	– Descripción de los fenómenos seleccionados y explicación sobre la base de argumentos químicos para catalogarlos como cambio físico o como cambio químico.
A2 - M1	¿Es posible diseñar un modelo que represente una reacción química?	Modelar y clasificar.	– Descripción de la reacción o reacciones realizadas. – Desarrollar un modelo (M1) en 3 niveles de representación de la química que explique las reacciones realizadas. – Responder: ¿Qué explica este modelo?
A3	¿Las reacciones químicas ocurren cuando los reactivos están en cualquier estado de agregación?	Comprender que una reacción química se puede llevar a cabo en diferentes estados de agregación.	– Contestar cuestionario en formato POE (predecir, observar, explicar).
A4 - M2	¿Se pueden predecir reacciones conociendo los reactivos?	Predecir, proponer y llevar a cabo reacciones químicas. Explicar a través de un modelo.	– Descripción de la reacción o reacciones realizadas y las condiciones experimentales para llevarlas a cabo. – Modificación del modelo propuesto M1 para la generación de un nuevo modelo M2 que explique las reacciones realizadas.

<i>Actividad (clave de identificación)</i>	<i>Título</i>	<i>Objetivo de aprendizaje esperado</i>	<i>Análisis solicitado a los estudiantes en los entregables</i>
A5	¿Cuáles son los criterios que se utilizan para clasificar las reacciones químicas?	Proponer y clasificar.	– Propuesta de reacción(es) química(s) sobre la base de criterios específicos de clasificación.
A6	Aplicación a fenómenos cotidianos.	Aplicar los conocimientos para explicar por medio de reacciones químicas fenómenos cotidianos.	– Planteamiento de reacciones químicas que expliquen los casos descritos. – Análisis de la siguiente pregunta: ¿En qué medida utilizarías el modelo o los modelos planteados para explicar los fenómenos de la vida cotidiana?

### Instrumentos de recopilación y sistematización de información

La información fue recopilada mediante los entregables, los cuales fueron evaluados por el profesor titular de cada grupo y posteriormente por un segundo profesor, ambos coautores de este artículo.

A cada entregable se le asignó un código de identificación para sistematizar la información, por ejemplo, «M1/G13/equipo1» se refiere al modelo analizado (M1), grupo (G13) y equipo de trabajo (equipo 1). De manera colegiada se establecieron los criterios de evaluación para los modelos elaborados por los estudiantes y quedaron establecidos los siguientes indicadores:

- Cero: no hay modelo.
- Uno: se presenta un modelo que no corresponde a una representación adecuada del fenómeno.
- Dos: el modelo no logra describir el fenómeno por completo.
- Tres: el modelo representa adecuadamente el fenómeno.
- Cuatro: el modelo representa adecuadamente el fenómeno y presenta características especiales, por ejemplo, incluir reacciones adicionales de comprobación de productos (o diferenciación entre reactivos y productos); o presenta una relación explícita entre los diferentes niveles de representación.

Para el indicador tres, en el que establece que el modelo representa adecuadamente el fenómeno, se acordó que cada nivel de representación de la química debía cumplir con lo siguiente:

- En el macroscópico debía presentar dibujos de los materiales utilizados, incluir colores de las sustancias y representar los hechos de manera secuencial.
- En el microscópico debía presentar adecuadamente átomos, moléculas o iones por medio de figuras geométricas distintas y utilizar un código de color.
- En el simbólico debía presentar la reacción por medio de una ecuación química completa y balanceada.

A modo de ejemplo, se presenta en la figura 1 el entregable de un equipo que cumple con los criterios antes mencionados:

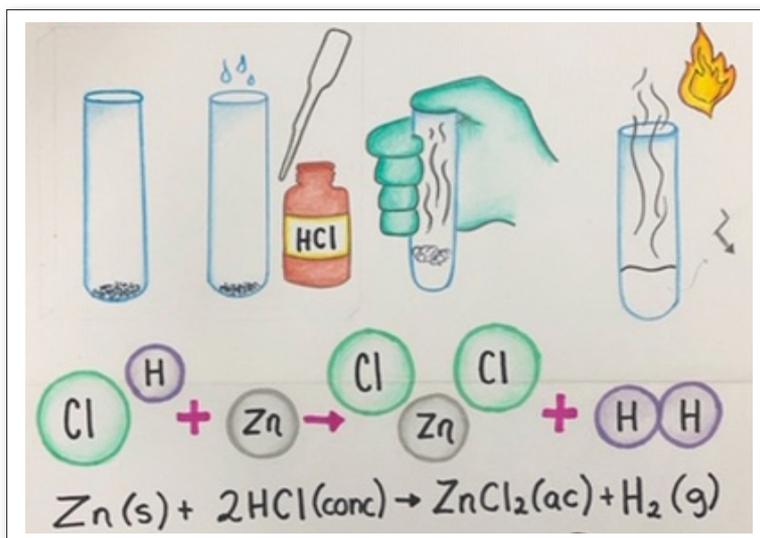


Fig. 1. Modelo M1 con representaciones en orden descendente: nivel macroscópico, microscópico y simbólico (elaborado por el equipo 7, grupo 44).

## DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez concentrada la información de los entregables, los modelos fueron analizados desde dos ejes: las explicaciones escritas y los niveles de representación.

### Las explicaciones escritas de cada modelo

En la primera etapa del análisis se identificó si se encontraba algún texto asociado al modelo pictográfico, o si solo se hacía una descripción en texto de la reacción química. Nos referiremos a los textos asociados a un modelo pictográfico como MTp, mientras que aludiremos a las descripciones en texto asociadas a la reacción química, pero que no son congruentes con el modelo pictográfico, como MTrq. Para nosotros, tanto los textos como las representaciones pictográficas pueden ser consideradas modelos, de manera que todos los productos generados por los alumnos son modelos.

Dentro de la categoría «MTp», que corresponde a textos que aluden al modelo pictográfico elaborado por los estudiantes, se encontraron las siguientes subcategorías:

- Explicación del modelo pictográfico. Se refiere a textos en los que los alumnos describen su modelo, por ejemplo:
 

«En los modelos se muestra[n] los compuestos involucrados a lo largo del experimento, y cómo se lleva a cabo una reacción de descomposición, en este caso tenemos un compuesto formado por tres elementos al que aplicamos energía dando como resultado la ruptura de su enlace y como consecuencia la formación de dos nuevos productos. Además, muestran cómo se comprobaron los productos obtenidos con base en el pH de los compuestos» (M1-G7-equip013).
- Uso del modelo pictográfico. Se refiere a textos en los que los alumnos expresan la utilidad del modelo, por ejemplo:

«El modelo presentado en sus 3 niveles busca explicar en su totalidad la reacción, el por qué y cómo ocurre la reacción, y también busca ser usado como guía, es decir, si alguien que desconoce la reacción, pero la realizara, puede guiarse con las características que el modelo brinda para llevarla a cabo de modo correcto» (M3-G73-equip12).

Dentro de la categoría «MTrq», que se refiere a modelos en texto que hacen una descripción de lo que ocurre en la reacción química, sin estar relacionados con el modelo pictográfico, se encontraron las siguientes subcategorías:

- a) Explicación de la reacción química. Modelo en texto referido a la descripción e interpretación sobre la reacción química:  
«Nivel microscópico: Al interactuar las moléculas del carbonato de cobre (II) con el calor, las partículas se moverán mucho y se separarán resultando un sólido de cobre con oxígeno y un gas de  $\text{CO}_2$ ...» (M1-G73-equip9).
- b) Observaciones de la reacción química. Modelo en texto en el que los estudiantes únicamente describen el procedimiento experimental y la información que recaban, por ejemplo:  
«En un vidrio de reloj se coloca una gota de agua, en los extremos de dicha gota se agrega  $\text{NiSO}_4(\text{ac})$  y  $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2(\text{l})$ ; al reaccionar se produce  $[\text{Ni}(\text{C}_2\text{H}_8\text{N}_2)_3]\text{SO}_4(\text{s})$ . Los cambios que se observan son diferentes tonalidades: (rosa, morado, azul), posteriormente se forma un precipitado color rosa claro, no hay cambios en la temperatura. Cada que se junta una etilendiamina se produce un color, debido a eso son tres colores los que aparecen en el producto. Podemos clasificar la reacción Analítica: Complejación [formación de complejos]. Origen de los reactivos: Síntesis» (M2-G13-equip4).
- c) Explicación y observaciones de la reacción química. Modelo en texto donde integran las dos subcategorías anteriores, por ejemplo:  
«El ácido clorhídrico y el hidróxido de sodio están en disolución acuosa por lo tanto sus iones se separan y al mezclar el HCl y el NaOH los iones  $\text{H}^+$  del ácido se van a unir con los  $\text{OH}^-$  de hidróxido para formar agua. Por otro lado. Los iones  $\text{Na}^+$  se unirán con los  $\text{Cl}^-$  para formar cloruro de sodio, lo que nos da una reacción de doble sustitución. A nivel macro le colocamos indicador a ambas sustancias para verificar que teníamos una base y un ácido, el HCl se tiñó de rojo y el NaOH del azul, al mezclarlos el producto (NaCl) se tornó verde claro, teníamos una sustancia neutra. Nuestro modelo simbólico explica que, al reaccionar HCl y NaOH, ambos en disolución acuosa, forman NaCl, que es una sal neutra y agua» (M2-G44-equip7).

Finalmente, se puede plantear una tercera categoría, denominada «No aplica» ( $\text{N}_A$ ), que agrupa textos que no se consideran como modelos porque no hacen alusión al fenómeno en estudio.

En la tabla 2 se muestra el porcentaje de casos correspondientes a cada categoría y subcategoría.

Tabla 2.  
Porcentajes asociados a cada subcategoría de modelos de texto

¿Qué explica tu modelo?	
<i>Categoría MTp</i>	%
Explicación del modelo pictográfico	15
Uso del modelo pictográfico	6
<i>Categoría MTrq</i>	
Explicación de la reacción química	39
Observaciones de la reacción química	18
Explicación y observaciones de la reacción química	11
<i>Categoría NA</i>	11

El 21 % de los modelos en texto son congruentes con su modelo pictográfico, ya sea con su explicación o con su uso.

El 68 % de los modelos en texto se refiere a explicaciones y observaciones de la reacción química llevada a cabo por los estudiantes, pero que no corresponden con los modelos pictográficos generados. A su vez, el 11 % de los textos presentados corresponde a la categoría  $N_A$ . Por lo tanto, se puede decir que una gran proporción (cerca del 80 %) de los estudiantes presenta dificultades para relacionar sus explicaciones escritas con los modelos pictográficos elaborados.

### Los niveles de representación

A los estudiantes se les pidió un modelo pictográfico para cada nivel de representación: macroscópico, microscópico o simbólico. Sin embargo, se encontraron modelos explicativos (Aragón, et al., 2013; Oliva, 2019) que contenían, de forma simultánea, más de un nivel de representación, por lo que la clasificación macroscópica contempló macroscópica y macroscópica-simbólica. De igual forma, se establecieron microscópica y microscópica-simbólica. La diferencia principal consiste en que cuando se agrega el término *simbólico* se incluyen representaciones con indicadores de texto que se refieren a las sustancias, por ejemplo, la fórmula química o el estado de agregación.

En las figuras 2 y 3 se ejemplifica la diferencia entre la representación macroscópica y la macroscópica-simbólica.



Fig. 2. Modelo M1 macroscópico. Se hace énfasis en el color de las sustancias, y en el caso de los productos, en la presencia de dos fases para generar finalmente una sola fase (elaborado por el equipo 33, grupo 57).

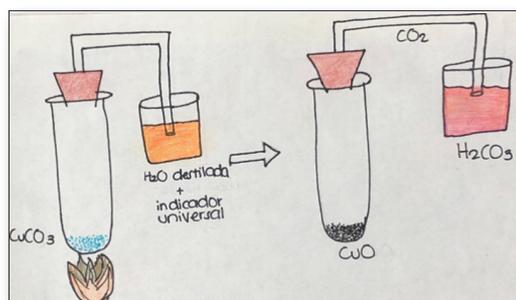


Fig. 3. Modelo M1 macroscópico-simbólico. Se indica la identidad de cada sustancia (elaborado por el equipo 32, grupo 57).

En las figuras 4 y 5 se ejemplifica la diferencia entre la representación microscópica y la microscópica-simbólica.

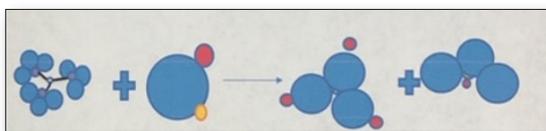


Fig. 4. Modelo microscópico que corresponde a la reacción:  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3(\text{ac}) + \text{NaOH}(\text{ac}) \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3(\text{s}) + \text{NaNO}_3(\text{ac})$ . El modelo sí incluye figuras, pero no existe un código de identificación para cada elemento, por lo que la reacción representada no queda clara (elaborado por el equipo 49, grupo 45).

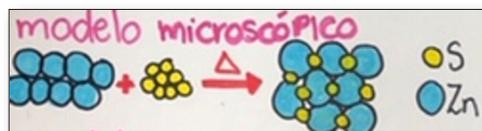


Fig. 5. Modelo M2 microscópico-simbólico que muestra el código de identificación de cada elemento y la reacción implicada:  $\text{Zn}(\text{s}) + \text{S}_8(\text{s}) \rightarrow \text{ZnS}(\text{s})$  (elaborado por el equipo 15, grupo 7).

Adicionalmente, se encontró que los estudiantes representan las sustancias de diferente manera: forma molecular, iónica, atómica; estructura reticular o átomos individuales. Y que pueden hacer o no referencia al estado de agregación. Esto permite identificar el nivel de comprensión que tiene el alumno sobre los conceptos químicos.

Amalia et al. (2018) plantean que una de las dificultades de los alumnos para comprender la reacción química consiste en relacionar los diferentes niveles de representación. Analizando los modelos elaborados por los equipos encontramos algunos casos en los que esto se pone en evidencia, siendo el factor coincidente que los alumnos intentan integrar en un solo modelo los tres niveles de representación. En la figura 6 se muestra un ejemplo de un entregable con los niveles de representación mezclados, el cual pone en evidencia errores conceptuales de los alumnos, como son: los productos se encuentran en recipientes separados y todas las sustancias se encuentran disociadas, incluida el agua, lo que implica que no tienen un criterio sobre cuándo y cómo se disocian las sustancias.

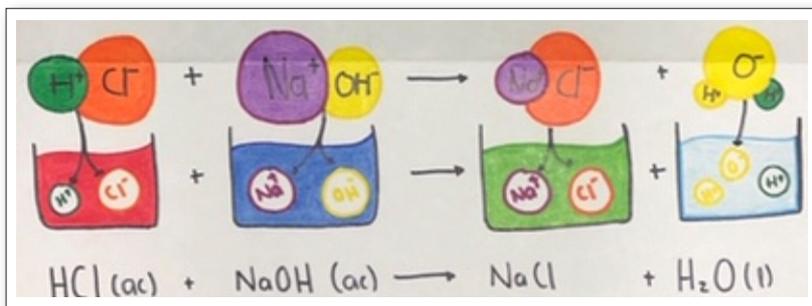


Fig. 6. Modelo M2, que engloba los niveles de representación macroscópico, microscópico y simbólico (elaborado por el equipo 7, grupo 44).

En congruencia con lo que reportan Aragón et al. (2013), inicialmente la mayoría de los estudiantes usan un modelo a nivel macroscópico, que parece ser el más intuitivo, aunque en ocasiones lo emplean de forma inadecuada, mostrando concepciones alternativas. Muy pocos alumnos usan el nivel microscópico, y los que lo hacen se alejan del modelo esperado. La progresión en el nivel macroscópico puede verse favorecida por el avance de los modelos en los otros niveles de representación.

El modelo presentado en la figura 7 fue considerado dentro del indicador 1, debido a que muestra una errónea integración y comprensión de los niveles de representación. Los alumnos utilizan círculos para representar átomos, iones o moléculas indistintamente. Utilizan un rectángulo para el cinc, sin distinguir cuándo este se encuentra como sólido, como catión o como parte de un producto. A su vez, la elección

del rectángulo y su color para el Zn evoca la idea de transferencia de lo observable (macroscópico) a lo microscópico, lo cual está reportado como idea previa por diversos autores, entre ellos Driver (1988).

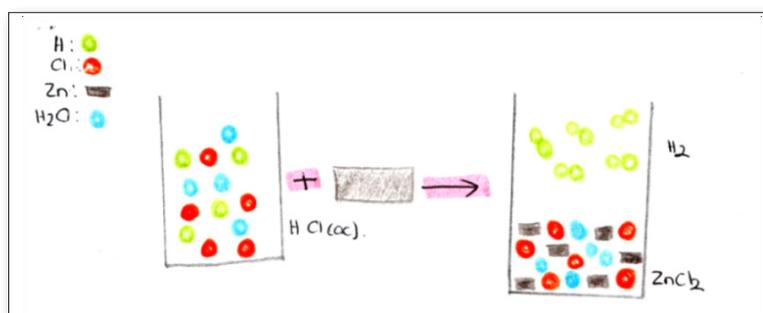


Fig. 7. Modelo M1, mezcla los tres niveles de representación con algunos errores conceptuales (elaborado por el equipo 44, grupo 27).

En la figura 8 se presenta un ejemplo de un modelo considerado dentro del indicador 3, debido a que las representaciones son congruentes con los estados de agregación y la solubilidad de los compuestos, además de que se observa que las sustancias en fase gaseosa son representadas en forma molecular, que las entidades en disolución acuosa se representan de forma iónica y que los elementos que constituyen a los sólidos se representan agrupados. A pesar de que los sólidos no se representan con una estructura reticular, sí se encuentran «sedimentados» o en el fondo del recipiente.

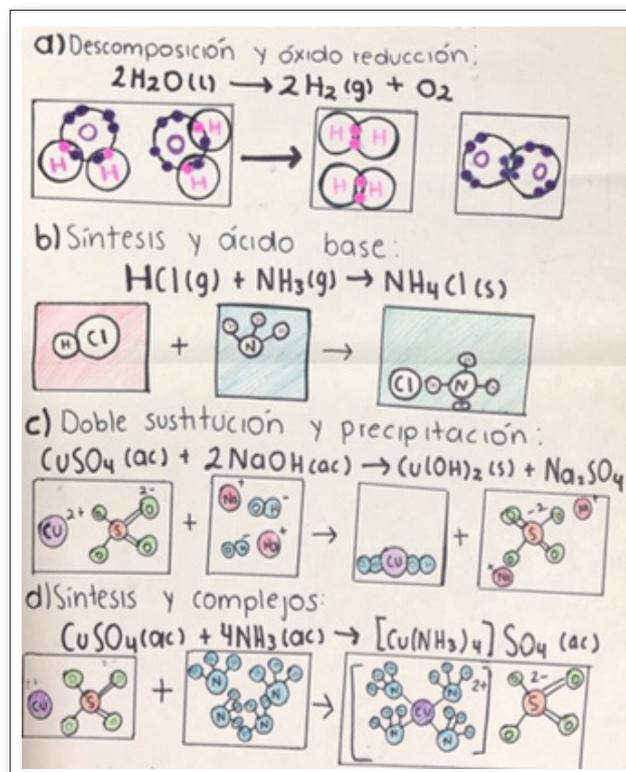


Fig. 8. Modelos considerados en el nivel 3, que aluden a la representación microscópica de las sustancias en diferentes estados de agregación (elaborado por el equipo 3, grupo 73).

Con respecto a la representación simbólica, en la literatura se reporta que los alumnos confunden coeficientes con subíndices (López, 2018), sin embargo, al analizar los modelos elaborados con este protocolo, no se encontró esta confusión. Por el contrario, en la representación microscópica los alumnos representaron un número de moléculas congruente con el coeficiente estequiométrico y el número de átomos que integran la molécula en concordancia con los subíndices, como se ejemplifica en la figura 8.

### Congruencia en la evaluación

De acuerdo con lo establecido en la metodología, cada modelo fue analizado por uno de los investigadores, quien asignó una primera calificación a cada uno de los niveles de representación. Posteriormente, fue analizado por un segundo investigador, quien también asignó una calificación. Finalmente, se analizó la congruencia entre las calificaciones asignadas por ambos investigadores. Los resultados se presentan en la figura 9.

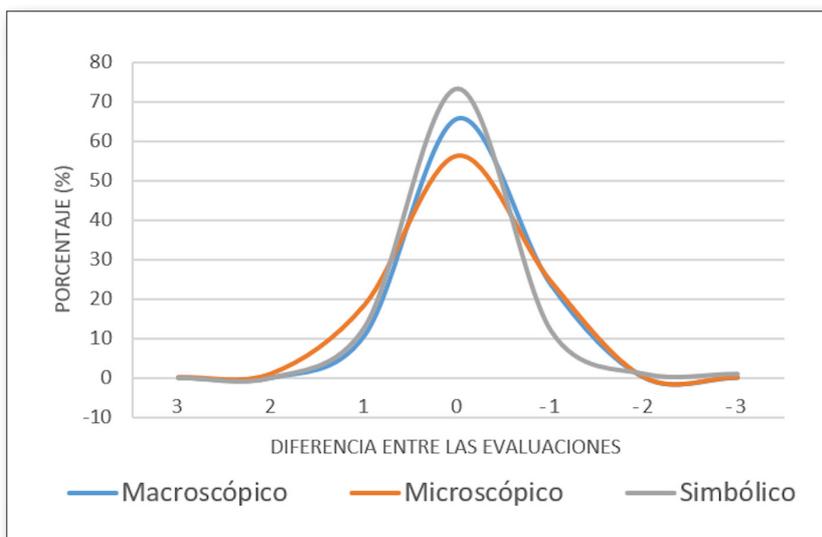


Fig. 9. Comparación de las calificaciones asignadas a los modelos evaluados.

Puesto que la mayoría de las evaluaciones de los dos investigadores reportan el mismo valor para un mismo modelo, es decir hay una diferencia de cero entre las calificaciones asignadas; se puede concluir que existe uniformidad en los criterios de evaluación. Para el nivel macroscópico se observa una congruencia del 66 %, para el nivel microscópico del 56 % y para el nivel simbólico del 73 %.

### Caracterización de los modelos 1 y 2

En las figuras 10 y 11 se muestran los resultados de la evaluación para cada uno de los modelos por separado.

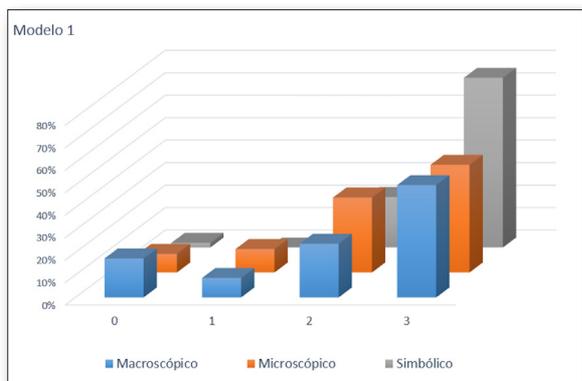


Fig. 10. Porcentajes de calificaciones asignadas a las diferentes representaciones del modelo 1.

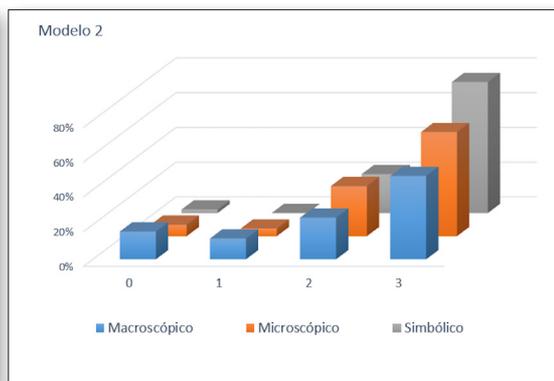


Fig. 11. Porcentajes de calificaciones asignadas a las diferentes representaciones del modelo 2.

Considerando la evaluación entre los modelos M1 y M2 de toda la muestra, se puede apreciar que no hay una diferencia significativa en los niveles de representación macroscópico y simbólico. En cambio, en el nivel microscópico sí hay una diferencia importante entre ambos modelos, ya que en el modelo 2 aumenta la calificación asignada. Se puede concluir que, en general, los estudiantes incorporan elementos microscópicos en sus modelos en congruencia con los modelos teóricos escolares, lo cual es congruente con lo reportado por Amalia et al. (2018), quien dice que el nivel microscópico es el último en ser incorporado y que solo se percibe si se refleja en el modelo.

### Evolución

En este apartado se analiza la evolución de los modelos elaborados por los estudiantes comparando, para un mismo equipo, las calificaciones asignadas al modelo 1 con respecto al modelo 2. Los resultados se presentan en la figura 12; la diferencia entre las calificaciones asignadas está en un intervalo de  $-3$  a  $+3$ , donde una diferencia de tres unidades implica que no se elaboró alguno de los modelos.

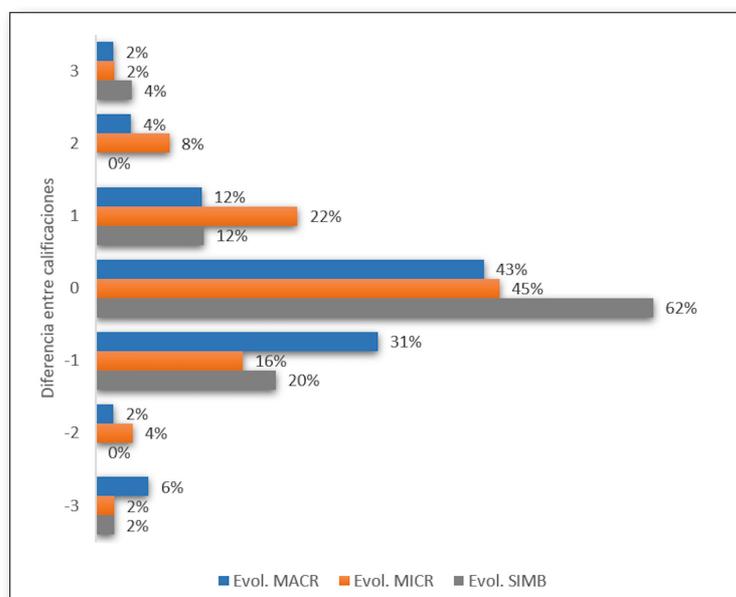


Fig. 12. Diferencias entre los modelos 1 y 2 elaborados por un mismo equipo.

En la mayoría de los casos la diferencia entre las calificaciones asignadas a los modelos 1 y 2 es cero, lo que indica que no hubo cambios significativos entre ambos modelos para los tres niveles de representación. En particular, el nivel simbólico presenta mayor congruencia, además, como se observa en las figuras 10 y 11, el nivel de representación simbólico es el mejor evaluado desde el modelo 1, cerca del 80 %. Esto se puede explicar porque es un nivel trabajado desde que se introduce al estudiante en su formación científica, por lo que no sorprende que su evaluación no cambie de manera significativa.

Al analizar aquellos casos donde sí se observaron cambios en las calificaciones asignadas, el nivel microscópico muestra un mayor número de equipos que evolucionan positivamente, lo que mejoró sus modelos. Respecto al caso contrario, el nivel macroscópico presenta un mayor número de equipos a cuyo modelo 2 se le asignó una calificación más baja respecto al modelo 1. Se puede ver para este nivel de representación que, para los M1 y M2 (figuras 10 y 11), cerca del 50 % de los equipos logró un nivel 3, lo que implica que el resto de la población se distribuye en los indicadores asociados a un nivel bajo de representación. Lo anterior está de acuerdo con Driver (1988), quien indica que los alumnos se enfocan en los aspectos observables, lo cual les impide conceptualizar y representar que se forman más productos de los que perciben a simple vista, así como identificar productos en los casos de reacciones que no muestran cambios aparentes.

En la licenciatura, los alumnos han adquirido más conocimiento disciplinar que deben incorporar a sus modelos. Adicionalmente, las reacciones llevadas a cabo para el modelo 2 son de mayor dificultad respecto a las realizadas para el modelo 1, ya que en el modelo 1 se pide la representación de reacciones que los alumnos han realizado en los niveles previos de su formación. Inferimos, por lo tanto, que la disminución en las calificaciones asignadas al nivel macroscópico se puede atribuir, entre otros factores, a que los alumnos tienen un reto mayor para representar la incorporación de nuevos saberes, así como para transitar simultáneamente entre los diferentes niveles de representación.

A manera de resumen se presenta, en la tabla 2, una comparación entre los porcentajes de mejora o disminución en las calificaciones asignadas para cada representación:

Tabla 2.  
Porcentaje de mejora o disminución en las calificaciones asignadas a los modelos

<i>Diferencia entre las evaluaciones</i>	<i>Nivel microscópico</i>	<i>Nivel macroscópico</i>	<i>Nivel simbólico</i>	<i>Porcentaje global</i>
No hay cambio	45 %	43 %	62 %	50 %
Mejora	32 %	18 %	16 %	22 %
Disminuye	22 %	39 %	22 %	28 %

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 2, al implementar el protocolo «Reacción Química», el 50 % de los modelos analizados no muestran un cambio significativo; sin embargo, se debe considerar que, al implementar una nueva propuesta didáctica, como la del trabajo basado en modelos, se espera que no sea asimilada a corto plazo por la totalidad de los estudiantes. A este respecto, los resultados revelan la poca experiencia que tienen los alumnos de primer semestre en la elaboración de modelos. Esto puede deberse al tipo de enseñanza, sobre todo conductista, en que están inmersos en el bachillerato, lo que genera una baja autonomía en la adquisición de conocimientos y el desarrollo de habilidades. De ahí la importancia de insistir en la elaboración de modelos para una mejor comprensión en los tres niveles de representación de los fenómenos químicos.

## CONSIDERACIONES FINALES

Al implementar el protocolo experimental observamos que la mayoría de los alumnos fue capaz de elaborar los modelos solicitados. Es decir, que con una guía adecuada los estudiantes son capaces de generar representaciones visuales de los conceptos químicos implicados en una reacción química.

Después de implementar el protocolo y analizar los resultados, consideramos que para que un alumno sea capaz de generar un modelo adecuado es indispensable que se involucre en la actividad, se disponga del tiempo necesario para su desarrollo y se favorezca la discusión grupal, todo esto con el acompañamiento de su profesor. Una falta de entrenamiento en el uso de modelos generará que el estudiante tenga un manejo insuficiente en cada nivel de representación. Por ello es recomendable que los profesores promuevan el uso de modelos en actividades en el aula.

Respecto a la evolución de los modelos elaborados por los alumnos, los resultados muestran que el nivel simbólico es bueno desde un inicio y se mantiene, el nivel macroscópico presenta un ligero retroceso y el nivel microscópico presenta una ligera mejora.

Este trabajo apunta a que la dificultad en la incorporación de modelos en la enseñanza de la química se debe a que los alumnos de licenciatura tienen que integrar un mayor número de conceptos, además de la dificultad asociada a transitar simultáneamente entre los diferentes niveles de representación. A este respecto coincidimos con Gómez (2014) y recomendamos que el uso de modelos para la educación científica tenga un acercamiento progresivo.

Los resultados evidencian el grado de comprensión de los conceptos implicados en la reacción química. Los alumnos, en la representación microscópica, pueden representar el número de moléculas en concordancia con el coeficiente estequiométrico y los átomos que integran la molécula en concordancia con los subíndices.

El manejar de forma explícita modelos en los tres niveles de representación para un mismo fenómeno, aunado al trabajo experimental, permite abordar los contenidos desde distintas miradas, lo que contribuye a una mayor comprensión de estos. Lo anterior abona a una propuesta educativa que considera las distintas formas de aprendizaje en los alumnos y que favorece un tránsito entre lo conceptual y lo experimental.

Este trabajo resalta que, para entender un fenómeno, se deben elaborar modelos pictográficos y de texto que se complementen, ya que para cumplir con las exigencias del mundo actual los estudiantes deben poseer destrezas de comunicación, adaptación y aprendizaje constante. La elaboración de modelos en esta propuesta favorece las habilidades de comunicación, la libertad y autonomía de pensamiento.

## AGRADECIMIENTOS

Proyecto PE214420 apoyado por DGAPA-UNAM.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adúriz-Bravo, A. (2018). S701 Argumentación basada en modelos desde la perspectiva de la epistemología y la historia de la ciencia. *Técné Episteme y Didaxis: TED*.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4(3), 40-49.

- Amalia, F., Ibnu, S., Widarti, H. y Wuni, H. (2018). Students' Mental Models of Acid and Base Concepts Taught Using Cognitive Apprenticeship Learning Model. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 7(2), 187-192.
- Aragón, M., Oliva, J. 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.
- Barker, V. (2000). *Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas*. Londres: RSC.
- Caamaño, A. y Oñorbe, A. (2004). La enseñanza de la química: conceptos y teorías, dificultades de aprendizaje y replanteamientos curriculares. *Alambique*, 41, 68-81.
- Campanario, J. (2002). Asalto al castillo: ¿A qué esperamos para abordar en serio la formación didáctica de los profesores universitarios de ciencias? *Enseñanza de las ciencias*, 20(2), 315-326.
- Casado, G. y Raviolo, A. (2005). Las dificultades de los alumnos al relacionar distintos niveles de representación de una reacción química. *Universitas Scientiarum*, 10(1es), 35-43.
- Chamizo, J. y Márquez, J. (2006). Modelación molecular: estrategia didáctica sobre la constitución de los gases, la función de los catalizadores y el lenguaje de la química. *RMIE*, 11(31), 1241-1257.
- Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120.
- Duschl, R. (1997). *Renovar la enseñanza de las ciencias: importancia de las teorías y su desarrollo* (vol. 139). Narcea Ediciones.
- Espinete, M., Izquierdo, M., Bonil, J. y Ramos, L. (2012). The role of language in modeling the natural world: Perspectives in science education. En K. Tobin, B. Fraser y C. McRobbie (Eds.), *Second international handbook of research in science education* (pp. 1385-1403). Nueva York: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7\\_89](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_89)
- Flores, F., Gallegos, L. y Reyes, F. (2007). Perfiles y orígenes de las concepciones de ciencia de los profesores mexicanos de química. *Perfiles Educativos*, 29(116), 60-84.
- Galagovsky, L. (2005). La enseñanza de la química pre-universitaria: ¿Qué enseñar, cómo, cuánto, para quiénes? *Química Viva*, 4(1), 8-22.
- García, P. y Sanmartí, N. (2006). La modelización: una propuesta para repensar la ciencia que enseñamos. Enseñar ciencias en el nuevo milenio. *Retos y Propuestas*, 279-297.
- Giere, R. (1999). *Science without Laws*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gil, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(1), 026-33.
- Gillespie, R. (1997). The great ideas of chemistry. *J. Chem. Educ.*, 74(7), 862.
- Gómez, A. (2009). *Estudio de los seres vivos en la educación básica: Enseñanza del sistema nervioso desde un enfoque para la evolución de los modelos escolares*. Nuevo León: UANL.
- Gómez, A. (2014). Progresión del aprendizaje basado en modelos: la enseñanza del aprendizaje del sistema nervioso. *Bio-grafía*, 7(13), 101-107. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia101.107>
- Hernández-Luna, M. y Llano, M. (1994). Propuesta de Reforma de la Enseñanza Experimental. *Revista del IMIQ*, 7, 5-7.
- Hofstein, A. y Mamlok-Naaman, R. (2007). The laboratory in science education: the state of the art. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 8(2), 105-107. <https://doi.org/10.1039/B7RP90003A>
- Izquierdo, M., Espinete, M., García, M., Pujol, R. y Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59.

- Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Sci Educ*, 12(1), 27-43. <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>
- Johnstone, A. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 7(2), 49-63.  
<https://doi.org/10.1039/B5RP90021B>
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- López, A. (2018). *Dificultades en la enseñanza-aprendizaje de la estequiometría en el bachillerato, una propuesta didáctica para enfrentarlas* (tesis de maestría). México: UNAM.  
<http://132.248.9.195/ptd2018/mayo/0774595/Index.html>
- López-Mota, Á. y Rodríguez-Pineda, D. (2013). Anclaje de los modelos y la modelización científica en estrategias didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, Extra, 2008-2013.
- Moreno-Arcuri, G. y López-Mota, Á. (2013). Construcción de modelos en clase acerca del fenómeno de la fermentación, con alumnos de educación secundaria. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia)*, 9(1), 53-78.
- Nic, M., Jirat, J. y Kosata, B. (2005) *IUPAC Gold Book*. <https://doi.org/10.1351/goldbook> (consulta: 05/09/2020).
- Oliva, J. (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>
- Ordenes, R., Arellano, M., Jara, R. y Merino, C. (2014). Representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas sobre la materia. *Educ. Quím.*, 25(1), 46-55.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70523-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70523-3)
- Reyes-Cárdenas, F., et al. (2019). *Desarrollo de habilidades de pensamiento en el Laboratorio de Química General*. México: UNAM.  
<http://www.librosoa.unam.mx/handle/123456789/2808>
- Rodríguez, L. y Pérez, B. (2016). Aprendizaje de las reacciones químicas a través de actividades de indagación en el laboratorio sobre cuestiones de la vida cotidiana. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(3), 143-160.
- Sardá, A. y Sanmartí, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 405-422.
- Solsona, N. e Izquierdo, M. (2003). El uso de la explicación en una receta de cocina científica. *Revista Investigación en la Escuela*, 49, 79-88.
- Stavridou, H. y Solomonidou, C. (1989). Physical phenomena-chemical phenomena: do pupils make the distinction? *IJSE*, 11(1), 83-92.
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry «triplet». *IJSE*, 33(2), 179-195.  
<https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
- Tuzón, P. y Solbes, J. (2017). La modelización usando corporeización en la Enseñanza de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, Extra, 587-594.
- Vallejo, W. (2017). *Relaciones explicativas entre los niveles de representación macroscópico, microscópico y simbólico de la materia; una propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de «reacción química»* (tesis de maestría). UNAL. <http://bdigital.unal.edu.co/58347/1/71789249.2017.pdf>

---

# Learning of chemical reaction: the use of models in chemistry laboratory

Flor Reyes-Cárdenas, Brenda Ruiz-Herrera, Mercedes Llano-Lomas, Patricia Lechuga-Urbe, Margarita Mena-Zepeda  
Departamento de Química Inorgánica y Nuclear, Facultad de Química, UNAM. CDMX, México.  
fmreyes@unam.mx, ruizherrerabrenda@quimica.unam.mx, llano@unam.mx, palu@quimica.unam.mx, margaritamenez@quimica.unam.mx

Research has shown that when students create or use models, longer-term retention capacity, intrinsic motivation and a superior level of reasoning and critical thinking are achieved. When approaching a phenomenon, the modelling process implies an explicit need for a model which includes codes and a linguistic representation which can be verbal, visual, symbolic, or mathematical.

This study aims to characterize and analyze the models developed by freshmen college students, by implementing the «Chemical Reaction» experimental design. The sample size consisted of 213 students and their produced models were analyzed. The evaluation criteria were set in by consensus, establishing the corresponding indicators. For validation each model was evaluated by two researchers, focusing on two aspects: *a)* the written explanations and *b)* the macroscopic, microscopic, and symbolic levels of representation.

This research indicates that the difficulty for students to incorporate the use of models in chemistry classes could be because they must understand many concepts, while addressing the difficulty associated with the three levels of representation of chemistry. We recommended a progressive integration of modelling in scientific learning.

The result shows that with modelling the students were able to represent the number of molecules according to the stoichiometric coefficient, as well as the atoms that constitute the molecules according to the subscripts, although, previous research has pointed out the difficulty of correctly associating and interpreting the coefficients and subscripts in a chemical reaction.

While incorporating the use of models in the three levels of representation of a chemical reaction to be carried out in the laboratory, it allows us to approach the content from different points of view, which leads to a greater understanding of it. This contributes to an educational strategy that encourages the student to use what they have learned in theory and in the laboratory simultaneously.

It is essential that the student gets involved in the activity with enough time and the proper guidance throughout the process. The communication and argumentation skills should be promoted so that the student can create an appropriate model. This paper highlights that to understand a phenomenon, complementariness pictographic and text models must be created.



# Trabajo matemático de un profesor basado en tareas y ejemplos propuestos para la enseñanza\*

## Mathematical work of a teacher based on tasks and examples proposed for teaching

Carolina Henríquez Rivas  
*Facultad de Ciencias de la Educación,  
Universidad de Talca, Talca, Chile*  
cahenriquez@utalca.cl

José Carrillo Yáñez, Nuria Climent  
*Departamento de Didácticas Integradas,  
Universidad de Huelva, Huelva, España*  
carrillo@uhu.es, climent@uhu.es

Rodrigo Ponce  
*Instituto de Matemáticas,  
Universidad de Talca, Talca, Chile*  
rponce@inst-mat.utalca.cl

Gonzalo Espinoza-Vásquez  
*Instituto de Matemáticas,  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile*  
gonzalo.espinoza.v@gmail.com

**RESUMEN** • El uso de tareas y ejemplos constituye una práctica fundamental en el trabajo del profesor en el aula para la enseñanza de un contenido. El objetivo de este artículo es caracterizar el trabajo matemático que propone un profesor a partir de las tareas y ejemplos que considera para la enseñanza de un teorema geométrico. Para ello, se analiza el espacio de trabajo matemático idóneo de un profesor de secundaria que participa en un taller formativo. Se presenta un estudio de caso basado en un diseño de caso único, a través de videgrabaciones y observaciones. Los resultados revelan el privilegio de tratamientos algebraicos a partir de representaciones figurales y un cambio propuesto que involucra el uso de herramientas tecnológicas. Finalmente, se discute sobre aportes al estudio del trabajo matemático del profesor en el aula centrado en el uso de tareas y ejemplos.

**PALABRAS CLAVE:** Espacio de trabajo matemático idóneo; Profesor; Teorema de Tales; Tareas; Ejemplos.

**ABSTRACT** • The use of tasks and examples is a fundamental practice in the teacher's work in the classroom when it comes to teaching a content. The objective of this article is to characterize the mathematical work that a teacher proposes from the tasks and examples that he or she considers for the teaching of a geometric theorem. For this purpose, the suitable mathematical workspace of a secondary school teacher participating in a training workshop is analyzed. A case study is presented based on a unique case design, through video recordings and observations. The results reveal the privilege of algebraic treatments based on figurative representations, and a proposed change that involves the use of technological tools. Finally, contributions to the study of the teacher's mathematical work in the classroom focused on the use of tasks and examples are discussed.

**KEYWORDS:** Suitable mathematical workspace; Teacher; Theorem of Thales; Tasks; Examples.

\* Dedicamos este artículo, con admiración y agradecimiento, a la memoria de nuestro colega y amigo Prof. Dr. José Carrillo, fallecido poco antes de la publicación de este trabajo.

Recepción: diciembre 2019 • Aceptación: diciembre 2020 • Publicación: junio 2021

Henríquez Rivas, C., Ponce, R., Carrillo Yáñez, J., Climent, N. y Espinoza-Vásquez, G. (2021). Trabajo matemático de un profesor basado en tareas y ejemplos propuestos para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 123-142.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3210>

## INTRODUCCIÓN

La investigación sobre la actividad matemática del profesor en el aula ha cobrado relevancia en los últimos años (Espinoza-Vásquez, Zakaryan y Carrillo Yáñez, 2018; Zakaryan, Estrella, Espinoza-Vásquez, Morales, Olfos, Flores-Medrano y Carrillo, 2018). Al respecto, Badillo, Figueiras, Font y Martínez (2013) destacan la necesidad de una agenda de investigación que vincule el estudio de la práctica de aula con modelos teóricos. Para estudiar el trabajo matemático del profesor en el aula, se han realizado análisis de tareas o ejemplos que el profesor propone con sustento en diversas perspectivas teóricas (Henríquez-Rivas y Montoya Delgadillo, 2015; Zodik y Zaslavsky, 2008).

Watson y Thompson (2015) plantean diversas acciones que pueden ser favorecidas por una tarea (construcción de conceptos, pruebas y aplicaciones, entre otras) y establecen una distinción entre el trabajo matemático previsto y el implementado en relación con el diseño de tareas. En esta investigación reconocemos dicha diferenciación y apoyamos la idea de que el estudio del trabajo matemático que promueven beneficia y clarifica las posibilidades de su uso por parte de los profesores en el aula.

Aunque no existe consenso sobre la definición de tarea (Watson y Mason, 2007), sí existe respecto a su importancia y diseño apropiado (Margolinas, 2013). Así, Becker y Shimada (1997) denominan *tarea* a los materiales o entornos diseñados para promover una actividad matemática compleja. En la perspectiva de la teoría antropológica de lo didáctico, Chevallard (1999) reconoce las tareas como construcciones institucionales, cuya reconstrucción en una praxeología matemática es el propio objeto de la didáctica. Otros autores definen tarea como lo que se les pide a los estudiantes que hagan (Christiansen y Walter, 1986; Mason y Johnston-Wilder, 2006).

Por otro lado, los ejemplos han desempeñado un rol fundamental tanto en la matemática como en su enseñanza y aprendizaje, y su uso constituye una práctica bien establecida en las aulas. En la literatura de investigación en educación matemática el propio concepto de ejemplo no tiene una definición precisa, pero existe acuerdo sobre su rol fundamental en el aprendizaje de conceptos, teoremas y técnicas (entre otros), y sobre la importancia que tiene su elección para la enseñanza de un tema o concepto matemático particular (Watson y Mason, 2005). Si bien dicha elección puede ser planificada o espontánea, diversas investigaciones han mostrado las dificultades que conlleva (Zodik y Zaslavsky, 2008).

A partir de lo anterior y dada la relevancia del uso de tareas y ejemplos que los profesores proponen en el aula, nos hemos trazado como objetivo de investigación caracterizar el trabajo matemático que propone un profesor a partir de las tareas y ejemplos que considera para la enseñanza de un teorema geométrico. Esta caracterización se realiza sobre la base de una experiencia formativa que involucra el estudio del teorema de Tales. Los resultados nos permiten discutir sobre aportes al estudio del trabajo matemático del profesor en el aula centrado en el uso de tareas y ejemplos asociados a un contenido matemático. Para ello, consideramos la perspectiva del *Espacio De Trabajo Matemático* (Kuzniak, 2011), que ha sido empleado para analizar el trabajo del profesor en el aula (Kuzniak, Tanguay y Elia, 2016; Gómez-Chacón, Kuzniak y Vivier, 2016), particularmente, en geometría (Kuzniak, 2018).

## MARCO TEÓRICO

### Espacios de trabajo matemático

En esta investigación, para analizar el trabajo matemático del profesor se utiliza el marco del *Espacio De Trabajo Matemático* (ETM) (Kuzniak, 2011), concebido como un modelo que contribuye a la comprensión del trabajo de personas (profesor, estudiante o un matemático) que resuelven tareas matemáticas y permite caracterizar los caminos que emergen en su resolución (Kuzniak et al., 2016; Henríquez-Rivas y Montoya-Delgadillo, 2015).

La investigación en ETM considera los principios epistemológicos de los objetos que se estudian dentro de un dominio matemático (como la geometría, el análisis o la probabilidad) (Kuzniak, 2011; Montoya-Delgadillo y Vivier, 2016). En este marco se diferencian dos tipos de elementos (representados por los planos epistemológico y cognitivo, en la figura 1), que pretenden captar los contenidos matemáticos del dominio estudiado y la actividad cognitiva del individuo cuando adquiere, desarrolla o utiliza esos contenidos matemáticos (Kuzniak, 2011).

El plano epistemológico lo conforman tres componentes: *representamen*, *artefactos* y *referencial*. El plano cognitivo está constituido por los componentes: *visualización*, *construcción* y *prueba*. La articulación entre estos planos se realiza mediante las *génesis semiótica*, *instrumental* y *discursiva*, que permiten coordinar y explicitar la naturaleza del trabajo matemático en diversos contextos educativos e institucionales (Kuzniak, 2011). La relación entre los planos, componentes y génesis se ilustra en el diagrama (figura 1).

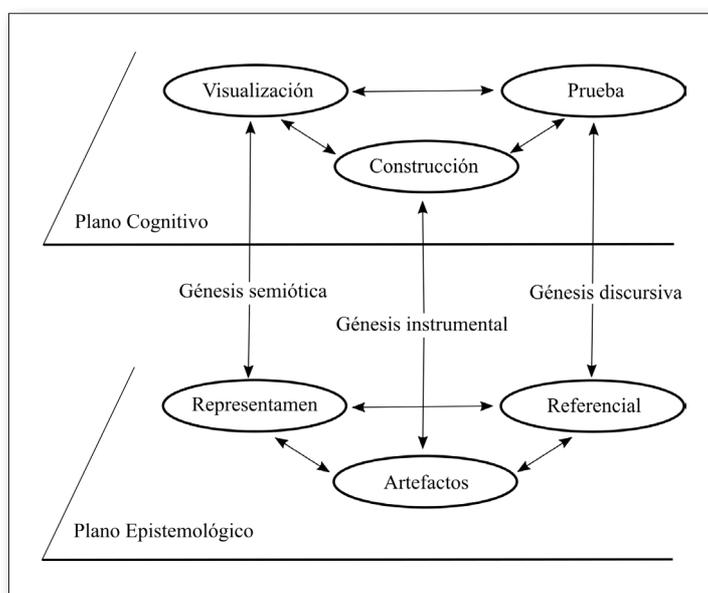


Fig. 1. Diagrama del ETM (Kuzniak, 2011).

La *génesis semiótica* está asociada con los registros de representación semiótica, los que permiten las actividades cognitivas de identificación y tratamientos de representaciones en un registro semiótico determinado, junto a la conversión de representaciones entre distintos registros (Duval, 1995). Esta génesis relaciona los componentes representamen y visualización. El representamen se refiere a los objetos matemáticos concretos y tangibles, en función de las interpretaciones y relaciones construidas por el individuo, según el proceso de visualización (Kuzniak et al., 2016). Así, la génesis semiótica representa la relación entre el objeto matemático y el proceso cognitivo para dotarlo de significado.

En el proceso de visualización en geometría consideramos dos niveles de identificación visual de objetos: visualización icónica y visualización no-icónica (Duval, 2005). La visualización icónica comprende tanto procesos de reconocimiento como de comparación entre la forma tipo de figuras. La visualización no-icónica involucra la descomposición de una figura inicial en unidades figurales, mediante la introducción de trazos suplementarios, para construir una figura o por la elección de trazos reorganizadores para resolver un problema (Duval, 2016).

En la *génesis instrumental* se hacen operativos los artefactos, a través de la construcción realizada por un individuo. En cuanto a los artefactos, nos basamos en la perspectiva de Rabardel (1995), quien

distingue artefactos que pueden ser de tipo material o un sistema simbólico, empleado como un instrumento para la acción. Desde nuestro posicionamiento, los artefactos de tipo material corresponden a herramientas para dibujo, construcción o medición. A su vez, los sistemas simbólicos pueden ser de naturaleza semiótica, cuando son empleados sobre la base de la representación semiótica de un objeto (como un trazo suplementario o reorganizador en una construcción), y los algoritmos basados en técnicas de cálculo (como la división euclidiana). De esta manera, la construcción se basa en las acciones desencadenadas por los artefactos utilizados y las técnicas de uso asociadas (Kuzniak et al., 2016).

La *génesis discursiva* relaciona los componentes referencial y prueba. El referencial se refiere a la parte teórica del trabajo matemático, basado en definiciones, propiedades y teoremas. Kuzniak et al. (2016) plantean el proceso de prueba como todo razonamiento discursivo que permite formular argumentaciones organizadas deductivamente, definiciones, hipótesis y conjeturas, y enunciar contraejemplos, con apoyo del referencial. En nuestro trabajo, consideramos la concepción de Balacheff (1987), quien distingue dos tipos de prueba que se diferencian por el estatus de los conocimientos puestos en juego y la naturaleza de la justificación subyacente: las pruebas pragmáticas, aquellas que recurren a la acción o la ostensión; y las pruebas intelectuales, separadas de la acción, que se apoyan en formulaciones de las propiedades en juego y de sus relaciones (Balacheff, 2000).

En una tarea determinada, estas tres génesis (y las relaciones entre los componentes de los planos) pueden interactuar para dar significado al trabajo matemático del individuo. De este modo, la investigación en ETM se basa en comprender la dinámica del trabajo matemático mediante el papel de cada una de estas génesis y sus interacciones (Kuzniak, 2018). En los análisis en ETM, la interacción entre las génesis, que especifica los componentes puestos en juego por el individuo que resuelve una tarea, se denomina *circulación* en el espacio de trabajo (Montoya-Delgadillo, Mena-Lorca y Mena-Lorca, 2014). En los análisis de las circulaciones es posible identificar cambios entre dos dominios matemáticos diferentes, lo que se denomina *cambio de dominio* y se basa en el trabajo en un dominio inicial y otro de llegada (Montoya-Delgadillo y Vivier, 2014).

Las interacciones entre dos génesis y sus componentes implicadas se representan por *planos verticales* (Kuzniak y Richard, 2014). El uso de estos planos verticales ayuda a especificar las circulaciones del trabajo matemático. Los autores identifican tres planos verticales, que generan distintos tipos de interacciones: *plano semiótico-instrumental* (*Sem-Ins*), cuando se usan los artefactos en la construcción de resultados bajo ciertas condiciones o en la exploración de representaciones semióticas; *plano instrumental-discursivo* (*Ins-Dis*), cuando la prueba se basa en una experimentación y emplea un artefacto, o bien se valida una construcción, y *plano semiótico-discursivo* (*Sem-Dis*), cuando se ponen en coordinación el proceso de visualización de objetos representados con un razonamiento para probar (Kuzniak et al., 2016). Estos tres planos verticales se representan en la figura 2.

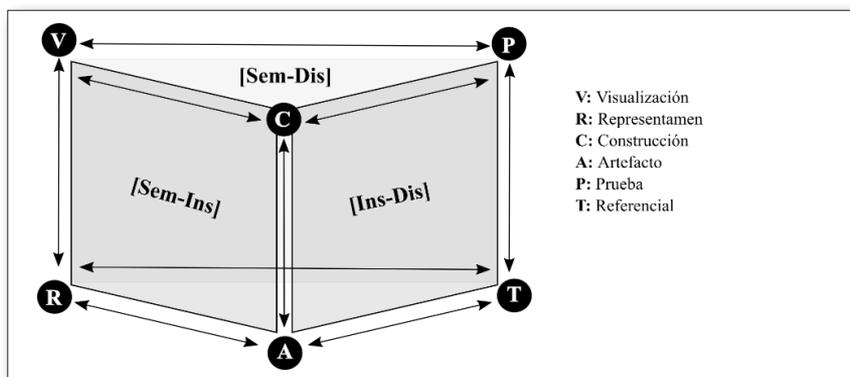


Fig. 2. Diagrama de los planos verticales en el ETM (Kuzniak et al., 2016).

En esta investigación analizamos el *ETM* idóneo de un profesor, entendido como el modo en que un contenido matemático desarrollado por un profesor se diseña, adapta y propone para la enseñanza en un lugar y contexto determinados (Kuzniak et al., 2016; Flores-González y Montoya-Delgadillo, 2016). El *ETM* idóneo puede ser modificado de acuerdo con las condiciones de la clase (Morales, 2018). El trabajo desarrollado alrededor de la elección de tareas propuestas por el profesor supone que se ha organizado un *ETM* idóneo, para permitir que los estudiantes se dediquen a su desarrollo (Kuzniak, 2011). En esta investigación, caracterizamos el *ETM* idóneo del profesor a través del trabajo organizado para el aula y en esta. Es por esto por lo que nuestro objetivo de investigación puede formularse en términos del *ETM* idóneo del profesor: caracterizar el *ETM* idóneo propuesto por un profesor a partir de las tareas y ejemplos que considera para la enseñanza de un teorema geométrico.

La noción de *tarea* ya ha sido empleada en investigaciones en *ETM*, y si bien no se trata de una componente explícita del modelo, la entendemos como la activadora del espacio de trabajo del individuo (Kuzniak, 2011) en una institución específica. Kuzniak et al. (2016) utilizan una forma amplia y abierta para referirse a la tarea, relativa a cualquier tipo de problema matemático, con suposiciones y preguntas claramente formuladas, para resolver en un tiempo predecible. Desde nuestra perspectiva, al referirnos a una tarea aludimos a una experiencia matemática planificada para los estudiantes, que puede ser una acción o una secuencia de acciones. Por lo tanto, el propósito de la tarea es promover la acción matemática, que podría consistir desde acciones básicas (resolver un problema o una prueba) hasta una compleja exploración interdisciplinar (Watson y Thompson, 2015).

Con respecto al *ejemplo*, diversas investigaciones han mostrado que su uso o *ejemplificación* por parte de los profesores no es arbitrario, requiere planificación y los enfrenta a diversas dificultades, pues no existe un método estructurado para su elección (Huntley, 2013; Zodik y Zaslavsky, 2008).

En esta investigación consideramos el ejemplo como aquello que representa cualquier cosa que le permita al estudiante generalizar (Watson y Mason, 2005). Así, se usan para ilustrar conceptos, para motivar el uso de la matemática en situaciones contextualizadas, casos particulares de definiciones o teoremas, preguntas trabajadas en los libros de texto o por los profesores como medio para demostrar el uso de técnicas específicas, preguntas que deben ser trabajadas por los estudiantes para aprender a usar, aplicar y ganar fluidez en ciertas técnicas concretas. En nuestro caso nos interesan los *ejemplos instructivos* (Zaslavsky, 2010), que corresponden a los que utiliza el profesor para el estudio de un tema matemático particular.

## METODOLOGÍA

Con el propósito de caracterizar el *ETM* idóneo que propone un profesor a partir de tareas y ejemplos para la enseñanza del teorema de Tales, se ha realizado un estudio de caso basado en un diseño de caso único (Yin, 2009), que considera como unidad de análisis el trabajo matemático que propone un profesor de secundaria en el contexto de una experiencia formativa. El estudio de caso es apropiado para esta investigación debido a que los eventos se desarrollan en contextos escolares naturales, y pretende aportar una descripción profunda del trabajo matemático de un profesor. Asimismo, la justificación del diseño de caso único se basa en que se trata de un caso *representativo* (Yin, 2009), acerca de la enseñanza de un teorema típicamente estudiado en educación secundaria.

El equipo de investigadores, conformado por cuatro didactas de la matemática y un matemático (todos con formación pedagógica), ha diseñado e implementado un taller formativo dirigido a trece profesores de matemáticas de un liceo público, cuya finalidad es que los participantes planteen mejoras en torno a tareas y ejemplos para el aula, en relación con un contenido geométrico seleccionado. La participación de los docentes en el taller fue voluntaria.

El taller contempla tres momentos e involucra sesiones en la universidad y en el liceo y el trabajo en el aula de los docentes, de los cuales destacamos:

*Primer momento: presentación de tareas y ejemplos.* Se realizó en dos sesiones (sin estudiantes) una simulación de su práctica de aula. Los profesores, en grupos, seleccionaron un tema geométrico y describieron algunas tareas y ejemplos instructivos que fueron presentados a los profesores e investigadores.

*Segundo momento: discusión y planificación para el aula.* Se realizó en dos sesiones (sin estudiantes). Los profesores adaptaron las tareas y ejemplos presentados en la simulación, considerando elementos del ETM (uso de artefactos y objetos matemáticos involucrados, entre otros) que fueron discutidos conjuntamente para implementar en el aula.

*Tercer momento: implementación en el aula.* Los profesores seleccionaron un representante por grupo, que implementó en un aula las tareas y ejemplos adaptados.

En el proceso (iterativo) que propone Yin (2009), el taller desempeñó un papel crucial en relación con el diseño y la preparación, y fue un contexto relevante de recolección de evidencias, además de ser un entorno formativo. Para efectos de los análisis que mostramos en este trabajo consideramos los momentos 1 y 3.

## Selección del caso

Para la selección del caso (lo llamaremos P1), nos basamos en que es un caso representativo y revelador con respecto a la enseñanza del contenido matemático seleccionado (Yin, 2009). P1 es el representante de un grupo que seleccionó como tema el teorema de Tales, que se ubica en el eje de geometría de Primero Medio (14 años) según el currículo chileno (Mineduc, 2015).

P1 se manifiesta cercano a la enseñanza expositiva, tradicional y se muestra durante el taller dispuesto a colaborar, manifestar opiniones y escuchar a otros. El grupo de P1 decide incorporar nuevos elementos para el momento 3 y considera el uso de GeoGebra. Estos aspectos, especialmente la representatividad acerca de la enseñanza de un contenido, disponibilidad, compromiso y expresividad, apoyan la elección de P1.

## Recolección y análisis de datos

Para la recolección de datos en los momentos 1 y 3, se consideran videograbaciones y transcripciones, observación participante en el momento 1 y no participante en el 3.

En relación con las estrategias de triangulación, habituales en el estudio de caso (Denzin, 1978), se usa la triangulación de datos, en coherencia con las actividades desarrolladas según cada momento, y se consideran criterios de pertinencia y relevancia. Con respecto a la triangulación del investigador, se considera la participación en el análisis de un equipo conformado por un matemático e investigadores en didáctica de la matemática con diversa formación y experiencia.

Para caracterizar el ETM idóneo de P1, analizamos en dos etapas el desarrollo de las tareas y ejemplos en los momentos 1 y 3:

*Etapas 1:* identificación de episodios de la sesión, tareas y uso de ejemplos para la enseñanza y descripción del trabajo propuesto (momento 1) y ajustado (momento 3), a través de las principales acciones realizadas. Para ello, se elaboró la tabla 1, que ayudó a efectuar los análisis en la etapa siguiente.

Tabla 1.  
Identificación de objetivo, episodios, tareas y ejemplificaciones

<i>Objetivo declarado</i>		
Episodio	Tarea (t)	Ejemplificación (e)

*Etapa 2:* análisis de la circulación en el ETM idóneo de P1 realizado sobre la base de la información de la etapa 1. Para estos análisis se utilizó un protocolo con descriptores relacionados con criterios que se refieren a las génesis y sus componentes respectivas (tabla 2). Luego, la información obtenida permitió reconocer los planos verticales activados en el trabajo de P1.

Tabla 2.  
Protocolo para el análisis de la circulación en el ETM

<i>Criterio</i>	<i>Componentes</i>	<i>Descriptor</i>
Génesis semiótica	Representamen	Relaciona objetos matemáticos y sus elementos significantes.
	Visualización	Interpreta y relaciona los objetos matemáticos según actividades cognitivas ligadas con los registros de representaciones semióticas (identificación, tratamientos, conversiones). El proceso de visualización considera dos niveles de identificación visual de objetos (visualización icónica, visualización no-icónica).
Génesis instrumental	Artefacto	Utiliza artefactos de tipo material o un sistema simbólico.
	Construcción	Se basa en las acciones desencadenadas por los artefactos utilizados y las técnicas de uso asociadas.
Génesis discursiva	Referencial	Utiliza definiciones, propiedades o teoremas.
	Prueba	El razonamiento discursivo se basa en una prueba (pragmática, intelectual).

## RESULTADOS

Los resultados que presentamos a continuación describen la identificación de episodios, tareas y ejemplos, y la caracterización del ETM idóneo de P1 en los momentos 1 y 3.

### Momento 1

Para caracterizar el ETM idóneo de P1 en la sesión de simulación de una clase, se consideran las dos etapas descritas en la sección metodológica. Los datos utilizados provienen de videograbaciones, transcripciones (los fragmentos literales, indicados entre comillas) y observación participante. En la tabla 3 se identifican las tareas y ejemplificación según cada episodio.

Tabla 3.  
Tareas y ejemplificación según episodios

Objetivo declarado por P1: Demostrar el teorema de Tales		
Episodio	Tarea (t)	Ejemplificación (e)
1. Realiza tratamientos algebraicos a partir de la semejanza de triángulos.	t <sub>1</sub> : Establecer relaciones proporcionales a partir de la igualdad entre razones de segmentos.	e <sub>1</sub> : Representación de una figura para ilustrar la semejanza de dos triángulos.
2. Establece relaciones proporcionales entre triángulos semejantes.	t <sub>2</sub> : Probar el teorema de Tales a partir de relaciones proporcionales.	e <sub>2</sub> : Representación de una figura para ilustrar el teorema.

*Descripción del trabajo propuesto en el episodio 1.* Al iniciar la descripción de la simulación de la práctica en el aula, P1 realiza el siguiente comentario: «[...] cuando empiezo una unidad siempre hay que partir por la demostración, entonces, parto por la demostración del teorema de Tales».

P1 inicia t<sub>1</sub> con el ejemplo (a mano alzada) de un triángulo, enuncia una hipótesis sobre paralelismo y, a partir de ello, deduce la semejanza de dos triángulos y establece relaciones entre los segmentos según las medidas de los lados de ambos triángulos expresadas por la igualdad entre dos razones de segmentos (en la figura 3, si  $\overline{BE} \parallel \overline{CD}$ , entonces  $\frac{\overline{AC}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{AD}}{\overline{AE}}$ ). Luego, realiza operaciones algebraicas con las medidas de los segmentos de la figura y, finalmente, obtiene una relación errónea de proporcionalidad entre los segmentos determinados por las rectas paralelas (en la figura 3, en lugar de escribir  $\frac{\overline{BC}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{ED}}{\overline{AE}}$ , escribe  $\frac{\overline{CD}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{ED}}{\overline{AE}}$ ). P1 realiza estos tratamientos de las fracciones como números racionales sin volver a la figura inicial (e<sub>1</sub>).

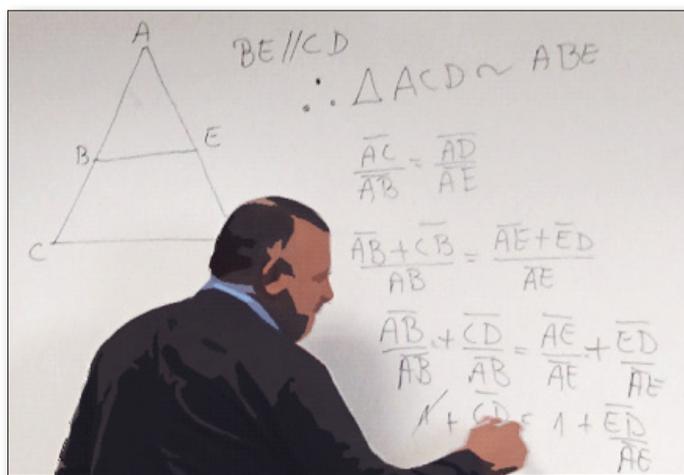


Fig. 3. Trabajo de P1 en el episodio 1.

*Descripción del trabajo propuesto en el episodio 2.* En t<sub>2</sub>, P1 inicia el trabajo con el ejemplo de una figura a mano alzada (figura 4), explicitando la hipótesis (que llama propiedad): «tenemos A, B, C, D, E, F donde L1 tiene que cumplir con la propiedad que L1 sea paralelo a L2 y paralelo a L3». Continúa añadiendo un trazo suplementario en la figura (la recta que pasa por A, P y F): «Si yo tiro una diagonal, de A a F», y utiliza la relación del episodio anterior en el triángulo ACF. Luego, esto se repite en el triángulo FAD, y usa la propiedad transitiva de números reales para concluir la prueba (en la figura 4,

de  $\frac{\overline{AB}}{\overline{CB}} = \frac{\overline{AP}}{\overline{PF}}$  concluye que  $\frac{\overline{AB}}{\overline{CD}} = \frac{\overline{DE}}{\overline{EF}}$ ). Al concluir P1 comenta: «Yo quise hacer lo que hago común y corriente, no me quise salir de los cánones y tratar de hacer algo más allá de lo normal».

Finalmente, P1 señala que propone tareas, que no fueron presentadas, para que los estudiantes usen el teorema como una fórmula.

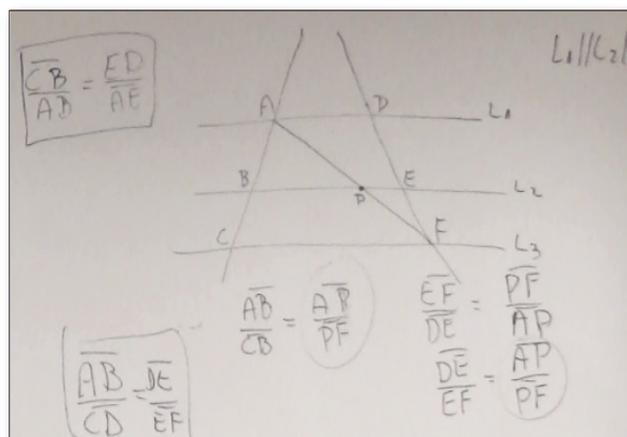


Fig. 4. Trabajo de P1 en el episodio 2.

*Circulación en el ETM idóneo de P1 en el episodio 1.* El trabajo propuesto por P1 es activado por la génesis semiótica. El representamen está dado por la representación inicial de los triángulos semejantes usados como ejemplo para ilustrar (figura 3). El trabajo semiótico implica una conversión del registro figural al registro algebraico, y el proceso de visualización involucra la descomposición de la figura inicial para establecer las relaciones de proporcionalidad de dichos triángulos (a partir de la figura 3, escribe si  $\overline{BE} \parallel \overline{CD}$ , entonces  $\frac{\overline{AC}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{AD}}{\overline{AE}}$ ). Se trata del nivel de visualización no-icónica, pues consiste en diferenciar distintos elementos de la figura (esto es, la descomposición de una figura inicial en unidades figurales). Luego, la coordinación de la representación figural con el registro algebraico le permite realizar el tratamiento que sigue (en la figura 3, escribe  $\frac{\overline{AB} + \overline{CB}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{AE} + \overline{ED}}{\overline{AE}}$ , y las operaciones algebraicas que luego desarrolla).

Asimismo, el trabajo de P1 activa la génesis discursiva, que involucra el referencial (de manera implícita), pues recurre a las definiciones de paralelismo, semejanza de triángulos, segmento y operación de suma de segmentos, y el uso de propiedades de los números reales, para realizar una prueba intelectual con el propósito de establecer una igualdad entre relaciones proporcionales. De esta manera, el plano vertical activado es [Sem-Dis].

Cabe señalar que el error (en una relación de proporcionalidad) cometido al final del trabajo (figura 3) muestra que aborda las operaciones como si se tratara de números racionales sin relacionarlos con la figura inicial, lo que evidencia un cambio de dominio, de geométrico al algebraico.

*Circulación en el ETM idóneo de P1 en el episodio 2.* P1 activa el trabajo en la génesis semiótica. El representamen está dado por la representación figural inicial para ilustrar el teorema de Tales. El proceso de visualización es del nivel de visualización no-icónica, ya que involucra añadir un trazo suplementario a la figura inicial (la recta que pasa por A, P y F en la figura 4). El trazo suplementario es

utilizado como un artefacto simbólico en la construcción de la nueva configuración geométrica (figura 4). Así, en esta fase se activa el plano vertical [Sem-Ins], al entrar en juego de manera relacionada la génesis semiótica (añadir el trazo suplementario) e instrumental (usar el trazo para construir una nueva configuración).

Luego, mediante la visualización no-icónica, se descompone la figura para establecer las relaciones proporcionales entre los triángulos semejantes (figura 4). Esta parte del trabajo implica la conversión entre registro figural y registro algebraico (de modo similar a lo explicado en el episodio 1), y se ponen en coordinación la génesis semiótica con la discursiva en el proceso de prueba. En el referencial se utiliza la definición de semejanza, la relación obtenida del episodio 1 y la propiedad de transitividad de los números reales. La prueba intelectual que exhibe se basa en el referencial y sigue un razonamiento lógico-deductivo. En esta fase del trabajo se activa el plano [Sem-Dis].

### Momento 3

Para caracterizar el ETM idóneo de P1 en la implementación en el aula, se consideran las dos etapas descritas en la sección metodológica. Los datos utilizados provienen de videograbaciones, transcripciones (los fragmentos literales, indicados entre comillas) y observación no participante. Esta sesión consta de tres episodios (tabla 4), los análisis que se presentan consideran los episodios 1 y 2.

Tabla 4.  
Tareas y ejemplificación según episodios

<i>Objetivo declarado por P1: Comprender y resolver ejercicios del teorema de Tales</i>		
<i>Episodio</i>	<i>Tarea (t)</i>	<i>Ejemplificación (e)</i>
1. Usa GeoGebra y calculadora.	$t_1$ : Comparar el valor de la razón de medidas de segmentos entre rectas paralelas y no paralelas con calculadora.	$e_1$ : Representación figural de casos particulares con GeoGebra para verificar la validez del teorema.
2. Realiza tratamientos algebraicos a partir de la semejanza de triángulos.	$t_2$ : Establecer relaciones proporcionales a partir de la igualdad entre razones de segmentos.	$e_2$ : Representación de una figura para ilustrar la semejanza de dos triángulos.
3. Realiza ejercitación sobre la aplicación del teorema de Tales.	$t_3$ : Calcular la medida desconocida de un segmento entre rectas paralelas cortadas por dos rectas secantes.	$e_3$ : Representaciones figurales y preguntas para aplicar y ganar fluidez en el uso del teorema.

*Descripción del trabajo propuesto en el episodio 1.* P1 inicia el trabajo con una figura proyectada en el pizarrón que trae previamente construida en GeoGebra (en la figura 5, tres rectas paralelas cortadas por dos rectas secantes). Cada segmento aparece con su respectiva medida al usar la herramienta de medición aproximada a valores con dos decimales. Luego, P1 señala que estudiarán el teorema de Tales y añade: «Primero lo vamos a ver de forma empírica y después lo vamos a ver a través de una demostración».

P1 recuerda que ya han estudiado la semejanza de triángulos y que harán algo similar en la presente sesión, para lo que recuerda la condición de paralelismo entre lados homólogos de dos triángulos semejantes. Luego, propone a los estudiantes que, con base en las medidas de los segmentos proporcionales de la figura proyectada, obtengan el valor de dos razones (en la figura 5, calculan  $\frac{2,03}{3,09}$  y  $\frac{2,04}{3,11}$ ). Para calcular, los estudiantes utilizan la calculadora de sus teléfonos móviles. P1 pide comparar los valores de cada razón, lo que acompaña diciendo: «¿Me podrían dar el valor de esta fracción?» (los estudiantes dicen 0,657 y 0,656).

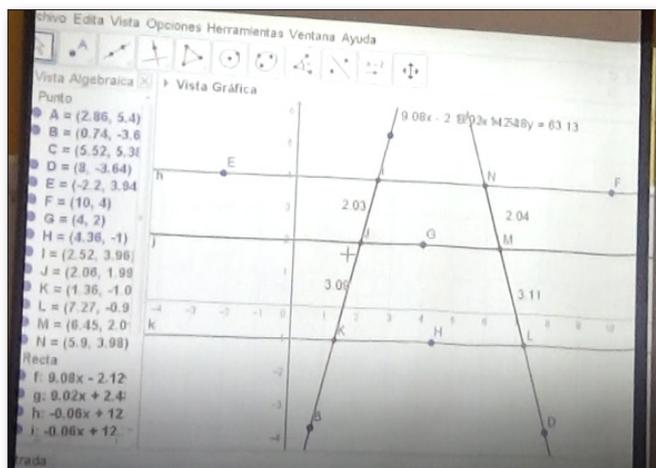


Fig. 5. Trabajo inicial de P1 en el episodio 1.

P1 plantea una nueva situación y pregunta a los estudiantes qué pasaría si desplazara una de las rectas paralelas (manteniendo su dirección), realiza el movimiento de una de las rectas paralelas y propone nuevamente realizar el cálculo con calculadora, y les pregunta: «¿Qué me da la primera fracción?». Los números obtenidos en estos casos son de expresión decimal infinito, lo que no estaba previsto en su trabajo. Aquí los cálculos son dejados inconclusos, pues en una de las razones obtiene  $\frac{2.7}{2.41} = 1.12033\dots$ , mientras que en la otra  $\frac{2.72}{2.43}$  no escribe su expresión decimal (1.11934...). Un estudiante señala que los valores obtenidos no son iguales y P1 menciona que esto se debe a un error de GeoGebra, pues proporciona las medidas con dos decimales.

En una nueva situación, P1 pregunta qué sucederá si las rectas no son paralelas y utiliza el software para intentar mover una de estas (modificando su dirección), pero no lo consigue, pues la construcción (preestablecida) no se lo permite. P1 dibuja a mano alzada una recta no paralela y asigna medidas de manera arbitraria (como se ve en la figura 6). Posteriormente, hacen los cálculos y comprueban que no se verifica la igualdad de razones entre las medidas de los segmentos que se determinan. Finalmente, P1 concluye junto con los estudiantes que para que se verifique el teorema las rectas deben ser paralelas.

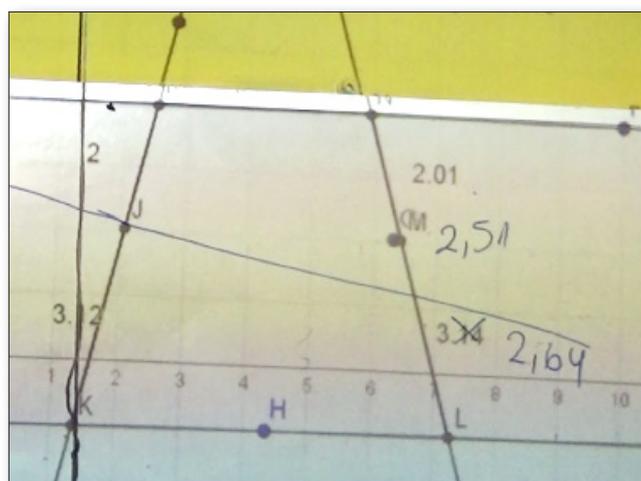


Fig. 6. Imagen de recta dibujada a mano alzada sobre la proyección.

*Descripción del trabajo propuesto en el episodio 2.* P1 indica que es el momento de hacer la demostración: «Yo tengo claro que a muchos no les gusta la demostración, pero a mí me encanta saber de dónde vienen las cosas». El profesor recurre a una figura similar a la usada en el episodio 1 del momento 1, y su trabajo no tiene variaciones con relación a lo presentado en dicha ocasión (figura 7). Sin embargo, indica, aludiendo a razones de tiempo, que no realizará la demostración, y que esta se puede obtener añadiendo un trazo suplementario (con un gesto) y de las propias relaciones de proporcionalidad.

Finalmente, P1 hace hincapié en que el teorema es válido para rectas paralelas y que de no tener esta hipótesis el resultado falla.

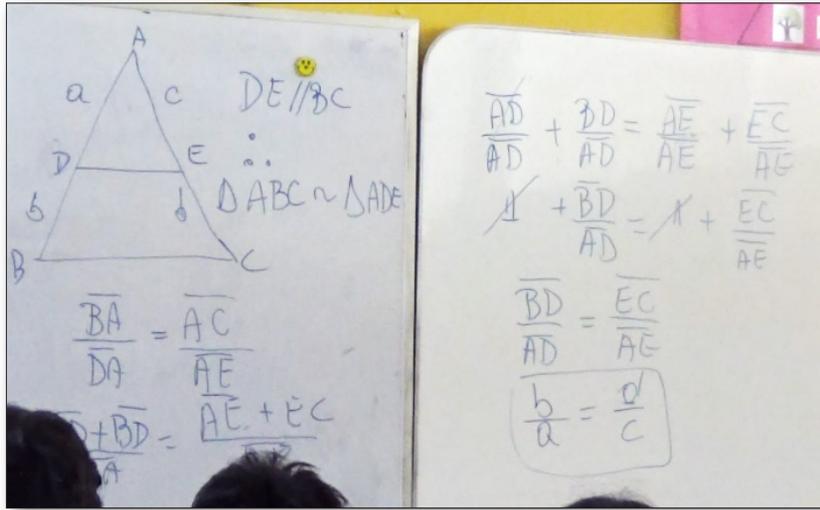


Fig. 7. Trabajo de P1 en el episodio 2.

*Circulación en el ETM idóneo de P1 en el episodio 1.* P1 activa el trabajo desde la génesis semiótica. En el representamen, una representación figural del teorema de Tales es usada como un ejemplo. El proceso de visualización es del nivel de visualización icónica, pues comprende el reconocimiento de ciertas características de la representación figural (en la figura 5, observar las medidas de los segmentos proporcionales en la construcción preestablecida). Asimismo, el trabajo implica la activación de la génesis instrumental, dada por el uso de un artefacto material (calculadora) para verificar la igualdad de los valores de dos razones, y la construcción demanda las técnicas de uso de dicho artefacto. En esta fase del trabajo se activa el plano vertical [Sem-Ins], al entrar en juego la identificación de valores de la figura y el cálculo de los valores de las razones usando calculadora. P1 repite estas acciones (que activan el plano [Sem-Ins]) para verificar la igualdad de los valores de dos razones a través de los distintos ejemplos que presenta a los estudiantes (figura 6).

Como se observa en la descripción del episodio, este trabajo tiene la intención de verificar la validez del teorema basado en el uso de ejemplos para realizar distintos tipos de cálculos. Esto permite observar un tipo de prueba del teorema basado en acciones sobre las figuras para justificar la validación, lo que corresponde a una prueba pragmática. Así, el plano vertical activado es [Sem-Dis], al entrar en juego de manera relacionada las génesis semiótica (acciones sobre las figuras) y discursiva (en la validación).

Asimismo, al mover una de las rectas paralelas se activa la génesis instrumental. Se observa el uso del software como un artefacto material para la construcción de una nueva configuración en el proceso de la prueba, lo cual implica que activa el plano [Ins-Dis]. Esto permite al profesor cuestionar la hipótesis de paralelismo del teorema (y con ello el referencial): «¿qué pasa si yo desplazo una de las paralelas?». Como fue mencionado en la descripción, P1 intenta mover una de las rectas con el software (cuando

cambia de dirección) sin éxito, por lo que la dibuja a mano alzada en el pizarrón. Además, usa la calculadora para verificar que los valores son distintos y, con ello, verificar la condición de paralelismo. Cabe señalar aquí que se observa una dificultad en la génesis instrumental asociada al uso de las herramientas del software y, también, cuando deja los cálculos inconclusos y sin justificar, lo que acompaña con la afirmación: «¡Qué raro!, pero eso tiene que ser un error, básicamente del GeoGebra».

*Circulación en el ETM idóneo de P1 en el episodio 2.* En este episodio, el análisis es similar al realizado para las relaciones proporcionales del episodio 1 en el momento 1 (figura 7). Es decir, el trabajo de P1 es activado por la génesis semiótica. El representamen está dado por la representación inicial de los triángulos semejantes y el proceso de visualización es del nivel de visualización no-icónica, pues involucra la descomposición de la figura inicial. Luego, el trabajo semiótico implica una conversión del registro figural al registro algebraico, centrado en el tratamiento de operaciones (algebraicas), e involucra el referencial (de manera implícita), por el uso de definiciones y propiedades, para probar una igualdad entre relaciones proporcionales. De esta manera, el plano vertical activado es [Sem-Dis].

Finalmente, P1 solo presenta la tesis del teorema de Tales como una consecuencia de la semejanza de triángulos; con un gesto se refiere al trazo suplementario que utilizó para probar en el episodio 2 del momento 1 y menciona la hipótesis de paralelismo. En consecuencia, en el episodio 2 no se observa un trabajo de prueba del teorema de Tales, y el énfasis para P1, más que favorecer procesos cognitivos diversos (asociados al teorema) y relacionar con otros contenidos matemáticos, es resolver tareas de aplicación del teorema para ganar fluidez en su uso (figura 8), lo cual desarrolla en el episodio 3 (que no se analiza, ya que se trata únicamente de tareas de ejercitación).

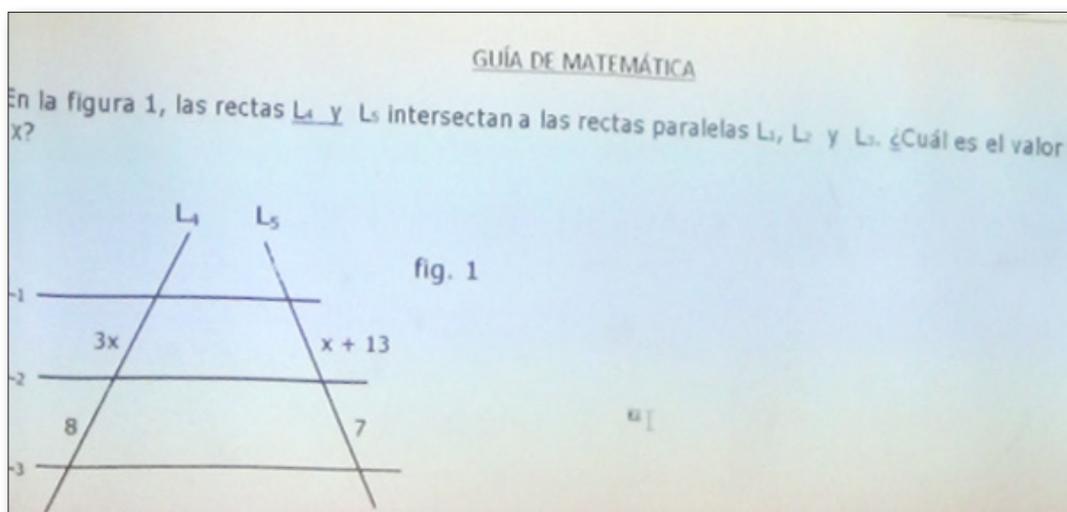


Fig. 8. Tarea presentada por P1 en el episodio 3.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados muestran cómo las génesis, componentes y planos verticales son activados en el ETM idóneo del profesor cuando usa tareas y ejemplos en el aula. La tabla 5 resume los análisis según cada episodio en los momentos 1 y 3.

Tabla 5.  
Resumen del ETM idóneo de P1

Momento y episodio		Tipificación de las génesis, componentes y planos verticales activados						
		Génesis semiótica		Génesis instrumental		Génesis discursiva		Plano vertical
		Representamen	Visualización	Artefacto	Construcción	Referencial	Prueba	
Momento 1	Episodio 1	X	X (no-icónica)			X (implícito)	X (intelectual)	[Sem-Dis]
	Episodio 2	X	X (no-icónica)	X (simbólico)	X	X	X (intelectual)	[Sem-Ins] [Sem-Dis]
Momento 3	Episodio 1	X	X (icónica)	X (material)	X	X	X (pragmática)	[Sem-Ins] [Sem-Dis] [Ins-Dis]
	Episodio 2	X	X (no-icónica)			X (implícito)	X (intelectual)	[Sem-Dis]

Como se observa en el primer episodio del momento 1 y en el segundo episodio del momento 3, el foco del trabajo está en la génesis semiótica; P1 privilegia los tratamientos y operaciones algebraicas a partir de una representación geométrica, más que en una intención discursiva en la prueba realizada (igualdad entre relaciones proporcionales) o en el uso de algún tipo de artefacto para la construcción geométrica. El referencial aparece sin que sea explícito en su trabajo; también constatamos un cambio de dominio, de la geometría por el álgebra, y un error en el primer episodio que atribuimos al énfasis que otorga a las operaciones algebraicas sin retorno al trabajo geométrico inicial.

Del análisis de los episodios mencionados en el párrafo anterior, constatamos que, aun cuando el profesor se muestra dispuesto a cambiar aspectos de su trabajo durante el desarrollo del taller formativo (como incluir un episodio con uso de software), el trabajo desarrollado y el énfasis en los tratamientos algebraicos parecen no ser alterados ni cuestionados. En este sentido, P1 menciona en ambos momentos (1 y 3) el rol importante que atribuye al uso del teorema de Tales para la ejercitación algebraica.

Del párrafo precedente no se intenta relegar la importancia del álgebra ni de los tratamientos que podrían ser propiciados en dicho dominio matemático, sino que resaltamos la importancia del trabajo geométrico y el desarrollo de propuestas intencionadas para la enseñanza que favorezcan diversas interacciones entre las génesis semiótica, instrumental y discursiva.

En los episodios 2 y 1 de los momentos 1 y 3, respectivamente, observamos diferencias en cuanto a la visualización, uso de los artefactos y la prueba. Mientras que en el episodio 2 del momento 1 el trazo suplementario que añade P1 en la figura corresponde a un artefacto simbólico que usa para realizar la prueba intelectual, sin la intención de justificar su uso, en el episodio 1 del momento 3 el artefacto empleado es de tipo material y se usa para mover la recta paralela que le permite preguntar sobre la validez del teorema, lo cual tiene una intención en la prueba pragmática. Es interesante observar que, en estos casos, se da una relación entre visualización no-icónica, artefacto simbólico y prueba intelectual (episodio 2 del momento 1) y visualización icónica, artefacto material y prueba pragmática (episodio 1 del momento 3). Este tipo de actividades requieren coordinación de los procesos de visualización, construcción y prueba, así como también la relación entre distintos registros de representación semiótica (Duval, 1995, 2016), y una gestión intencionada en el diseño del ETM idóneo del profesor, por lo que explorar en el diseño de tareas y selección de ejemplos adecuados en esta línea podría ser un camino en el que profundizar.

Los resultados en cuanto al proceso de visualización que P1 privilegia en los momentos analizados indican que hay un predominio de la visualización no-icónica asociada a la descomposición de la figura. En este sentido, consideramos relevante realzar el diseño y uso de diversas tareas para el aula que involucren otras operaciones con las figuras asociadas con este nivel de visualización (Duval, 2016),

como la construcción de figuras usando artefactos, la descomposición heurística de las figuras y la deconstrucción dimensional desarrollada en coordinación con la prueba.

Con respecto a los resultados vinculados con la génesis discursiva y los componentes que esta articula (referencial y prueba), las evidencias muestran que se trata de un aspecto del trabajo en ocasiones implícito (referencial) y centrado en tratamientos algebraicos (para probar la igualdad entre relaciones proporcionales), o bien asociado a una prueba pragmática con el uso que le otorga al software, que deja poco espacio a la justificación. Estos aspectos no deben ser analizados como componentes que funcionan de manera aislada, pues están vinculados al tipo de trabajo geométrico y las interacciones entre las génesis que P1 ha privilegiado. Asimismo, las tareas y ejemplos que emplea cumplen un rol relevante en este sentido, pues son las que activan esta forma de trabajo matemático.

La demostración parece desempeñar un rol importante para P1, según declara. Sin embargo, no se observa la demostración del teorema de Tales en el sentido de Balacheff (1987) (quien atribuye a la demostración un estadio más desarrollado que la prueba), sino que realiza pruebas intelectuales que le permiten establecer relaciones proporcionales centradas en tratamientos algebraicos (P1 lo denomina *demostración* del teorema de Tales).

De los resultados presentados en el episodio 1 del momento 3, en los que P1 presenta una tarea que implica el uso de tecnología, resaltamos la intención de modificar aspectos de su enseñanza. No obstante, el potencial dinámico que ofrece el software y los procesos implicados a partir de la génesis instrumental son escasamente propiciados por el profesor, lo que incluso lleva a evidenciar dificultades asociadas con su uso. Así, las evidencias empíricas dan cuenta de que el trabajo de P1 se limita a: *ver* los datos numéricos de una figura dada sin la posibilidad de construir o descomponer; realizar algunos cálculos con calculadora sin la posibilidad de usar el arrastre para explorar nuevas configuraciones, y realizar una prueba pragmática sin dar énfasis a la justificación o la conjetura. En este sentido, consideramos que el uso de este tipo de artefacto podría ser mejor gestionado, aun cuando los estudiantes no dispongan de un computador en la clase, pues las tareas podrían ser más desafiantes para los estudiantes en relación con el uso de instrumentos.

De lo anterior, se trata de una oportunidad para favorecer procesos cognitivos diversos asociados al uso del software, pudiendo implicarse distintos tipos de arrastre con diferentes propósitos en la solución de problemas abiertos (Hözl, 1995; Arzarello, Olivero, Paola y Robutti, 2002). Para ello, se deben diseñar tareas (problemas) abiertas que favorezcan la exploración, la conjetura, el reconocimiento de invariantes, etc., en coordinación con razonamientos discursivos u otras formas de pruebas, como las pruebas discursivo-gráficas (Richard, 2004). En la perspectiva del ETM, el trabajo se podría propiciar a partir de tareas que activan los planos verticales [Sem-Ins], para explorar figuras sin una intención de validación, o bien [Ins-Dis] para justificar construcciones, validar o refutar conjeturas (esto también implica la activación de otras génesis y componentes).

En cuanto a la selección de ejemplos que usa P1, destacamos que estos privilegian las representaciones figurales para ilustrar un concepto (episodio 1 en los momentos 1 y 3) o un teorema (episodio 2 del momento 1) y para verificar la validez de un teorema (episodio 1 del momento 3).

Considerando los resultados de los momentos 1 y 3 (donde el primero es una simulación en la que P1 muestra en el taller su trabajo habitual relacionado con la enseñanza del teorema, y en el tercero implementa modificaciones en el aula –con estudiantes– como fruto de la reflexión en el taller), destacamos que P1 presenta el teorema como una consecuencia de la semejanza de triángulos, y su énfasis, más que en favorecer procesos cognitivos diversos y relacionar con otros contenidos matemáticos el teorema en juego, está en los tratamientos algebraicos y en resolver tareas para ganar fluidez en su uso (figura 8).

Consideramos que el proceso de análisis seguido, con la identificación de episodios, tareas y ejemplos y los elementos de ETM activados, nos ha permitido lograr el objetivo de la investigación, carac-

terizando el ETM idóneo propuesto por el profesor para la enseñanza del teorema de Tales. Así, hemos explorado las génesis, componentes y planos verticales activados, lo que nos ha permitido comprender el trabajo del profesor e identificar dificultades vinculadas con la enseñanza del teorema.

Las limitaciones del estudio se relacionan con la recolección de datos provenientes del trabajo matemático de profesores de un único liceo que participaron en un taller formativo, por lo cual en futuras investigaciones se podría explorar con profesores pertenecientes a otros contextos. Asimismo, existen limitaciones asociadas al diseño de caso único, y saber si obtendríamos resultados similares con otros profesores. Si este fuera el camino de una futura investigación, consideramos que el diseño metodológico de esta investigación podría utilizarse para realizar estudios comparativos entre profesores, o bien, en un diseño de caso múltiple.

A nuestro parecer, este trabajo puede contribuir al desarrollo de actividades de formación del profesorado que propicien la reflexión y mejoras en su desempeño. Asimismo, de los resultados planteamos la necesidad de generar instancias focalizadas en el uso de herramientas tecnológicas que faciliten su gestión para la enseñanza y el aprendizaje, tendientes a aprovechar su potencial dinámico en el diseño de tareas y ejemplos pertinentes para su implementación en el aula. Por otra parte, reivindicamos la necesidad de favorecer la articulación entre el conocimiento teórico (en este caso el ETM) con la práctica de los profesores, a fin de diseñar, adaptar e implementar propuestas para la enseñanza de la matemática apropiadas al contexto y a los objetivos trazados para el trabajo en el aula.

Finalmente, aunque reconocemos que el uso de tareas y ejemplos puede ser espontáneo o planificado, y que su diseño y formas de abordarlos no pueden verse como dimensiones disociadas (Coles y Brown, 2016; Lozano, 2017), planteamos la necesidad de realizar investigación que contribuya con un cuerpo de conocimiento asociado tanto a su diseño y selección, como a su adaptación e implementación en el aula para fortalecer el conocimiento matemático y didáctico de los profesores. Este tipo de análisis, desde la perspectiva del ETM, permite poner el foco en el tipo de trabajo matemático que se propone en relación con dotar de significado a los objetos matemáticos, la construcción basada en el uso de artefactos y los razonamientos discursivos, aportando una perspectiva complementaria a las usadas en otras investigaciones (Chevallard, 1999; Espinoza-Vásquez et al., 2018; Rowland et al., 2005; Zodik, y Zaslavsky, 2008).

## AGRADECIMIENTOS

C. Henríquez Rivas agradece el financiamiento al Convenio Marco FID-TAL 1856, de la Universidad de Talca.

Los autores agradecen a los revisores y al editor Dr. Ángel Gutiérrez por sus comentarios y sugerencias que ayudaron a mejorar la versión anterior del artículo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arzarello, F., Olivero, F., Paola, D. y Robutti, O. (2002). A cognitive analysis of dragging practises in Cabri environments. *ZDM Mathematics Education*, 34(3), 66-72.  
<https://doi.org/10.1007/BF02655708>
- Badillo Jiménez, E., Figueiras, L., Font, V. y Martínez, M. (2013) Visualización gráfica y análisis comparativo de la práctica matemática en el aula. *Enseñanza de las Ciencias* 31(3), 207-225.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n3.986>

- Balacheff, N. (1987). Processus de preuve et situations de validation. *Educational Studies in Mathematics*, 18(2), 147-176.  
<https://doi.org/10.1007/BF00314724>
- Balacheff, N. (2000). *Procesos de prueba en los alumnos de matemáticas* (Trad. Pedro Gómez). Bogotá: Una empresa docente, Universidad de los Andes.
- Becker, J. P. y Shimada, S. (1997). *The open-ended approach: A new proposal for teaching mathematics*. Virginia: National Council of Teachers of Mathematics.
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19(2), 221-266.
- Christiansen, B. y Walter, G. (1986). Task and activity. En B. Christiansen, A.-G. Howson y M. Otte (Eds.), *Perspectives on mathematics education: Papers submitted by members of the Bacomet Group* (pp. 243-307). Dordrecht: D. Reide.
- Coles, A. y Brown, L. (2016). Task design for ways of working: making distinctions in teaching and learning mathematics. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 19, 149-168.  
<https://doi.org/10.1007/s10857-015-9337-4>
- Denzin, N. K. (1978). *The Research Act: A Theoretical Introduction to Sociological Method* (2.<sup>a</sup> ed.). Nueva York: McGraw-Hill.
- Duval, R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine. Registres sémiotiques et apprentissages intellectuels* (Trad. Myriam Vega). Berne: Peter Lang.
- Duval, R. (2005). Les conditions cognitives de l'apprentissage de la géométrie: développement de la visualisation, différenciation des raisonnements et coordination de leur fonctionnements. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 10, 5-53.
- Duval, R. (2016). Las condiciones cognitivas del aprendizaje de la geometría. Desarrollo de la visualización, diferenciaciones de los razonamientos, coordinación de sus funcionamientos. En R. Duval y A. Sáenz-Ludlow (Eds.), *Comprensión y aprendizaje en matemáticas: perspectivas semióticas seleccionadas* (pp. 13-60). Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Espinoza-Vázquez, G., Zakaryan, D. y Carrillo Yáñez, J. (2018). El conocimiento especializado del profesor de matemáticas en el uso de la analogía en la enseñanza del concepto de función. *Relime*, 21(3), 301-324.  
<https://doi.org/10.12802/relime.18.2133>
- Flores-González, M. y Montoya Delgadillo, E. (2016). Artefacto y espacio de trabajo matemático en la multiplicación de números complejos. *Educación Matemática*, 28(2), 85-117.
- Gómez-Chacón, I. M., Kuzniak, A. y Vivier, L. (2016). El rol del profesor desde la perspectiva de los Espacios de Trabajo Matemático. *Bolema*, 30(54), 1-22.  
<https://doi.org/10.1590/1980-4415v30n54a01>
- Henríquez-Rivas, C. y Montoya-Delgadillo, E. (2015). Espacios de trabajo geométrico sintético y analítico de profesores y su práctica en el aula. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(2), 51-70. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1408>
- Hölzl, R. (1995). Between drawing and figure. En R. Sutherland y J. Mason (Eds.), *Exploiting Mental Imagery with Computers in Mathematical Education* (pp. 117-124). Berlín: Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-57771-0\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-57771-0_8)
- Huntley, R. (2013). Pre-service primary teachers' choice of mathematical examples: Formative analysis of lesson plan data. En V. Steinle, L. Ball y C. Bardini (Eds.), *Mathematics education: Yesterday, today and tomorrow. Proceedings of the 36th annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia*. (pp. 394-401). Melbourne: MERGA.
- Kuzniak, A. (2011). L'espace de travail mathématique et ses genèses. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 16, 9-24.

- Kuzniak, A. (2018). Thinking About the Teaching of Geometry Through the Lens of the Theory of Geometric Working Spaces. En P. Herbst et al. (Eds.), *International Perspectives on the Teaching and Learning of Geometry in Secondary Schools, ICME-13 Monographs* (pp. 5-21). Cham: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77476-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77476-3_2)
- Kuzniak, A. y Richard, P. (2014). Espaces de travail mathématique: puntos de vista y perspectivas. *Relime*, 17(4-I), 5-15. <https://doi.org/10.12802/relime.13.1741a>
- Kuzniak, A., Tanguay, D. y Elia, I. (2016). Mathematical Working Spaces in schooling: an introduction. *ZDM Mathematics Education*, 48, 721-737. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0812-x>
- Lozano, M. D. (2017). Investigating task design, classroom culture, and mathematics learning: An enactivist approach. *ZDM Mathematics Education*, 49, 895-907. <https://doi.org/10.1007/s11858-017-0890-4>
- Margolinas, M. (2013). *Task Design in Mathematics Education*. Proceedings of ICMI Study 22. Oxford.
- Mason, J. y Johnston-Wilder, S. (2006). *Designing and Using Mathematical Tasks*. St. Albans: Tarquin Publications.
- Mineduc. (2015). *Bases Curriculares. 7.º Básico a 2.º Medio*. Santiago: Autor.
- Montoya-Delgadillo, E., Mena-Lorca, A. y Mena-Lorca, J. (2014). Circulaciones y génesis en el espacio de trabajo matemático. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 17(4-I), 181-197. <https://doi.org/10.12802/relime.13.1749>
- Montoya Delgadillo, E. y Vivier, L. (2014). Les changements de domaine dans le cadre des espaces de travail mathématique. *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 19, 73-101.
- Montoya Delgadillo, E. y Vivier, L. (2016). Mathematical working space and paradigms as an analysis tool for the teaching and learning of analysis. *ZDM Mathematics Education*, 48, 739-754. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0777-9>
- Morales, H. (2018). Influencia de un Proceso de Formación de Profesores en el Sistema de Enseñanza del Concepto de Área en Estudiantes de Pedagogía en Matemáticas, un Estudio de Caso. *Bolema*, 32(62), 1050-1067. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v32n62a15>
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Une approche cognitive des instruments contemporains*. París: Armand Colin.
- Richard, P. (2004). *Raisonnement et stratégies de preuve dans l'enseignement des mathématiques*. Berna: Peter Lang.
- Rowland, T., Huckstep, P. y Thwaites, A. (2005). Elementary teachers' mathematics subject knowledge: The knowledge quartet and the case of Naomi. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 8(3), 255-281. <https://doi.org/10.1007/s10857-005-0853-5>
- Watson, A. y Mason, J. (2005). *Mathematics as a constructive activity. Learners Generating Examples*. Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers.
- Watson, A. y Mason, J. (2007). Taken-as-shared: A review of common assumptions about mathematical tasks in teacher education. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 10(4-6), 205-215. <https://doi.org/10.1007/s10857-007-9059-3>
- Watson, A. y Thompson, D. (2015). Design Issues Related to Text-Based Tasks. En A. Watson y M. Ohtani (Eds.), *Task Design in Mathematics Education. An ICMI study 22* (143-190). Cham: Springer. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-09629-2>

- Yin, R. K. (2009). *Case study research. Design and methods* (4.<sup>a</sup> ed.). Thousand Oaks: SAGE Publications INC.
- Zakaryan, D., Estrella, S., Espinoza-Vásquez, G., Morales, S., Olfos, R., Flores-Medrano, E. y Carrillo J. (2018). Relaciones entre el conocimiento de la enseñanza y el conocimiento de las características del aprendizaje de las matemáticas: caso de una profesora de secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(2), 105-123.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2260>
- Zaslavsky, O. (2010). The Explanatory Power of Examples in Mathematics. En M. Stein y L. Kucan (Eds.), *Instructional Explanations in the Disciplines* (pp. 107-128). Nueva York: Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0594-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0594-9_8)
- Zodik, I. y Zaslavsky, O. (2008). Characteristics of teachers' choice of examples in and for the mathematics classroom. *Educational Studies in Mathematics*, 69(2), 165-182.  
<https://doi.org/10.1007/s10649-008-9140-6>

---

# Mathematical work of a teacher based on tasks and examples proposed for teaching

Carolina Henríquez Rivas  
Facultad de Ciencias de la Educación,  
Universidad de Talca, Talca, Chile  
cahenriquez@utalca.cl

José Carrillo Yáñez, Nuria Climent  
Departamento de Didácticas Integradas,  
Universidad de Huelva, Huelva, España  
carrillo@uhu.es, climent@uhu.es

Rodrigo Ponce  
Instituto de Matemáticas,  
Universidad de Talca, Talca, Chile  
rponce@inst-mat.utalca.cl

Gonzalo Espinoza-Vásquez  
Instituto de Matemáticas,  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile  
gonzalo.espinoza.v@gmail.com

This article addresses a problem related to the use of tasks and examples that teachers propose in the classroom. The aim of the research is to characterize the mathematical work proposed by a teacher from the tasks and examples he or she considers for the teaching of Thales' theorem.

To analyze the mathematical work, the framework of the mathematical work space (MWS) is used (Kuzniak, 2011). Specifically, the suitable MWS for a teacher, understood as the way in which a mathematical content is designed, adapted and proposed in the classroom.

The research proposes a case study based on a unique case design (Yin, 2009), which considers as a unit of analysis the mathematical work proposed by a secondary school teacher in the context of a training experience. For data collection, video recordings and transcriptions, participant and non-participant observation are considered. The characterization of the teacher's suitable MWS is carried out in two stages: 1) identification of episodes of the session, tasks and use of examples for teaching, and description of the proposed and adjusted work; 2) analysis of the circulation in the teacher's suitable MWS carried out on the basis of the information in stage 1.

The results reveal the privilege of treatments and algebraic operations based on figurative representations, little emphasis on justifications, and a proposed change involving the use of technological tools, where their dynamic potential is little used by the teacher, leading to evidence of difficulties associated with their use.

The discussion raises the use of technological artifacts and their organization and management in the classroom, where it is emphasized that the tasks could be more challenging for students in relation to their use, to promote diverse cognitive processes, being able to involve different types of dragging with different purposes in the solution of open tasks, which promote exploration, conjecture, recognition of invariants, etc., in coordination with discursive reasoning, or other forms of evidence.

Finally, in relation to the use of tasks and examples, their design and ways of approaching them cannot be dissociated dimensions. The authors raise the need to carry out research that contributes with a body of knowledge associated both with its design and selection, and with its adaptation and implementation in the classroom to strengthen the mathematical and didactic knowledge of teachers. This type of analysis, from the perspective of the MWS, allows putting the focus on the type of mathematical work proposed in relation to giving meaning to mathematical objects, construction based on the use of artifacts and discursive reasoning, contributing a complementary perspective to those used in other pieces of research.



# Superación de dificultades en el aprendizaje de la ecuación de Bernoulli con experimentos discrepantes

## Introducing discrepant experiments for understanding Bernoulli's principle in the classroom

Luis Hernando Barbosa

*Depto. de Ciencias Naturales, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, Universidad Central, Bogotá, Colombia.*

[lbarbosab@ucentral.edu.co](mailto:lbarbosab@ucentral.edu.co)

**RESUMEN** • En este trabajo se presenta una investigación en enseñanza de la física general en la que la ecuación hidrodinámica de Bernoulli es instruida en tres cursos de estudiantes de ingeniería con un método activo que incorpora el uso de experimentos discrepantes. Para determinar el aprendizaje de tal ecuación se usa el pre/postest con un cuestionario sobre la ecuación previamente validado en el marco de la teoría clásica del test. El aprendizaje de la ecuación se analiza con la ganancia de Hake indicando la efectividad del método. Para revelar el cambio conceptual en la población intervenida y de control se usan los vectores de evolución de Bao. Se ha encontrado que el método activo presenta mayores ganancias que el método tradicional en más del doble del valor. Además, los vectores de Bao revelan que el grupo con método activo tuvo una mejor evolución conceptual que el grupo control.

**PALABRAS CLAVE:** Ecuación hidrodinámica de Bernoulli; Experimentos discrepantes; Ganancia normalizada; Vectores de Bao; Enseñanza de la física.

**ABSTRACT** • This paper presents an investigation in general physics teaching in which the Bernoulli hydrodynamic equation is taught in three courses of engineering students with an active method that incorporates the use of discrepant experiments. To determine the learning of such an equation, we used the pre/post-test with a test on the equation previously validated in the framework of the classical theory of the test. We analyzed the learning of the equation with the Hake gain indicating the modification of the method. Bao's evolution vectors are used to reveal the conceptual change in the operated and control population. The active method has been found to have higher returns than the traditional method at more than double the value. Furthermore, the Bao vectors reveal the group with active method had a better conceptual evolution than the control group.

**KEYWORDS:** Bernoulli hydrodynamic equation; Discrepant experiments; Normalized gain; Bao vectors; Physics teaching.

Recepción: febrero 2020 • Aceptación: abril 2020 • Publicación: junio 2021

## INTRODUCCIÓN

La ecuación de Bernoulli sirve como mecanismo de explicación de un variado conjunto de fenómenos que involucran fluidos confinados en movimiento. Guillen (1992) la cataloga como una de esas ecuaciones influyentes y la denomina la ley de presión hidrodinámica. Una interpretación didáctica del concepto que subyace tras la ecuación de Bernoulli fue hecha por Bauman (1994), donde resalta que es una regularidad de la naturaleza que surge de la suma de tres cantidades con dimensiones de presión cuyo resultado es una constante. Asimismo, Bauman (2000) critica el modo de deducción de la ecuación en algunos textos universitarios y presenta una deducción alternativa de la ecuación desde la segunda ley de Newton.

Respecto al uso de la ecuación para explicar algunos fenómenos, Barbosa (2013) hace un inventario de situaciones que pueden ser explicadas mediante esta ecuación. Sin embargo, a pesar de lo importante que puede ser la ecuación de Bernoulli, no hay estudios sobre su instrucción en comunidades de aprendizaje de la física universitaria. En una revisión de dos décadas que hace Mc Dermott (1999) sobre el bajo aprendizaje que logran los estudiantes, después de realizar cursos de Física, no se enuncian estudios que aborden el aprendizaje de esta importante ecuación. Hay varios trabajos, como Weltner (2011) y Martín (1983), que reconocen una serie de posibles malentendidos que se usan como aplicaciones para introducir tal ecuación, pero sin un trabajo de campo que valide tal información. Hay un estudio de reconocimiento de las dificultades de los estudiantes sobre la ecuación de Bernoulli con trabajo de campo, pero a nivel de bachillerato (Vega, 2017). En general, hay ausencia de estudios experimentales y, por ende, se necesitan estudios que evidencien el aprendizaje de la ecuación de Bernoulli en poblaciones de estudiantes, así como metodologías innovadoras que motiven y movilicen a estudiantes para asimilar el concepto que subyace tras esta ecuación.

En respuesta a lo anterior, se plantea una metodología activa que incorpora experimentos discrepantes (ExD) para ser abordados con el método activo de Sokoloff (2006): predicción, observación, discusión y síntesis (PODS), usado ampliamente en *workshops* de aprendizaje de la óptica y la fotónica. La razón de usar ExD es porque se asume que las bondades pedagógicas que ofrecen estos montajes pueden ser extendidas para instruir la ecuación en mención. Por ejemplo, Barbosa (2008) reporta que la disonancia que origina un ExD es un motor adecuado para generar un ambiente que favorece el aprendizaje de conceptos de la física. Por consiguiente, se plantea una metodología activa que reúne las bondades de los ExD y el método activo PODS, por eso se ha denominado PODS-ExD. Entonces, el propósito de este artículo es presentar una experiencia de implementación de esta metodología sobre una población de estudiantes de primeros semestres de Ingeniería en la asignatura «Física 1».

Ya que el objetivo de esta investigación fue dilucidar qué método es más efectivo para lograr un mejor cambio conceptual, se compara «PODS-ExD» con el «método tradicional» midiendo con dos variables estadísticas propias de la escuela americana de profesores de física: la ganancia normalizada de Hake (1998) y los vectores de evolución de Bao (2001). Primero se aborda el diseño y planteamiento de la metodología que se va a probar, y luego se construye un material que sirva para controlar y mediar la interacción de los estudiantes en la población intervenida. Para obtener información del estado de comprensión sobre la ecuación de Bernoulli se aplica un cuestionario, previamente construido y validado en el marco de la teoría clásica del test por Barbosa (2013), tanto a los cursos experimentales como a los de control. Se acciona durante una semana con la metodología PODS-ExD con una secuencia de ExD sobre la ecuación de Bernoulli en tres grupos experimentales de dos universidades. Al mismo tiempo, en dos grupos control, se instruye la ecuación con el método tradicional, explicando la ecuación y resolviendo ejercicios como se hace con esta metodología. Finalmente, se aplica el mismo cuestionario a las poblaciones experimentales y de control. Con la información capturada en el pretest/postest se procede a calcular la ganancia y los vectores de evolución para luego analizar los resultados.

Por último, es importante llamar la atención de que el libro de texto es considerado como una herramienta indispensable y de uso generalizado en las clases de ciencias (Otero, 1990). Aun cuando se utilicen recursos didácticos elaborados por los propios docentes, el profesor siempre se preocupa de proporcionar al estudiante una bibliografía recomendable, con la que se determina el nivel del curso y el tipo de actividades que han de emplearse para enseñar y evaluar el aprendizaje (Goncari y Giorgi, 2000). Así, tanto en bachillerato como en la universidad los libros de texto marcan cierta pauta en las actividades docentes (Bullejos, 1983). Anderson y Boticelli (1990) establecen que la comprensión de un texto escrito es un proceso dinámico que incluye la interacción entre el procesamiento de la información contenida en la memoria del sujeto y la composición y organización del material escrito. Malaver et al. (2004) y Alomá y Malaver (2007), respectivamente, encuentran que, aunque el conocimiento científico se presenta en los textos en términos de principios, leyes y teorías, contienen un número relevante de conceptos e ideas con muchas imprecisiones, lo que podría inducir en el estudiante falsas concepciones.

En lo que sigue del artículo, en la sección 2, se plantea una perspectiva teórica de los elementos que sustentan esta investigación; en la sección 3 se describen los observables de medición del aprendizaje: la ganancia promedio normalizada de Hake y los vectores de evolución de Bao; en la sección 4 se caracteriza la población y se describe el trabajo de campo de esta investigación; en la sección 5 se muestran y analizan los resultados obtenidos desde los observables medidos con información tomada desde el pretest/postest con el cuestionario de Bernoulli ya mencionado; finalmente, se presentan las conclusiones de esta investigación.

## MARCO TEÓRICO

A continuación, se reconocen algunos elementos teóricos que son sustento de esta investigación. Por ejemplo, la ecuación de Bernoulli, su validez, la metodología PODS usada, lo que se entiende por un ExD y los modelos alternativos de los estudiantes que se intervinieron.

*La ecuación de Bernoulli.* Esta ecuación matematiza una regularidad de un variado conjunto de fenómenos de la naturaleza que se puede categorizar como una ley, según Kamela (2007). Su validez implica que se cumple para un fluido estacionario libre de viscosidad, no rotatorio e incompresible. La ecuación corresponde a:

$$P_i + \rho gh_i + \frac{1}{2} \rho v_i^2 = \text{Constante} \quad (1)$$

Dice Bauman (1994) que el primer término algebraico corresponde a la presión estática, el segundo a la presión gravitacional y el tercero al término de presión cinética. La suma de estos tres términos de presión para una línea del flujo siempre da una constante. Para un flujo horizontal, se apaga el término gravitacional y la relación para las dos variables «presión» y «rapidez», de los términos que quedan, sirve como mecanismo de explicación de un fascinante conjunto de fenómenos de fluidos confinados y en movimiento. Algunos fenómenos se reportan en artículos de Barbosa (2013) y Brown (2011).

Es importante remarcar que la ecuación de Bernoulli es válida en la aproximación del modelo de un fluido continuo. Este modelo es descrito por Peralta (2007) como:

Cualquier fluido (agua o aire) forma una estructura continua y suave al estudiarse macroscópicamente, es decir, en dimensiones mayores a décimas de milímetro ( $0,1 \text{ mm} = 10^{-4} \text{ m}$ ). En un volumen de un cubo de  $0,1 \text{ mm}$  de lado, de una millonésima de litro ( $10^{-12} \text{ m}^3$ ), hay cerca de  $10^{15}$  moléculas de aire, a una tempe-

ratura de 27 °C y a presión atmosférica! En este volumen, tan pequeño como parece, hay tal cantidad de moléculas que la presencia de unos millones de más o de menos no afecta de manera apreciable ninguna cantidad medible, aun con instrumentos precisos.

*Experimentos discrepantes (ExD).* Un ExD es un montaje experimental que al accionarlo vislumbra un evento contraintuitivo para la mayoría de los estudiantes, según Barbosa (2008) y Liem (1982). Por ejemplo, al entrevistar a un grupo de estudiantes sobre el movimiento vertical de un objeto, la mayoría ha visto caer objetos hacia abajo. El hecho no es sorprendente. Sin embargo, si ellos observaran que un objeto que esperan que caiga hacia abajo se mueve hacia arriba, sería un hecho completamente diferente; llamaría su atención. Sería un evento contrario a lo que su intuición espera. En este caso, el fenómeno sería, para la mayoría de los estudiantes, un evento discrepante. Un ejemplo real que ilustra esta idea se da cuando se sostiene un embudo con una esfera de poliestireno dentro y se sopla por el tubo del embudo. Muchos estudiantes esperan que la esfera salga disparada por el soplo, pero la esfera permanece en el embudo (véase figura 1). Incluso si se sopla, manteniendo la parte ancha del embudo hacia abajo, la esfera no cae verticalmente hasta que se deja de soplar, y esta discrepancia es desconcertante para la mayoría de los estudiantes. De cierta manera, se denomina experimento discrepante porque cuando se acciona sus eventos discrepan con el sentido común de la mayoría de los observadores.



Fig. 1. Cuando los estudiantes soplan a través del embudo, ellos predicen que la esfera de poliestireno saldrá disparada. Sin embargo, la esfera permanece en el embudo, incluso si se inclina verticalmente. Cuando no se sopla la bola cae.

Predicción, observación, discusión, síntesis (PODS). Es una metodología de aprendizaje activo de la física que fue desarrollada por Sokoloff (2006). La estrategia consiste en un ciclo de cuatro pasos en los que el profesor inicia describiendo el montaje sin accionarlo. Se pide a los estudiantes que realicen sus predicciones en forma escrita sobre lo que sucederá cuando se accione el montaje. Se acciona el montaje y los estudiantes deben observar qué sucede. Luego, los estudiantes deben discutir en pequeños subgrupos sobre el fenómeno. Finalmente, el profesor tiene que hacer participar a los estudiantes para llegar a un consenso y sintetizarlo con una explicación de acuerdo con la teoría de la física que explique el fenómeno, según Sokoloff et al. (2006; 1997). La estrategia se puede extender o reducir en pasos, pero en este estudio se usaron los cuatro pasos de predicción, observación, discusión y síntesis del ciclo. Esta estrategia se puede usar con cualquier tipo de experimento real, pero también podría usarse con una situación grabada en vídeo, con experimentos virtuales, etc.

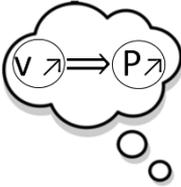
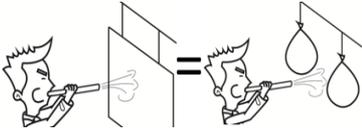
*Ideas previas de los estudiantes sobre la ecuación de Bernoulli.* Como dice Vega (2017), las ideas previas de los estudiantes influyen de modo desfavorable en el aprendizaje de nuevos saberes en el estudiante. Aquellas ideas alternativas de los estudiantes deben ser tenidas en cuenta a la hora de planear e implementar una metodología de aprendizaje de temáticas de la física. Hestenes (1992) expresa que aquellas metodologías que no tienen en cuenta tales ideas pueden ser consideradas poco efectivas, ya que no podrán precisar qué cambios pueden originar en el pensamiento de los estudiantes.

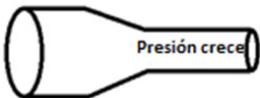
Indagar qué ideas previas regularmente presenta una población de estudiantes es una tarea ardua. Esto implica varias etapas que culminan con un cuestionario validado dentro de alguna teoría como la teoría moderna del ítem o la teoría clásica de test; luego se convierte en un instrumento para evaluar el aprendizaje de un concepto o temática determinada. Afortunadamente, para el caso de la ecuación de Bernoulli existe un estudio que ha pasado por todas las etapas necesarias para validar un instrumento confiable que permite evaluar el aprendizaje sobre esta ecuación en una población determinada. Este estudio se puede consultar en Barbosa (2013), así como el cuestionario final. El cuestionario vislumbra cinco tipos de ideas alternativas sobre la ecuación de Bernoulli que se pueden hallar en una población de estudiantes antes de iniciar alguna instrucción sobre esta ecuación. Estas ideas previas se sintetizan en la tabla 1 mediante una descripción e imagen y se pueden observar desde la figura 2 hasta la figura 6. El cuestionario posee 12 preguntas sobre la ecuación de Bernoulli y su relación con la ecuación de continuidad. Como indica el estudio, el cuestionario fue primero validado por expertos y luego ajustado con cinco índices estadísticos al aplicarlo en una muestra de más de 200 estudiantes, según lo expresa Barbosa (2013). Estas ideas previas de los estudiantes son las que se reconocen como dificultades dentro del marco teórico de Bao y Redish (2006; 2004) de esta investigación, y se asume que:

1. Los modelos comunes de estudiantes se identifican y validan para que estos modelos sean confiables para una población de estudiantes con antecedentes similares.
2. Los distractores de un cuestionario de opción múltiple están diseñados para activar los modelos comunes de los estudiantes.

Tabla 1.

Modelos conceptuales de la ecuación de Bernoulli identificados en estudiantes que reporta el estudio de Barbosa (2013) y que valida el cuestionario de Bernoulli en el marco de la teoría clásica del test

<i>Modelo alternativo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Imagen errónea o dificultad</i>
1. Alta rapidez-alta presión.	Ellos predicen que cuando la rapidez del flujo se incrementa también se incrementa su presión.	 <p>Fig. 2. Posible imagen errónea 1</p>
2. El efecto de flujo frontal es igual al de flujo lateral.	Generalizan incorrectamente que el flujo siempre empuja. Piensan que el efecto del flujo lateral es lo mismo que el frontal.	 <p>Fig. 3. Posible imagen errónea 2</p>

<p>3. El diámetro pequeño hace crecer la presión del fluido.</p>	<p>Expresan que «Cuando un fluido pasa por un tubo que reduce su sección transversal de área, el fluido aumenta su presión cuando la sección disminuye». Confunden presión con velocidad.</p>	 <p>Fig. 4. Posible imagen errónea 3</p>
<p>4. Si el aire incide en el cilindro giratorio, el vehículo no se mueve.</p>	<p>Si un flujo de aire incide sobre un cilindro que gira sobre su eje principal, situado sobre una estructura, no prevén movimiento del sistema (Flettner). Expresan que, dado que ambos lados se ven afectados por la misma cantidad de aire, cualquier efecto se cancela por simetría.</p>	 <p>Fig. 5. Posible imagen errónea 4</p>
<p>5. Soplar por A empuja la esfera del fondo y la mueve hacia C.</p>	<p>Al soplar a través de un tubo A del soplador, no reconocen la diferencia de flujo que hace mover la esfera del fondo hacia B y piensan que el aire empuja la esfera hacia C o no sucede nada.</p>	 <p>Fig. 6. Posible imagen errónea 5</p>

3. Las respuestas de los estudiantes desde el pretest/postest originan un vector en el espacio lineal que representa (la raíz cuadrada de) las probabilidades que el estudiante aplicará a los diferentes modelos comunes.
4. Usando un conjunto de preguntas diseñadas para probar un solo concepto, se puede medir la probabilidad de que un estudiante active los diferentes modelos comunes en respuesta a estas preguntas. Se pueden usar estas probabilidades para representar el estado de comprensión del estudiante.
5. Cualquier metodología debe plantearse para que en alguna de las fases se superen estas dificultades conceptuales. En consecuencia, las ideas previas o dificultades conceptuales tenidas en cuenta para esta investigación se resumen en la tabla 1 y son las que reporta una publicación de Barbosa (2013).

### Observables de monitoreo de la investigación

La ganancia normalizada de Hake  $\langle g \rangle$  es un estadístico que da cuenta del aprendizaje de una población de estudiantes y permite determinar la efectividad de una metodología de enseñanza para lograr cambios de la comprensión del estudiante en términos de su conocimiento inicial. Se define como la diferencia entre el puntaje promedio de una prueba preliminar ( $S_o$ ) y el puntaje promedio de una prueba final ( $S_f$ ), con respecto al mayor incremento posible de puntaje promedio:

$$\langle g \rangle = \frac{\langle S_f \rangle - \langle S_o \rangle}{1 - \langle S_o \rangle} \quad (2)$$

Esta expresión representa la ganancia de aprendizaje que debería ser posible en una población dada, porque si los estudiantes comienzan desde un estado inicial de comprensión sobre un tema, la ganancia debe ser proporcional a lo que le falta en claridad a esa población para ser igual a la claridad de la comunidad científica.

Los anchos de la distribución en los puntajes del pretest y postest están caracterizados por sus desviaciones estándar que se denotan por  $\Delta\langle g \rangle$ , y según Hake (1998) se calculan de acuerdo con el tratamiento convencional:

$$\Delta\langle g \rangle = \sqrt{\left(\frac{\partial\langle g \rangle}{\partial S_f} \Delta S_f\right)^2 + \left(\frac{\partial\langle g \rangle}{\partial S_o} \Delta S_o\right)^2} \quad (3)$$

Aplicando (3) a la ecuación (2), se obtiene:

$$\Delta\langle g \rangle = \frac{1}{(1-S_o)} \sqrt{(1-S_o)^2 \Delta S_f^2 + (S_f-1)^2 \Delta S_o^2} \quad (4)$$

Con información sobre el promedio del puntaje del pretest  $\langle S_o \rangle$  y la ganancia normalizada de Hake  $\langle g \rangle$ , se puede construir un gráfico « $\langle g \rangle$  vs  $\langle S_o \rangle$ », usando  $\langle g \rangle$  en la vertical y  $\langle S_o \rangle$  en la horizontal. Para interpretar resultados, Hake (1998) propone dividir el gráfico  $\langle g \rangle$  vs.  $\langle S_o \rangle$  en tres regímenes:

- 1) Grupos de alta-g con valores de ganancia  $\langle g \rangle \geq 0,7$
- 2) Grupos de media-g con valores de ganancia entre  $0,7 > \langle g \rangle \geq 0,3$
- 3) Grupos de baja-g con valores de ganancia  $\langle g \rangle < 0,3$ .

Se asume que  $\langle g \rangle$  es una medida válida de la efectividad del método de instrucción o del ambiente de aprendizaje para promover el aprendizaje conceptual de los estudiantes.

Por otra parte, para dar cuenta de la evolución conceptual de los estudiantes, se usan los vectores de evolución de Bao originados desde otro estadístico llamado factor de concentración. Bao y Redish (2001) reportaron un análisis cuantitativo de cómo sacar información a las respuestas de los estudiantes cuando estos contestan un cuestionario de escogimiento múltiple con única respuesta; formularon un constructo que provee información acerca de cómo se distribuyen las respuestas de los estudiantes en un gráfico de «concentración» frente al «puntaje promedio» del pretest, y así reconocer el estado de comprensión del estudiante representado por un régimen de modelos conceptuales que se usa para dar cuenta de la respuesta frente a una situación que se le plantee. Definen un factor C de concentración, como función de las respuestas de los estudiantes, que toma valores en un intervalo de cero a uno [0,1], dado por

$$C = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \left( \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m n_i^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right) \quad (5)$$

$m$  representa el número de escogimiento para una pregunta particular,  $N$  corresponde al número de estudiantes y  $n_i$  es el número de estudiantes que han escogido la respuesta  $i$  de una pregunta. Con información sobre el puntaje denotado por  $S$  y el factor  $C$ , proponen un gráfico « $S$  vs  $C$ » para identificar patrones asociados a modelos de razonamiento con los que contestan los estudiantes. Para encontrar el área de tales patrones se puede usar multiplicadores de Lagrange para hallar las funciones máxima y mínima (azul y roja), y de ese modo delimitar una zona con modelos, como en la figura 7.

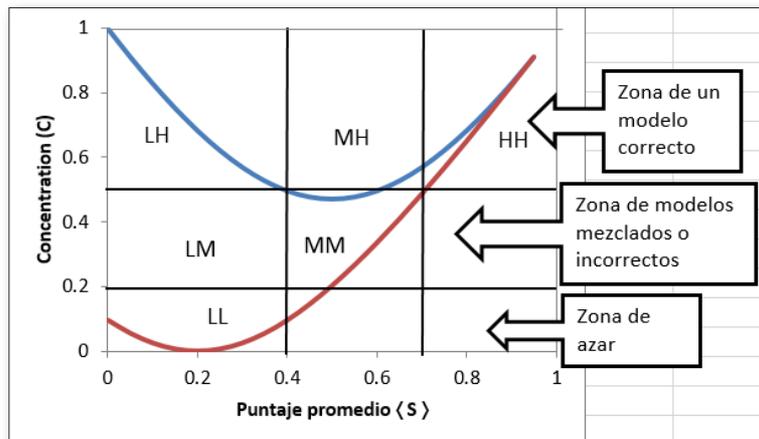


Fig. 7. Esquema de zonas de Bao que identifica el nivel de razonamiento de los estudiantes desde un cuestionario. Un punto en este espacio de configuraciones SC representa un estado de conocimiento del estudiante. Figura de autores reconstruida y adaptada al español desde Bao y Redish (2006).

El gráfico SC de la figura 7 representa un espacio de puntos de «concentración» y «puntaje» que precisa el estado de comprensión del estudiante para un instante cuando contesta una pregunta que ha desencadenado el uso de sus modelos de razonamiento. Al ir aprendiendo en el tiempo, el punto representativo del estado de comprensión se mueve en el espacio de configuraciones SC describiendo una curva que podría denominarse la curva de aprendizaje. Si solo se examina en dos momentos, tenemos dos parejas de datos para construir tan solo el largo de un segmento dirigido y que bien podría denominarse el vector de aprendizaje del estudiante. Bao y Redish (2000) dicen que el vector indica cómo evoluciona el estado debido a la instrucción, y por tanto corresponde al vector de evolución conceptual de una población determinada.

Tabla 2.  
Codificación de concentración sugerida por Bao, tomada de Bao (2006)

<i>Puntaje (S)</i>	<i>Nivel</i>	<i>Concentración (C)</i>	<i>Notación</i>
0,0-0,4	Bajo	0,0-0,2	L
0,4-0,7	Medio	0,2-0,5	M
0,7-1,0	Alto	0,5-1,0	H

La codificación de las zonas se establece de acuerdo con la tabla 2 y usa letras del idioma inglés: L, bajo; M, medio, y H, alto. Por ejemplo, un punto en la zona LL (con bajo puntaje y baja concentración) puede indicar que la mayoría de los estudiantes no tienen un modelo dominante de razonamiento sobre el tema y sus respuestas son contestadas al azar. De otra manera, con puntuaciones similares, un punto de LH implica que la prueba activa un modelo incorrecto dominante, según Bao y Redish (2006).

Con esta codificación de Bao y Redish (2006) se pueden construir gráficos de concentración (C) en función del puntaje promedio (S) para cada pregunta y, en ese caso, ver la evolución de los grupos desde un estado inicial (pretest) hasta un estado final (postest) después de la instrucción. En este estudio, a pesar de que son tres cursos experimentales, se forma un solo grupo para analizar los vectores de evolución de cada pregunta del test que representa cómo cambia el estado SC por acción de la meto-

dología PODS-ExD y otro gráfico de los vectores de evolución para analizar el cambio del estado SC del grupo control debido al método tradicional.

## METODOLOGÍA

### Caracterización de la población intervenida

Los grupos experimentales y de control para el estudio se formaron de una combinación de estudiantes de diferentes programas de ingeniería que se matricularon en el curso «Física Mecánica» en el segundo o tercer semestre de sus carreras de dos universidades similares. Para entonces, los estudiantes ya habían aprobado asignaturas como «Cálculo diferencial» o «Álgebra lineal» y estaban viendo «Cálculo integral». Cada curso estaba formado por 30 estudiantes con una edad media entre 17 y 19 años, con porcentajes similares de ambos sexos. Las carreras de ingeniería fueron: Ambiental, Eléctrica, Civil, Electrónica, Industrial, Mecánica, Sistemas y Alimentos. Hubo tres cursos experimentales de «Física 1» compuestos por 81 estudiantes en total: dos cursos de la Universidad de la Salle (55) y otro de la Universidad Central (26). Se tomaron muestras de dos grupos control de, aproximadamente, 26 estudiantes por curso de cada universidad.

Los cursos eran similares de acuerdo con características como la edad, el puntaje de examen estatal, el estado social y el contenido de los cursos para los primeros semestres de instrucción de cada programa de ingeniería. En el momento de la implementación de la metodología, las dos universidades asignaron seis horas por semana de instrucción al curso de física 1 (4 en el aula y 2 en el laboratorio). Ambas universidades se encuentran en el centro de Bogotá y distan 1 km entre ellas. La introducción del tema de fluidos se realizó en las últimas semanas del semestre escolar de 16 semanas del curso. Con el método tradicional, solo se utilizaron tres sesiones de dos horas para instruir la ecuación de Bernoulli, resolver ejemplos de aplicación de la ecuación e ilustrar situaciones. En los grupos experimentales se utilizaron cuatro sesiones: una sesión de inducción con el método PODS para los grupos experimentales y tres sesiones para trabajar el PODS utilizando la secuencia de (ExD) relacionada con la ley de Bernoulli. Aunque los cursos tenían un promedio de 30 estudiantes, los estudiantes que faltaron a alguna sección de esas dos últimas semanas, tanto en los grupos experimentales como en los grupos de control, fueron retirados del estudio.

Se asume que una sesión adicional de la metodología activa en los grupos experimentales no es un factor incidente para tener más éxito en los grupos control. La sesión adicional se usó para que el grupo experimental aprendiera cómo actuar con la metodología activa y para ello se utilizaron situaciones de la física distintas a la ecuación de Bernoulli.

### PODS-ExD en el aula de clase y guías de control

Se construyeron dos guías de control que plantean la secuencia de experimentos ExD para ayudar a desarrollar la metodología PODS-ExD. Estas son guías de la actividad en aula de acuerdo con los pasos de la metodología en estudio y permiten que la secuencia de ExD con la metodología PODS vaya desarrollándose y controlándose al unísono en cada curso. La implementación de tal metodología se preparó como sigue:

1. La actividad se planifica en el plan de desarrollo de la asignatura y se entrega a cada estudiante al inicio del semestre.

2. Una semana antes de la actividad, se recuerda a los estudiantes el plan y se organizan en subgrupos de tres a cuatro estudiantes en cada curso para trabajar. Se pide a los subgrupos una lista de materiales de bajo costo que deben traer.
3. Antes de la semana de la actividad, el profesor de la asignatura «Física 1» da una clase magistral sobre fluidos y plantea la ecuación de Bernoulli para fluidos.
4. La semana de actividades inicia con una revisión de materiales y se entrega la guía de control para cada estudiante; la clase en cada curso se organiza de acuerdo con los subgrupos preestablecidos.
5. Se explica el método PODS, se ilustra con una situación activa y se ejercita con otras dos situaciones.
6. Para fomentar la puntualidad y la asistencia, se acordó que, si los estudiantes llegaban antes que el profesor, se les daba un bono sobre alguna evaluación importante. Esto funciona.
7. Se acordó no realizar ningún experimento antes de que todos los subgrupos en cada curso hubieran terminado de hacer predicciones.

Las guías de control empiezan con situaciones que reafirmaron el sentido común a través de las cuatro fases de PODS. Un ejemplo de esto se ilustra en las figuras 8a y 8b. Cuando en el experimento que se muestra en la figura 8a el alumno sopla, el hecho físico obvio es que la hoja de papel se aleja del pitillo o pajita, empujada por la fuerza de flujo que incide en la hoja de papel. En este caso, el estudiante observa que la hoja de papel se aleja de la acción de un flujo que choca frontalmente.

Los estudiantes expresan ideas como: «el aire soplado por la pajita empuja la hoja de papel», «el flujo que sale de la paja afecta a la parte frontal de la hoja de papel y la empuja», etc. El estudio de esta situación pasa por las fases de predicción, observación, discusión y síntesis. La situación es fácil para que los estudiantes una vez más se ejerciten en usar PODS. La siguiente actividad plantea una situación contraintuitiva (véase figura 8b).

De acuerdo con la guía, los estudiantes deben predecir qué sucederá con los globos cuando soplen fuertemente con una pajita en medio de estos. La mayoría de los estudiantes hacen predicciones como: «Si se sopla en medio de los globos, estos se separan». En algunas ocasiones, todos los miembros del subgrupo aceptaron tal conjetura; en caso contrario, tenían que discutir hasta llegar a una sola «predicción», que luego debían sustentar en el curso. Todos debían escribir en su guía de control.

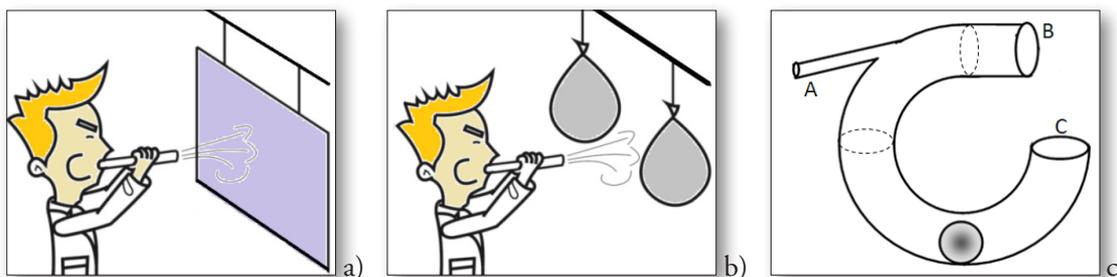


Fig. 8. a) Soplando frente a una hoja de papel. b) Soplando en medio de los globos. c) Soplador mágico como un ExD.

Luego deben construir el montaje, accionarlo y «observar». El hecho de ver que los globos se juntan produce una gran sorpresa; en realidad, causa discrepancia porque esperan que los globos se separen y no que se junten. Repiten el experimento varias veces porque no creen lo que están viendo. Les genera disonancia y esa incomodidad psicológica hace que se movilicen para tratar de dar una explicación al fenómeno.

Se sugiere que «discutan» y lleguen a un consenso del mecanismo de explicación del fenómeno para que lo compartan con todos los estudiantes del curso. Un ejemplo de estas explicaciones es: «El aire en movimiento que sale del tubo y llega entre los globos desplaza el aire entre ellos y genera un vacío hacia el cual se mueven los globos». Este es un razonamiento alternativo a la explicación con la ecuación de Bernoulli, pero en cierto modo es correcto.

En la fase de «síntesis», la idea es que todos los estudiantes del curso puedan escuchar a un portavoz de cada subgrupo de tres estudiantes; el profesor interviene, refiriéndose a las explicaciones de los participantes sobre el fenómeno, y clarifica las explicaciones usando la ecuación de Bernoulli. En esta fase la idea es que el profesor haga preguntas y ayude a construir el mecanismo de explicación del fenómeno. Para resumir el ciclo del proceso, se «predice», se «observa», se «discute» y se «sintetiza».

Durante cada ciclo de PODS con ExD, se les permite un corto período de tiempo para escribir en sus guías de control, pero es necesario limitar el tiempo para continuar con los otros montajes de ExD. De esta manera, se completaron aproximadamente 6 situaciones en cada sesión de dos horas.

Para toda la estrategia PODS-ExD, se desarrollaron 16 situaciones durante las tres sesiones de dos horas cada una. Algunos montajes eran difíciles de construir y se les entregó construido para solo accionar y ahorrar tiempo. Por ejemplo, el soplador mágico de la figura 8c. Este montaje fue teorizado por Barbosa (2011) y se les entregó una réplica en vidrio para accionar en cada subgrupo.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Efectividad de la metodología

Las respuestas de los estudiantes se han compilado en tablas de Excel, a través de una aplicación previamente programada en C++ que tiene en cuenta las definiciones dadas en ecuaciones (2), (3) y (4). Cuando se ejecuta el programa lee tres archivos: la clave y el de respuestas de los estudiantes para el cuestionario de la ecuación de Bernoulli, en pretest y postest. Los resultados de ganancia de Hake de cada grupo obtenidos se muestran en la tabla 3. Por simplicidad, el puntaje promedio del pretest se denota por  $\langle S_o \rangle$ , la desviación estándar de  $\langle S_o \rangle$  como  $\sigma_{pre}$ , el promedio del puntaje de postest es  $\langle S_p \rangle$ , la desviación estándar de  $\langle S_p \rangle$  es  $\sigma_{post}$ , la ganancia normalizada de Hake se denota por  $\langle g \rangle$  y la desviación estándar de la ganancia normalizada de Hake es  $\Delta\langle g \rangle$ .

En los grupos experimentales, la ganancia  $\langle g \rangle$  fue mayor a 0,5 con una desviación estándar  $\Delta\langle g \rangle$  en el rango de 0,18 y 0,24. Es un valor mejor de lo esperado ya que cuando se compara con los valores de ganancia reportados por Hake, sobre las metodologías activas, se igualan e incluso se superan. Generalmente, las metodologías tradicionales reportan valores menores a 0,3 y las activas entre 0,3 y 0,5. Ahora bien, los valores de ganancia calculados para los grupos experimentales 1 y 3 superan esos valores. Sus ganancias fueron  $\langle g \rangle = 0,65$  y  $\langle g \rangle = 0,67$  con desviaciones respectivas de  $\Delta\langle g \rangle = 0,18$  y  $\Delta\langle g \rangle = 0,17$ . Nótese que 0,18 respecto a 0,65 corresponde al 27 %, mientras que 0,17 respecto a 0,67 corresponde al 25 %. Es decir, hay una alta concentración alrededor de la media en la ganancia de los grupos 1 y 3, lo que significa que los valores de la ganancia son bastante certeros. Al contrario que esto, los valores de ganancia para los grupos de control son, primero, más bajos respecto a los grupos experimentales, y segundo, una ganancia de  $\langle g \rangle = 0,26$  con desviación de  $\Delta\langle g \rangle = 0,26$  significa que los valores están muy dispersos y que el valor para la metodología tradicional es poco confiable.

Tabla 3.

Esta tabla muestra los resultados de los puntajes promedio, la ganancia y sus respectivas desviaciones para los tres grupos experimentales y el grupo de control. Las desviaciones de la ganancia  $\Delta\langle g \rangle$  se calculan con el tratamiento convencional usando la ecuación 4

	Control	Exp1	Exp2	Exp3
$\langle S_o \rangle$	0,26	0,24	0,24	0,09
$\sigma_{pre}$	0,16	0,14	0,15	0,07
$\langle S_f \rangle$	0,47	0,73	0,67	0,70
$\sigma_{pos}$	0,15	0,13	0,17	0,15
$\langle g \rangle$	0,26	0,65	0,57	0,67
$\Delta\langle g \rangle$	0,26	0,18	0,24	0,17

Dice Hake que los anchos de la desviación estándar no son el resultado de un error experimental, sino que reflejan las características variables y propias de los estudiantes. Es decir, se asume la homogeneidad de los grupos, pero no hay tal certeza. Redish (1994) llama a estos anchos «principio de ancho de línea». Estos anchos crean una incertidumbre en los promedios previos a la prueba y en las ganancias promedio normalizadas  $\langle g \rangle$ . Para este caso, en el que la desviación estándar de la ganancia normalizada tiene el mismo valor que la ganancia del grupo de control, podría interpretarse que el instrumento tiene una zona ciega. Como los cambios son pequeños, el ancho de línea referido por Redish y Hake genera una exigua certeza en el resultado.

Otra interpretación es que la metodología tradicional genera un cambio tan pequeño en la ganancia del grupo que no se puede asegurar un aprendizaje efectivo. Por el contrario, el PODS-ExD genera un cambio suficiente en el grupo experimental que asegura un aprendizaje efectivo del concepto.

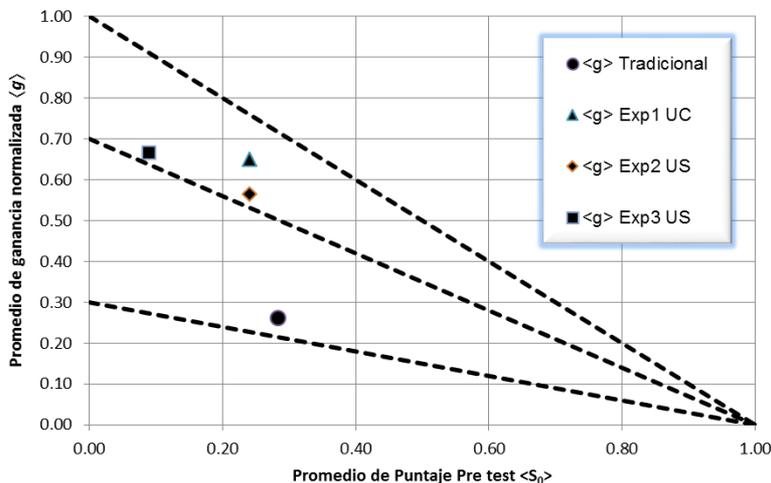


Fig. 9. Gráfica de ganancia promedio normalizada de Hake  $\langle g \rangle$  en función del puntaje promedio del pretest, « $\langle g \rangle - \langle S_o \rangle$ » Nótese que los grupos experimentales de la estrategia PODS-ExD están en la zona de alta-g, mientras que el grupo control está en la zona de baja-g.

Para este estudio, la figura 9 muestra un gráfico de la ganancia normalizada de Hake en función del promedio del puntaje del pretest con datos de la tabla 3. Los puntos dentro del gráfico corresponden a valores de ganancia de los tres grupos experimentales y el grupo de control (círculo lleno) con sus respectivos puntajes promedios pretest. Como se puede observar, el rombo precisa la ganancia del grupo experimental (2), el triángulo es del (1) y el cuadrado del (3). Estos tres valores de ganancia de los grupos experimentales caen en una zona de alta-g, mientras que para el caso tradicional el valor cae en una zona de baja-g.

Si se cogen los tres valores de ganancia de los grupos desde la tabla 3, se suman y se promedian,

$$\langle\langle g \rangle\rangle_{\text{PODS-ExD}} = \frac{\langle g \rangle_{\text{Exp1}} + \langle g \rangle_{\text{Exp2}} + \langle g \rangle_{\text{Exp3}}}{3} \quad (8)$$

se obtiene un promedio de ganancia normalizada de 0,63. Desde la propia tabla se sabe que el valor de ganancia promedio normalizada para el grupo control es  $\langle g \rangle_{\text{trad.}} = 0,26$ ; entonces se puede saber la razón entre ambos valores,

$$\frac{\langle\langle g \rangle\rangle_{\text{PODS-ExD}}}{\langle g \rangle_{\text{trad.}}} = 2.42 \quad (9)$$

Si se asume lo que dice Hake, que  $\langle g \rangle$  es una medida válida de la efectividad del método para promover el aprendizaje, en promedio, se infiere que la estrategia PODS-ExD es más efectiva, a la hora de construir conceptos, que la estrategia tradicional, en casi el doble. De modo exacto, se puede precisar que

$$\langle\langle g \rangle\rangle_{\text{PODS-ExD}} = 2.42 \langle g \rangle_{\text{trad.}} \quad (10)$$

Este resultado sugiere que el uso de la estrategia PODS-ExD puede aumentar la ganancia en los grupos experimentales sobre la comprensión de la ecuación de Bernoulli mucho más allá de la obtenida con el método tradicional.

### Evolución del aprendizaje

Similar al observable anterior y usando las mismas matrices de respuestas de los estudiantes sobre el cuestionario de Bernoulli, se ha construido una aplicación en C++ que tiene en cuenta la definición dada en la ecuación (5). Cuando se ejecuta el programa, este lee dos archivos para procesar: la clave y las respuestas de los estudiantes del cuestionario de la ecuación de Bernoulli del pretest. Con esto se calculan valores para el inicio de los vectores de evolución; luego se repite, pero ahora con las respuestas del postest para calcular el final de los vectores para la estrategia POD-ExD y para la estrategia tradicional. Los tres grupos experimentales se combinaron en un solo archivo y los grupos control en otro.

La figura 10 muestra dos gráficos de concentración (C) en función del puntaje promedio (S). El gráfico *a*) fue construido con datos del grupo experimental, donde fue implementada la estrategia PODS-ExD; el gráfico *b*) fue construido con datos del grupo control, donde fue implementada la estrategia tradicional. Los vectores son dibujados para cada pregunta del cuestionario de Bernoulli

desde un punto inicial del espacio puntaje promedio-concentración ( $\langle S_0 \rangle, C_0$ ) (símbolos vacíos) hasta un punto final ( $\langle S_f \rangle, C_f$ ) (símbolos llenos). Se asume que la longitud del vector y la inclinación en el primer cuadrante pueden representar la evolución del razonamiento del estudiante, por ejemplo, la pregunta 6 en ambos grupos representa esta idea, pero en *a*) es más largo que en *b*), y se puede inferir que hubo un mejor cambio en *a*) que en *b*). La idea es poder determinar la evolución, pero un vector inclinado también puede representar involución, por ejemplo, la pregunta 4 en el grupo de control. En ambos gráficos, los datos ( $\langle S_0 \rangle, C_0$ ) de la prueba previa utilizan símbolos sin rellenar (diamantes) para el grupo PODS-ExD y (círculos) para el grupo de control. Los datos ( $\langle S_f \rangle, C_f$ ) de la prueba posterior utilizan los mismos símbolos (diamantes negros completos) para el grupo PODS-ExD y (círculos negros completos) para el grupo de control.

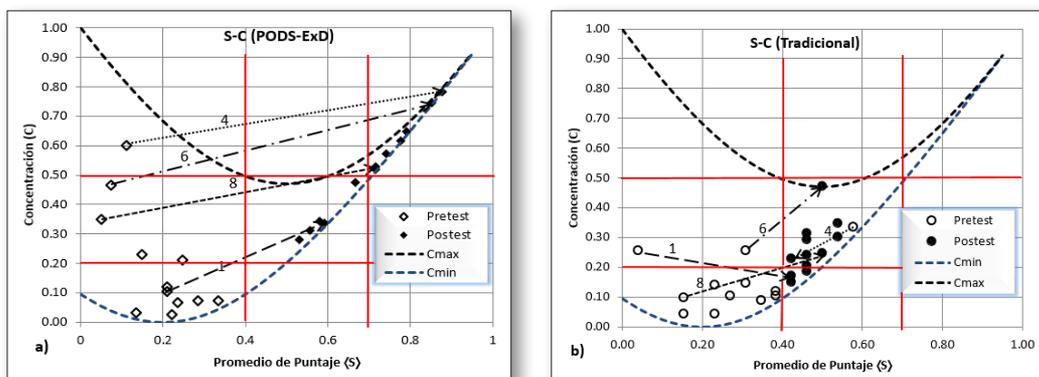


Fig. 10. Vectores de evolución de Bao para la estrategia PODS-ExD en *a*) y el grupo control en *b*). Los vectores son dibujados para cada pregunta del cuestionario de Bernoulli desde un punto inicial ( $\langle S_0 \rangle, C_0$ ) (símbolos vacíos) hasta un punto final ( $\langle S_f \rangle, C_f$ ) (símbolos llenos).

Se observa que, para ambas poblaciones de estudiantes, las respuestas de la prueba previa proporcionan datos de puntaje promedio y concentración en zonas de LM, MM y LL, según la gráfica de referencia de la figura 7, que identifica los niveles de razonamiento; estas áreas están en la zona de azar o donde los estudiantes tienen mezcla de varios modelos alternativos. En el pretest, las preguntas 4, 6 y 8 para el grupo experimental tienen una concentración más alta que las otras preguntas, lo que indica presencia y uso de un modelo común dominante e incorrecto para razonar, ya que además reportan baja concentración. Al revisar la distribución de las preguntas para el pretest se puede decir que el estado de comprensión de ambos grupos es bajo y similar, un poco mejor el del grupo control. Después de la instrucción, la mayoría de las respuestas van hacia zonas HH para el grupo experimental y MM para el grupo control. En este caso, se nota un mayor cambio conceptual en el grupo experimental intervenido con PODS-ExD que el grupo control intervenido con el método tradicional.

Ya que la pregunta 4 presenta cierta anomalía respecto al comportamiento de las demás en el grupo control, se examina como caso particular. Cruzando las matrices con el cuestionario, la respuesta más seleccionada en la pregunta 4 fue la respuesta *a*) y esta corresponde a un ítem donde hay un montaje de tubos con una esferita dentro, como en la figura 11. Los estudiantes eligen incorrectamente *a*), que dice que la esfera permanece inmóvil cuando se sopla por la boca del tubo A. La respuesta correcta en este caso es *d*). Al parecer, el modelo incorrecto es el que según la forma de los tubos hace pensar al estudiante en un fluido discreto y estático que nada tiene que ver con el fluido que acompaña a la esfera en la parte inferior del montaje. Quizás el modelo hace pasar inadvertido el aire. Si se quiere ahondar más en otras preguntas, se sugiere ir al cuestionario sobre la ecuación (Barbosa, 2013).

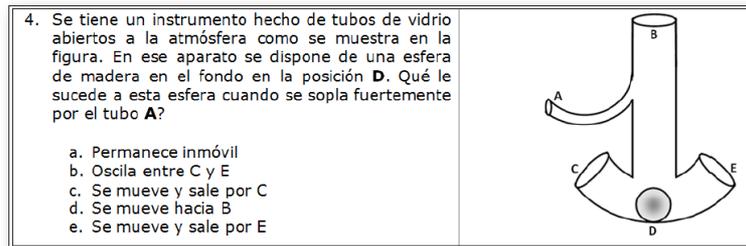


Fig. 11. Una de las preguntas del cuestionario de Bernoulli. Esta muestra una alta concentración y un bajo promedio de puntaje para el grupo experimental en el espacio de configuraciones  $(\langle S_o \rangle, C_o)$  de la figura 7.

Se observa que el grupo de control evoluciona la mayoría de sus respuestas del cuestionario de la ecuación de Bernoulli a la zona MM, pero las respuestas 1 y 4 tienen un comportamiento anómalo que va al área de ML, una zona aleatoria donde los estudiantes no usaron el modelo, sino que respondieron al azar según la teoría de Bao. Se puede ver también que en estas preguntas el grupo de control presenta una gran confusión tras la instrucción. Al cruzar las respuestas con los distractores de esta pregunta, los estudiantes contestaron eligiendo más la opción *b*) y la opción *e*). Por el contrario, el grupo con metodología activa evolucionó sus respuestas a la zona MH o HH, una zona donde se asume que la población responde la pregunta desde el modelo correcto de Bernoulli.

En general, para los grupos experimentales, con uso de PODS-ExD, se originan unos vectores de evolución, según la tabla 4, donde la mayoría de las respuestas van desde las zonas LM y LL a las zonas HM y HH. Estas zonas son de concentración alta con puntaje promedio alto, es decir, son zonas de modelos de razonamiento correctos, como el modelo de la ecuación de Bernoulli que usa la comunidad científica para explicar. Esto significa que los estudiantes pasan de un estado de «concepción errónea» o «intuición aleatoria» a un estado de «concepciones similares a como respondería la comunidad científica». Al comparar las respuestas de pretest y postest en ambos grupos, se observa una mejor evolución para el grupo con metodología activa que para el grupo con metodología tradicional.

Tabla 4.  
 Datos de vectores evolución para las 12 preguntas del cuestionario de Bernoulli para grupo PODS-ExD y grupo control

ítem	<i>S vs C (PODS-ExD)</i>				<i>S vs C (Grupo control)</i>			
	<i>Pretest</i>		<i>Postest</i>		<i>Pretest</i>		<i>Postest</i>	
No	$S_o$	$C_o$	$S_f$	$C_f$	$S_o$	$C_o$	$S_f$	$C_f$
1	0,15	0,23	0,74	0,57	0,04	0,26	0,42	0,17
2	0,14	0,03	0,53	0,28	0,15	0,04	0,46	0,20
3	0,21	0,12	0,78	0,62	0,38	0,12	0,46	0,31
4	0,11	0,60	0,85	0,74	0,58	0,33	0,42	0,23
5	0,25	0,21	0,58	0,34	0,27	0,10	0,54	0,30
6	0,07	0,47	0,79	0,65	0,31	0,26	0,50	0,47
7	0,21	0,10	0,59	0,34	0,15	0,10	0,50	0,25
8	0,05	0,35	0,72	0,52	0,23	0,14	0,54	0,35
9	0,33	0,07	0,72	0,53	0,35	0,09	0,46	0,24
10	0,22	0,03	0,56	0,31	0,38	0,10	0,46	0,18
11	0,28	0,07	0,88	0,78	0,31	0,14	0,42	0,15
12	0,23	0,07	0,67	0,47	0,23	0,04	0,46	0,29

También se pueden visualizar los vectores de evolución posicionándolos todos del origen en el plano cartesiano, como se observa en la figura 12, para compararlos.

Como el cuestionario de la ecuación de Bernoulli posee 12 ítems, se pueden construir 12 vectores de evolución para cada grupo. Para construir el vector se hace la diferencia entre las coordenadas  $(\langle S_f \rangle, C_f)$  y  $(\langle S_0 \rangle, C_0)$ . La diferencia provee la componente horizontal y vertical, respectivamente,  $(\Delta \langle S \rangle = \langle S_f \rangle - \langle S_0 \rangle)$  y  $(\Delta C = C_f - C_0)$ ; luego se puede obtener la evolución representada por la longitud de cada vector y su inclinación en el plano cartesiano.

Nótese que las componentes de los vectores evolución para el grupo experimental (figura 12a) siempre son positivas, mientras que algunas componentes de los vectores para el grupo control (figura 12b) son negativas, por ejemplo, en las preguntas (1) y (4). Al comparar los dos gráficos, se muestra que la metodología PODS-ExD logra componentes más largas de los vectores que el grupo control. Si consideramos que la longitud del vector y la inclinación representan la evolución en los grupos de aprendizaje instruidos con respecto a una situación planteada por cada pregunta del cuestionario, la mayoría de las preguntas muestran que PODS-ExD supera con creces al grupo control. Por ejemplo, la pregunta 11 con PODS-ExD muestra evolución, mientras que en el grupo de control no. Las preguntas 1 y 4 muestran evolución con PODS-ExD, mientras que las mismas preguntas presentan una involución con el grupo control.

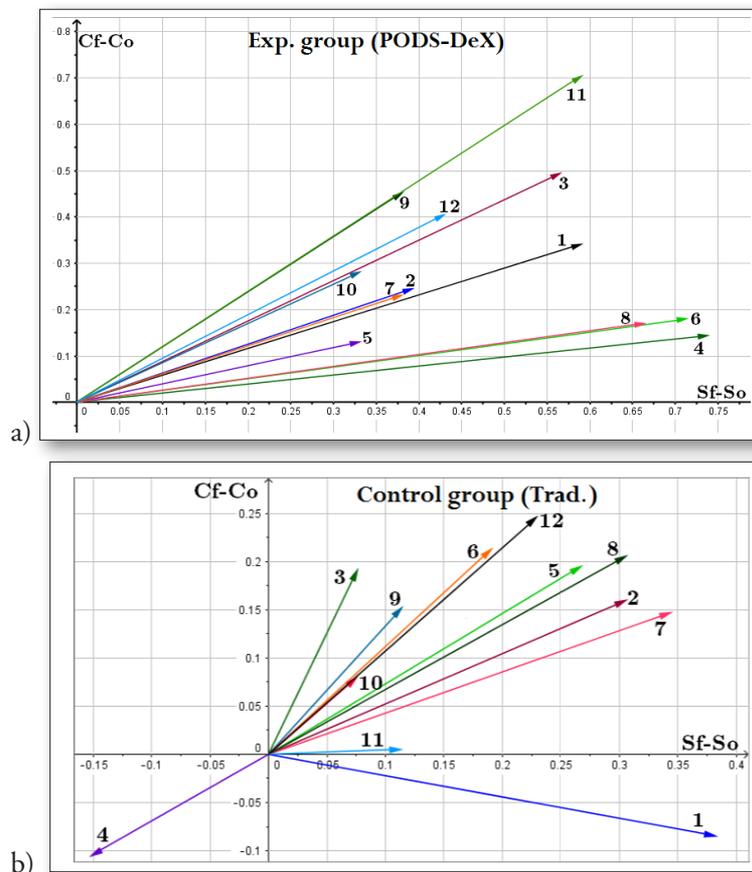


Fig. 12. Vectores de evolución de Bao para ambos grupos. Los números en cada vector representan la respectiva pregunta del cuestionario de Bernoulli. En a) se muestran los doce vectores de Bao para el grupo con metodología PODS-ExD y en b) los vectores del grupo control.

En general, para las preguntas 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 se muestra la evolución conceptual en ambos grupos, pero los vectores del grupo experimental son más largos que los del grupo control. Para entender esta comparación de los vectores para ambos métodos es importante ser consciente de la escala de los ejes para reconocer que el grupo experimental con método activo presenta mejores resultados que el grupo control con método tradicional.

## CONCLUSIONES

Se ha comprobado que la nueva estrategia denominada PODS-ExD es más efectiva que el método tradicional. La nueva estrategia se caracteriza por generar un ambiente interactivo que permite aprender el concepto que subyace tras la ecuación de Bernoulli en estudiantes universitarios de primeros semestres de ingeniería. Esta efectividad fue medida por la ganancia normalizada de Hake,  $\langle g \rangle$ , con información obtenida al aplicar un cuestionario de 12 preguntas sobre la ecuación de Bernoulli antes de la implementación de la metodología de instrucción y posterior a la metodología de instrucción. La implementación se hizo sobre tres grupos experimentales y dos grupos de control en dos universidades privadas muy cercanas y con similares características en su población. El instrumento usado para activar los modelos de razonamiento sobre la ecuación de Bernoulli en los estudiantes fue un cuestionario previamente validado dentro del marco de la teoría clásica del test, publicado por una revista de educación en ingeniería que siguió los estándares de diseño, construcción y validación de un cuestionario para indagar el aprendizaje de la ecuación de Bernoulli en poblaciones de aprendizaje de la física. Se observó que los valores de ganancia para los grupos experimentales estuvieron en el régimen de alta ganancia, mientras que para el grupo control estuvieron en el régimen de baja ganancia, como se observa en la figura 9. Si se asume que  $\langle g \rangle$  es una medida válida de la efectividad del método usado para propiciar el aprendizaje de un tema en una población de estudiantes, en promedio, parece que la metodología PODS-ExD es casi el doble de efectiva que el método tradicional. Exactamente, se encontró que, en promedio,  $\langle \langle g \rangle \rangle_{\text{PODS-ExD}} = 2,42 \langle g \rangle_{\text{trad}}$ . Se puede inferir entonces que la metodología activa genera un ambiente de aprendizaje más favorable para propiciar el aprendizaje de la ecuación de Bernoulli, en estudiantes universitarios de primeros semestres, que la clase tradicional. La razón de este hecho puede ser que una clase PODS-ExD brinda mayor interacción de los estudiantes con el experimento, con sus compañeros y con el profesor, así como una mayor posibilidad de participación a la hora de construir mecanismos de explicación de los fenómenos. Es decir, se genera una vivencia de experiencia, lenguaje y conocimiento sobre la ecuación de Bernoulli y no solo de exposición de conocimiento, como en el caso de la metodología tradicional. La interacción en una clase PODS-ExD implica mayor movilización de los participantes, más actividades que involucran el cuerpo y la mente del estudiante, lo cual es proporcional a la mayor ganancia encontrada.

Por otra parte, desde los vectores de evolución de Bao, se ha visto que los grupos experimentales alcanzan mayor comprensión en la mayoría de las preguntas del cuestionario sobre la ecuación de Bernoulli. Si se asume que la longitud del vector es proporcional a la comprensión que gana el estudiante durante la instrucción, los grupos intervenidos con PODS-ExD presentan mayor cambio que los grupos de control, como se observa en la figura 10 y se precisa en la tabla 4. Según la figura 10 y al comparar los gráficos *a*) y *b*), puede notarse que el grupo control comenzó con un estado de comprensión más alto que el grupo experimental. Algo de esto hace que los vectores de Bao del grupo experimental sean más largos que los del grupo control. Pero lo más relevante es que los vectores de evolución del grupo experimental sí llegan a la zona HH dada por el modelo correcto de los estudiantes sobre la ecuación de Bernoulli, mientras que para el grupo control solo llegan a la zona MM de modelos de pensamiento mezclados de los estudiantes, o quizás incorrectos, de la ecuación.

Finalmente, se puede inferir que resulta de gran relevancia reconocer que la ecuación de Bernoulli puede ser mejor aprendida por estudiantes de ingeniería cuando se instruye mediante un método activo que use experimentos discrepantes. Una de las razones de esta claridad es que un método activo con experimentos discrepantes genera un cúmulo fértil de vivencias (interacción) que pueden ser el insumo para que el estudiante asimile el conocimiento que subyace tras la ecuación de Bernoulli para fluidos.

## AGRADECIMIENTOS

Al Departamento de Ciencias Naturales de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas de la Universidad Central por su apoyo en esta investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alomá, E. y Malaver, M. (2006). Theoretical Comparison of Average Normalized Gain Calculations. *American Journal of Physics*, 74(10), 917-922. <https://doi.org/10.1119/1.221363>
- Anderson, O. R. y Boticelli, S. (1990). Quantitative analysis of control organization in some Biology text varying in textual composition. *Science Education*, 74(2), 167-172. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2005.1.66143>
- Bao, L. (2006). Theoretical Comparison of Average Normalized Gain Calculations. *American Journal of Physics*, 74(10), 917-922. <https://doi.org/10.1119/1.2213632>
- Bao, L. y Redish, E. (2001). Concentration analysis: A quantitative assessment of student states. *American Journal of Physics*, 69(S45), 917-922. <https://doi.org/10.1119/1.1371253>
- Bao, L. y Redish, E. (2004). *Educational Assessment and Underlying Models of Cognition*. In *The Scholarship of Teaching and Learning in Higher Education*. Indiana: University Press.
- Bao, L. y Redish, E. (2006). Model Analysis: Assessing the Dynamics of Student Learning. *Physics Review Special Topics-Physics Education Research*, 2, 010103. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.2.010103>
- Barbosa, L. H. (2008). Los experimentos discrepantes en el aprendizaje activo de la física. *Latin-American Journal of Physics Education*, 2(3), 246-252.
- Barbosa, L. H., Mora, C., Talero, P. y Organista, J. (2011). El soplador Mágico: Un experimento discrepante en el aprendizaje de la ley de presión hidrodinámica de Bernoulli. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33, 4309. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000400009>
- Barbosa, L. H. (2013). Construcción, validación y calibración de un instrumento de medida del aprendizaje: Test de Ley de Bernoulli. *Revista Educación en Ingeniería*, 8(15), 24-37. <https://doi.org/10.26507/rei.v8n15.301>
- Barbosa, L. H. y Mora-Ley, C. (2013). Montajes de ExD para incorporar la ley de presión hidrodinámica de Bernoulli en ambientes escolares de Ingeniería. *Latin-American Journal of Physics Education*, 7(3), 399-406.
- Bauman, R. (2000). An alternative derivation of Bernoulli's principle. *American Journal of Physics*, 68(3), 288-289. <https://doi.org/10.1119/1.19423>

- Bauman, R. y Schwaneberg, R. (1994). Interpretation of Bernoulli's Equation. *Physics Teacher*, 32, 478-488.  
<https://doi.org/10.1119/1.2344087>
- Brown, P. F. y Friedrichsen P. (2011). Teaching Bernoulli's principle through demonstrations. *Science Activities: Classroom Projects*, 48(2), 65-70.  
<https://doi.org/10.1080/00368121.2010.528075>
- Guillen, M. (2010). *Cinco ecuaciones que cambiaron el mundo. El poder y la oculta belleza de las matemáticas*. México: Drokerz.
- Hake, R. (1998). Interactive-Engagement versus Traditional Methods: A Six-Thousand-Student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Courses. *American Journal of Physics*, 66(64), 64-74.  
<https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hestenes, D. Wells, D. y Swackhammer, G. (1992). Force concept inventory. *Physics Teacher*, 30, 3, 141-151.  
<https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Kamela, M. (2007). Thinking about Bernoulli. *The Physics Teacher*, 45, 379-381.  
<https://doi.org/10.1119/1.2840970>
- Liem, T. (1982). *Invitations to Science Inquiry*. California, USA: Science Inquiry Enterprises, Chino Hill.
- Martin, D. (1983). Misunderstanding Bernoulli. *The Physics Teacher*, 21, 37.  
<https://doi.org/10.1119/1.2341184>
- Mc Dermott, L. y Redish, E. F. (1999). Resource Letter: PER-1: Physics Education Research. *American Journal of Physics*, 67, 755-767.  
<https://doi.org/10.1119/1.19122>
- Peralta, R. (2007). *Fluidos: Apellido de los líquidos y los gases*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Redish, E. (1994). Implications of cognitive studies for teaching physics. *American Journal of Physics*, 62, 796-803. <http://dx.doi.org/10.1119/1.17461>
- Sokoloff, D. R. (2006). *Active Learning in Optics and Photonics: Training Manual*. Unesco-ICTP.
- Sokoloff, D. R. y Thornton, R. K. (1997). Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *Physics Teacher*, 35, 340.  
<http://dx.doi.org/10.1119/1.2344715>
- Vega, F. G. (2017). Dificultades conceptuales para la comprensión de la ecuación de Bernoulli. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 339-352.  
[http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2017.v14.i2.04](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.04)
- Weltner, K. (2015). Misinterpretations of Bernoulli's law. [https://www.researchgate.net/publication/303974495\\_Misinterpretations\\_of\\_Bernoulli's\\_Law](https://www.researchgate.net/publication/303974495_Misinterpretations_of_Bernoulli's_Law)

---

# Introducing discrepant experiments for understanding Bernoulli's principle in the classroom

Luis Hernando Barbosa

Depto. de Ciencias Naturales, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas,  
Universidad Central. Bogotá, Colombia.

lbarbosab@ucentral.edu.co

We introduce the results of an experiment in physics education based on the Bernoulli's law of hydrodynamic pressure. The mentioned experiment was planned to undergraduate students of engineering, in which an active methodology –Prediction, Observation, Discussion, Synthesis (PODS)– was proposed, as well as a remarkable educational tool, discrepant experiments (DeX's). Drawing on previous studies, we assume this type of DeX is favorable for having a good learning atmosphere into the classroom activities. Using PODS-DeX's as new active methodology, it was implemented in 3 experimental groups in a physics course and their performance was compared with a control group. Hake's average normalized learning gain and Bao's evolution vector obtained by Bao's concentration factor were utilized for measuring the students' performance by means of a conceptual inventory on Bernoulli's law in both groups. Based on these measurements, the results of the conceptual test strongly suggest that the use of PODS-DeX's strategies can increase the learning gain about Bernoulli's law far better than traditional methodology. In most cases, the PODS-DeX's courses are more than twice as effective in constructing basic concepts as traditional courses, given by  $\langle g \rangle_{PODS-DeX} = 2.38 \langle g \rangle_{trad}$ . Hake's average normalized learning gain and Bao's evolution vector have determined an active methodology as PODS-DeX promotes better conceptual learning of the Bernoulli's law than the traditional methodology.



# Los huertos escolares y su potencial como innovación educativa

## School gardens and their potential as educational innovations

Tatiane de Jesus Marques Souza, Mamen Cuéllar Padilla

*Equipo de investigación en Agroecología, Soberanía Alimentaria y Bienes Comunes, Universidad de Córdoba. Córdoba. España*  
golum5@yahoo.com.br, mcuellar@uco.es

**RESUMEN** • Las crisis alimentarias influyen directamente en el desarrollo de los niños y niñas en diferentes contextos sociales. Una de las propuestas para trabajar esta cuestión son los huertos escolares. En esta investigación, presentamos una herramienta de análisis sobre los aportes innovadores que en la práctica puede proporcionar un huerto escolar, para aunar procesos educativos y de inserción social en contextos empobrecidos. Aplicamos esta herramienta de análisis, desarrollada a partir de una profunda revisión bibliográfica, a un estudio de caso para mostrar su utilidad. Las principales conclusiones se centran en que, si bien los huertos escolares *per se* tienen un alto potencial innovador como herramienta educativa, esta puede no desarrollarse según sea el origen del huerto, el diseño al que responde, así como el proceso de desarrollo que le acompaña.

**PALABRAS CLAVE:** Agroecología escolar; Herramienta de análisis; Contextos empobrecidos

**ABSTRACT** • Food crises directly influence children's development in different social contexts. One of the proposals to work on this issue are school gardens. In this research, we present an analysis tool on the innovative contributions that a school garden can provide in practice, to combine educational processes and social insertion in impoverished contexts. This analysis tool, developed from a thorough scientific literature review, was applied to a case study to show its usefulness. The main conclusions focus on the fact that, although school gardens *per se* have a high innovative potential as an educational tool, this may not develop depending on the origin of the garden, the design to which it responds, as well as the development process that accompanies it.

**KEYWORDS:** School agroecology; Analysis tool; Impoverished contexts.

Recepción: enero 2019 • Aceptación: diciembre 2020 • Publicación: junio 2021

Marques Souza, T. J. y Cuéllar Padilla, M. (2021). Los huertos escolares y su potencial como innovación educativa. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 163-180.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2886>

## INTRODUCCIÓN

La crisis alimentaria, evidenciada por un acceso insuficiente a alimentos sanos y adecuados de una parte de la población (Grain, 2011), es uno de los retos de la escuela actual y sus entornos, que involucra cuestiones sociales, ecológicas, políticas y económicas.

Una herramienta que surge para trabajar esta problemática son los huertos escolares ecológicos (Colín, Hernández y Monroy, 2012). En términos productivos, posibilitan obtener alimentos para el autoabastecimiento de quienes los manejan, siendo una opción para aportar alimentos frescos (FAO, FIDA, OMS, PMA y Unicef, 2019), además de cuidar del ambiente y de la salud (Lei, 2018).

En términos epistemológicos, posibilitan un espacio práctico de investigación de las ciencias naturales y de adquisición de conocimientos básicos relacionados con las matemáticas, la física, la química, la biología, la ecología o las ciencias sociales (Kaufman, 1995), así como conocimientos sobre factores climáticos, históricos, socioculturales y económicos (Puente, 2012). Permiten construir relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad (Strieder, Bravo y Gil, 2017). Escutia (2009) los define como un modelo práctico a escala reducida de organización biológica y ecológica, donde se pueden descubrir y aprender las estrechas relaciones entre el ser humano y la naturaleza.

Todas esas dimensiones hacen que el huerto bajo manejo agroecológico esté considerado una innovación cuando se desarrolla en el ámbito escolar (Eugenio, Zuazagoitia y Ruiz-González, 2018; Eugenio y Aragón, 2016), donde dialogan dos elementos conceptuales clave: la innovación educativa y la agroecología.

El término *innovación educativa* emerge con fuerza en los años setenta y ochenta, cuando fue utilizado en el movimiento por el cambio escolar, cuyo énfasis estaba centrado en el protagonismo del profesorado (Fullan, 2002). Con la ola de las reformas educativas a nivel global en los noventa, el foco de las propuestas innovadoras se puso en la descentralización, para aumentar la autonomía de las escuelas principalmente en países de América Latina como Argentina, México, Colombia, Chile y Brasil (Gajardo, 2012).

En la primera década del presente siglo, la acción innovadora se asoció a propuestas como la inserción de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la educación (Hernández, 2017), el cambio del protagonismo del profesorado en la institución educativa (Bolívar, Domingo, Escudero, García y González, 2007) y la inserción de una perspectiva de transformación desde abajo, con propuestas como las comunidades educativas o las redes pedagógicas (Unesco, 2016).

Esta diversidad lleva a investigadores como Huberman (1973), Barraza (2005) y Poggi (2011) a plantear que el concepto de innovación educativa puede tener muchos matices y sentidos, siendo difícil de limitar y estando siempre en proceso de construcción. La complejidad viene identificada con su carácter polisémico (Rivas, 2000; Ríos y Reinoso, 2008), y por estar condicionada por posicionamientos políticos, sociales, culturales, epistemológicos e históricos (Blanco y Messina, 2000).

Cunha (2008) comprende la innovación como un proceso humano, donde su acción sobre el ambiente o el medio social promueve cambios que ocurren en un determinado lugar, tiempo y coyuntura. Así, el contexto es determinante, pues lo que puede ser innovador en un sitio en otro no lo es (Ortega et al., 2007). En este sentido, Poggi (2011) considera algunas innovaciones como reinventiones, reinterpretaciones y reconceptualizaciones.

Tal como constatan Ortega et al. (2007), no existe en la actualidad, en los enfoques sobre innovación educativa, el uso de un único modelo innovador, pero sí de varios modelos para la construcción de criterios, que permiten disponer de informaciones indispensables para la caracterización de una innovación y sus posibilidades de éxito, donde es aconsejable que los criterios sean constantemente revisados y aplicados con flexibilidad.

El segundo término clave es la *agroecología*, como marco de desarrollo de los huertos escolares ecológicos. Se trata de un marco de investigación-acción (Sevilla, 2011) que viene trabajando procesos de innovación educativa a través de proyectos vinculados con el manejo de bienes naturales, con los conocimientos locales y tradicionales asociados a este (Altieri y Nicholls, 2016) y con la mirada compleja de la ciencia posmoderna y transdisciplinar (vinculada a los bienes comunes y su utilización) (Anderson, Maughan y Pimbert, 2018; Llerena y Espinet, 2017; Cuéllar, 2011; Cuéllar, 2013).

La agroecología ha observado los huertos escolares desde la epistemología de la complejidad (Morin, 2016). Con el objetivo de estudiar nuevas alternativas productivas sostenibles, que no comprometan los bienes naturales y puedan contribuir a la autonomía de las comunidades, ha hecho uso de la ecología, la sociología, la economía o las teorías de los movimientos sociales (Sevilla, 2006) para analizar estas propuestas y plantea cuestiones como la necesidad de incorporar usos ecológicos que permitan cerrar los ciclos de materia y energía, basados en el uso de insumos localmente disponibles y en diseños adaptados a la cultura local alimentaria (Gliessman, 2013). En aquellos casos donde esta se ha perdido, plantea su recuperación, utilizando variedades locales o tradicionales, que generan autonomía en la escuela (Toledo y Barrera-Bassols, 2008).

Estos aportes técnicos al diseño de los huertos vienen acompañados de los elementos que componen la dimensión sociopolítica y cultural de la agroecología (Toledo y González de Molina, 2007) (de ahí la mirada compleja), representada por el marco conceptual de la soberanía alimentaria, que iría en la línea de la participación como un derecho, y no un instrumento (Fernández-Casadevante, 2017). En este sentido Llerena y Espinet (2017) proponen una transposición didáctica donde la perspectiva agroecológica se pueda adaptar a la enseñanza en la escuela, utilizando para ello el huerto escolar.

Partiendo de estas miradas, nos planteamos con la presente investigación responder a los siguientes objetivos:

1. Desarrollar una herramienta que permita analizar y generar reflexiones en torno a los huertos escolares, en cuanto al desarrollo efectivo de su potencial de innovación educativa.
2. Ilustrar su utilidad y los resultados de tipo reflexivo y analítico que ofrece, a través de su aplicación en un estudio de caso.

## METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos propuestos, hemos seguido dos procesos metodológicos distintos. El primero se ha desarrollado estudiando e identificando las características de las innovaciones educativas y la evolución de este concepto. Hemos recopilado el significado del término, las clasificaciones y tipologías construidas y los ejemplos de experiencias o tendencias que se consideran innovadoras. Así, más allá de investigar clasificaciones exactas para la innovación, hemos buscado identificar los consensos y las confluencias en su reconocimiento.

La mayor parte de los artículos utilizados fueron buscados en revistas de sociología de la educación de los últimos diez años, a través de herramientas como Google, Dialnet, Redacly y Scopus. Las palabras clave en la búsqueda fueron: «innovaciones educativas», «innovaciones pedagógicas» y «huertos escolares». Hemos analizado más de 150 artículos científicos, además de informes y libros, fundamentalmente de origen latinoamericano, donde hemos encontrado una prolífica e interesante producción. Sobre la base de esto y de las categorías de análisis utilizadas en estos textos, así como las propuestas desde la agroecología para el análisis de innovaciones sustentables (Cuéllar, 2011; Cuéllar, 2013), construimos una herramienta de reflexión y análisis de innovaciones educativas, adaptada a los huertos escolares.

El segundo proceso metodológico permitió la aplicación de la herramienta de análisis construida a un estudio de caso, para mostrar su utilidad. Esta aplicación se realizó a través de entrevistas y un taller participativo en un huerto escolar en la región de Huasco, Chile, en la escuela José Miguel Carrera - E. J. M. C., en el que participaban 28 estudiantes de séptimo año.

Este huerto fue impulsado en 2013 por el Ayuntamiento, a través de un proyecto del Fondo de Solidaridad e Inversión Social (FOSIS) del Gobierno de Chile. La escuela, gracias al compromiso firme de un profesor, logró mantenerlo por dos años, periodo tras el cual acabó la financiación.



Fig. 1. Estructura física del huerto escolar del Colegio José Miguel Ferreira, Huasco, Chile.

Las técnicas empleadas en el desarrollo del estudio de caso están detalladas en la tabla 1.

Tabla 1.  
Trabajo de campo desarrollado

<i>Técnicas utilizadas (número de veces)</i>	<i>Perfil social</i>	<i>N.º de personas participantes</i>	<i>Objetivos</i>
Entrevista semiestructurada individual (30)	Madres	5	Entender: a. El significado del huerto y los aportes que ha supuesto a la comunidad escolar. b. La organización del huerto y su proceso de conformación
	Estudiantes (5.º, 6.º, 7.º y 8.º año)	19	
	Profesores/as	6	
Taller grupal (1)	Profesorado	20	Indagar y generar una discusión colectiva sobre las acciones desarrolladas alrededor del huerto relacionadas con la cuestión ambiental, la participación de los distintos agentes, la alimentación saludable y las prácticas educativas.

Fuente: Elaboración propia.

Las entrevistas fueron desarrolladas siguiendo un muestreo intencional opinático (Olabuénaga, 1998). Tratamos de contar con las miradas de los diferentes actores que componen la escuela (madres, profesorado y estudiantado), y que a su vez estuviesen disponibles en el momento de desarrollar el trabajo de campo.

El guion utilizado se centró en las siguientes ideas fuerza: la valoración de la experiencia del huerto en la escuela; la percepción acerca de su utilidad; la percepción de los vínculos entre huerto y medio ambiente; la percepción del huerto como actividad en el centro; la percepción de la comunidad movilizadora alrededor de este; los vínculos entre el huerto y las distintas disciplinas o proyectos del centro; y la percepción de la alimentación en el hogar y las dietas y su vínculo con el huerto.

La información recabada se transcribió y se analizó a través del *software* Atlas.ti. La codificación realizada, dados los objetivos que se perseguían con el desarrollo del estudio de caso, fue de tipo deductiva (Olabuénaga, 1998), siguiendo los criterios identificados en la herramienta de evaluación y análisis elaborada (que se presenta en el siguiente epígrafe). El análisis desarrollado a partir de esta codificación fue de tipo interpretativo (Olabuénaga, 1998).

Por su parte, el taller participativo fue organizado con el profesorado con el objetivo de generar un espacio donde los integrantes tuviesen la posibilidad de reflexionar en torno a la iniciativa del huerto (Aponte, 2015). La técnica utilizada, DAFO, fue útil para identificar, en torno al huerto como instrumento educativo en un contexto social desfavorecido, sus problemas, sus impactos, sus causas y consecuencias (Alguacil, 2011), así como aquellos aspectos que estaban facilitando su desarrollo como innovación educativa en el presente, y que podrían reforzar este papel del huerto en el futuro.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la investigación son de dos tipos: *a*) la construcción de la herramienta de reflexión y análisis de los huertos escolares como innovaciones educativas, que permite caracterizarlos y analizar el desarrollo efectivo de su potencial innovador en diferentes contextos; *b*) los aprendizajes obtenidos de la aplicación de la herramienta al estudio de caso, ejemplificando la utilidad de la herramienta y el alcance de su capacidad analítica.

### Herramienta de análisis de los huertos escolares como innovaciones educativas

El modelo diseñado para caracterizar y analizar los huertos escolares como innovaciones educativas se ha construido según cuatro criterios o ejes de análisis. Dentro de cada eje establecemos las distintas opciones que nos ayudarán a definir si el huerto escolar supone una propuesta pedagógica poco innovadora, o si por el contrario es una propuesta que ha desarrollado de manera importante su potencial transformador.

El primer eje de análisis se centra en si el huerto como proyecto va acompañado del uso de *epistemologías y paradigmas* que rompen con el interés puramente técnico instrumental (Barraza, 2013). Este criterio es identificado como uno de los principales elementos en el desarrollo de prácticas educativas innovadoras (Candido y Penaforte, 2014; Cunha, 2008; Longas et al. 2008; Murga, 2009). En segundo lugar, la *participación* es una de las características claves de la innovación (Cunha, 2008), ya que posibilita la construcción del sentimiento de pertenencia, e implica aprender juntos, reconocer y aceptar la diversidad (Albornoz, Silva y López, 2015). Esto está estrechamente ligado al *origen* del huerto, esto es, la participación puede depender de si su surgimiento se ha producido dentro del espacio escolar o no, y de si sus promotores forman o no parte del cuerpo escolar. En tercer lugar, si *el ámbito* del huerto se incorpora a la comunidad y de qué manera, es decir, en qué medida se insertan en el proyecto del huerto objetivos sociales de la comunidad, tales como sus necesidades, o la apertura de la escuela a propuestas hechas por la comunidad, que reflejan una valorización del contexto, sus conocimientos y experiencias. En cuarto lugar, el tipo de *diseño* que se hace en el huerto en términos técnicos, analizando su proximidad a los principios de la agroecología.

Cada uno de estos cuatro ejes analíticos se ha estratificado en una gradación que va desde opciones que suponen un nivel bajo de innovación, hasta las opciones que suponen niveles de innovación más elevados (más a la derecha en la figura 2), pues implican una capacidad de transformación de la escuela y del entorno mayor. Las opciones dentro de cada uno de los criterios se explican a continuación.

### *Eje de análisis «Cambio epistemológico y paradigmático»*

La AAEA (2013) defiende que no se puede considerar una propuesta como innovación educativa si no supone una ruptura con el marco de pensamiento científico positivista. Algunas claves de ruptura que proponen son: la asunción de la complejidad (Cunha, 2008), la multidisciplinariedad, la globalidad y la multimetodología (Murga, 2009), la unión del conocimiento y la acción (AAEA, 2013; Sutz, 2012).

Según Ríos y Reinoso (2008) y Aneas (2010), la educación ha sido influenciada principalmente por tres reconocidas orientaciones o paradigmas de la comprensión de la realidad: el positivismo, la fenomenología hermenéutica y el paradigma crítico o social. Aneas (2010) añade a estos el emergente paradigma de la complejidad, que en ciencias de la educación también se ha denominado *paradigma ecosistémico*.

Así, la propuesta del huerto escolar puede ser profundamente innovadora cuando su concepción y planeamiento estén respaldados por las epistemologías y paradigmas que promuevan una educación más allá de los muros de la escuela, de tipo complejo. Los pasos intermedios hacia este grado de innovación serían, en el otro extremo, que la propuesta tuviera un fondo positivista, y encontraríamos en el medio propuestas basadas en una mirada hermenéutica y una mirada de tipo sociocultural.

### *Eje de análisis «Participación y origen»*

El estímulo a la participación entre los estudiantes ayuda en el combate contra las diferencias educativas y sociales, y en la inserción de la familia y de los centros en los contextos político, económico, social y cultural en los que están inmersos (Flecha, García, Gómez y Latorre, 2009).

Además, la intervención de la comunidad en la toma de decisiones también viene siendo reconocida como una característica innovadora, principalmente porque puede romper con el posicionamiento del profesorado como protagonista del proceso innovador, y con la idea de escuela como sistema cerrado. También puede contribuir con la formación de procesos de autonomía social de la comunidad (Bolívar et al., 2007).

En relación con el rol del profesorado, identificamos un debate interesante. Para Cunha (2008), Margalef y Arenas (2006) y Domingo (2004), por ejemplo, la gestión debe ser participativa, pero el profesorado es quien debe dirigir el proceso. La AAEA (2013), sin embargo, plantea que el profesorado no es el único actor relacionado con el problema, por lo que no debe ser el único que promueva y dirija la solución. Así, la producción del conocimiento para la innovación debe darse de manera colectiva, y por lo tanto es la comunidad la protagonista del proceso.

Cuando se trata del huerto, este puede funcionar sobre la base de diferentes formas de gestión, pero es muy difícil que no se encuentre en ellas procesos participativos, dado que favorece el desarrollo de habilidades para autoorganizarse a través de prácticas democráticas como la asamblea, la toma de decisiones colectivas y los presupuestos participativos (Eugenio-Gozalbo, Pérez-López y Tójar Hurtado, 2020). De más o menos grado, estas siempre se hallan insertadas, así que la propia metodología de funcionamiento del huerto de forma colectiva puede ser una contribución, una innovación en el proceso pedagógico. Sin embargo, hay gradientes. En el extremo derecho de la figura 2 estarían los huertos escolares construidos en forma de proyectos, donde el objetivo es la producción del conocimiento integral (Vázquez, 2012), que responde a las necesidades de la comunidad, y por lo tanto está

inmerso en el desarrollo local, la producción, la posibilidad de microemprendimiento y la generación de recursos, donde pueden participar profesorado, estudiantado, madres, padres y otros (Ruiz Torrez y Mérida Serrano, 2014).

La participación así concebida está estrechamente ligada al origen de la innovación educativa. El debate de si surge desde dentro o desde fuera de la escuela está muy relacionado con el proceso de participación, ya que los que defienden la primera idea generalmente también apoyan que el profesorado debe ser el promotor del proceso (Cunha, 2008; Bolívar et al., 2007). Aunque otros expertos consideran que la característica innovadora está centrada en la diversidad de sujetos que elaboran su acción (Días-Gibson, Civis, Carrillo, y Cortada, 2015; Unesco, 2016).

Dentro de este debate, considerando que los cambios más profundos se realizan cuando existe una participación de la comunidad en la innovación educativa, y que esta participación es más madura cuando se trata de una comunidad proactiva, con un sentimiento de pertenencia y de capacidad de incidencia en el espacio educativo, consideramos que un huerto escolar será tanto más innovador cuando el impulso del proceso y de la propia idea provenga del entorno social de la escuela.

### *Eje de análisis «Ámbito de actuación»*

Este aspecto se aborda básicamente en dos sentidos: por un lado, la escuela debe actuar con la comunidad en las problemáticas sentidas por los sujetos en el contexto donde está enclavada la escuela; por el otro, debe ser la propia comunidad la que, participando de la toma de decisiones de la escuela, construya las innovaciones.

En el primer caso, se plantea la idea de que la escuela no puede estar aislada de su entorno, sino que debe ejercer su papel como parte de un proceso de educación, en colaboración con otros agentes de la comunidad que desempeñan lo que se conoce como educación no formal e informal (AAEA, 2013; Domingo, 2004). En el segundo caso, la escuela, al abrirse a la comunidad y a sus formas de organización y representatividad, se transforma a sí misma en la propia comunidad (Margalef y Arenas, 2006). Lo que plantean estos abordajes es la necesidad de desarrollar la acción o la praxis escolar, trabajando con situaciones reales que problematizan el día a día de las personas que viven en la comunidad. Se trata, como plantean Longas et al. (2008), de ampliar el foco educativo hacia el socioeducativo.

Para este criterio, y basándonos en una propuesta de Ríos y Reinoso (2008), hemos establecido los siguientes elementos concretos: *a*) la finalidad del huerto; *b*) la temporalidad; *c*) los participantes y promotores; *d*) el espacio donde se desarrolla el huerto; *e*) si la innovación es de tipo institucional, pedagógica y/o social; *f*) las utilidades prácticas que generan; y *g*) los resultados según la perspectiva de las personas participantes (véase cuadro 2).

### *Eje de análisis «Diseño técnico»*

Los elementos que aporta este criterio se fijan en el tipo de manejo de los bienes comunes que presenta el huerto. El grado menos innovador sería un diseño cuyo funcionamiento puede equiparar a un huerto convencional, en el que hemos sustituido los insumos agroquímicos por los ecológicos, sin afectar de ninguna manera al propio diseño y planificación del huerto. Un paso más avanzado en el diseño sería aquel que responde a la propuesta agroecológica de establecer diseños ecológicos, esto es, que permiten cerrar ciclos de materia y energía, basados en recursos localmente disponibles (Gliessman, 2013). El grado de innovación máxima que podemos encontrar sería un diseño del huerto basado en los conocimientos tradicionales del lugar y en la cultura tradicional alimentaria del territorio, que corresponden con la propuesta agroecológica en sus dimensiones socioeconómica y cultural (Sevilla, 2011; Llerena, 2015).

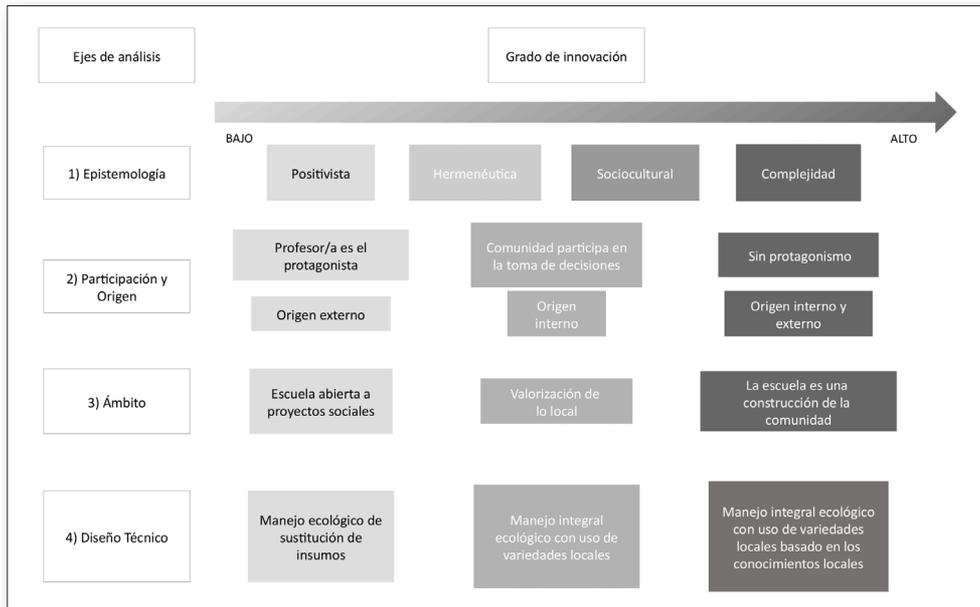


Fig. 2. Modelo de evaluación de una innovación educativa.

### Aplicación de la herramienta de análisis al estudio de caso

La aplicación del modelo de análisis al caso elegido nos permite poner a prueba su utilidad, así como generar reflexiones interesantes sobre el huerto escolar como innovación educativa.

#### *Sobre el cambio epistemológico y paradigmático*

Si bien la orientación inicial del huerto partió de un interés práctico relacionado con el acceso a la alimentación de las familias, el diseño final respondió a una adaptación a las posibilidades que había: un instrumento en el que fomentar los procesos de aprendizaje e investigación del alumnado implicado y que permitiese relacionarlo con su potencial de satisfacción de las necesidades de alimentación de sus familias.

No sacamos lamentablemente mucho beneficio, sacamos la producción bien poquita, más que nada para que los niños comieran y probaran, pero no alcanzamos, la idea era, el sueño nuestro era llevar la planta esa al hogar, a los huertos familiares. (Docente responsable del huerto, entrevista individual, 25 de abril de 2016).

Este hecho y el modo en que se ha desarrollado el huerto constituyen características propias de una orientación epistemológica de tipo hermenéutico-interpretativa, donde según Aenas (2010) la acción se orienta hacia la comprensión del mundo y las interacciones de mutua influencia que se produce entre el sujeto, su medio y los otros. No fue objetivo del proyecto del huerto la emancipación de los sujetos involucrados, como sería en la orientación sociocultural (Ríos y Reinoso, 2008), ni tampoco un abordaje complejo que pusiera en interacción el trabajo del huerto con los diferentes conocimientos trabajados en la escuela ni con los procesos comunitarios que se estaban desarrollando. No obstante, tampoco fue una experiencia basada en objetivos positivistas con prácticas mecanicistas, con la intención de establecer un aprendizaje solamente de técnicas de cultivo.

### *Sobre la participación y el origen*

La iniciativa fue externa (del Ayuntamiento) y tuvo el apoyo de uno de los profesores y de la dirección del centro. Esta situación ha sido una de las causas de que, aunque se logró obtener algunos de los resultados esperados, una vez que el apoyo desapareció y que el profesor que había asumido la actividad inicialmente la abandonó, el proyecto finalizó (Eugenio-Gozalbo et al., 2020). Otros trabajos que abordan las dificultades de los huertos escolares demuestran que, entre los principales problemas, está la poca participación o falta de apropiación de la comunidad escolar del proyecto del huerto (Huys et al., 2017; Nuttall y Millington, 2018).

De hecho, en el taller realizado con los profesores, uno de los desafíos destacados fue el de trabajar el huerto escolar vinculando a las familias.

[...] FOSIS que implementó esto del huerto, dejó todos los insumos y más que nada infraestructura, pero lo que comentaban los colegas es que no hubo una capacitación plena para que ellos pudieran llevarlo, entonces si estaban, funcionaba; y si no estaban, no funcionaban. No participaban todos los estudiantes y profesores. Me parece que solo participaban algunos profesores, los que querían participar, no eran todos, los papás no han sido integrados. (Docente, entrevista individual, 26 de abril de 2016).

En este sentido, las dinámicas de participación de la comunidad, muy influenciadas por el origen del proyecto, hacen que el proceso no haya tenido un grado ni tan siquiera medio de innovación. Además, destaca la falta de formación tanto del ámbito agrícola como educativo, necesaria para llevar a cabo una construcción participativa del huerto (Eugenio y Aragón, 2016).

### *Sobre el ámbito de actuación*

Utilizando los elementos señalados, que se han tomado del modelo de Ríos y Reinoso (2008), presentamos a continuación (tablas 2 y 3) las respuestas que podemos encontrar, de forma genérica, en un huerto escolar, y las que encontramos en el estudio de caso analizado.

Tabla 2.  
Descripción del huerto como innovación según sus finalidades, su temporalidad y sus participantes y promotores

<i>Dimensiones de análisis</i>	<i>Huertos escolares en general</i>	<i>Huerto José Miguel Carrera</i>
<i>Finalidades de los huertos escolares</i>	Adaptar el proceso de enseñanza-aprendizaje a las necesidades del alumnado	+
	Integración entre conocimientos teóricos y prácticos	+
	Establecer una relación directa entre estudiantado y naturaleza	+
	Concienciar de los problemas medioambientales	+
	Proporcionar experiencias prácticas en la producción de alimentos y manejo de los recursos naturales	+
	Apoyar la aplicación del conocimiento adquirido en el huerto en sus casas	+
	Mejorar la alimentación, con oferta de productos frescos y aumentar el conocimiento sobre nutrición	+
	Adquirir responsabilidad en los hábitos cotidianos, valorando la importancia del consumo respetuoso con el medio ambiente	-
	Fomentar actitudes cooperativas	-

<i>Dimensiones de análisis</i>	<i>Huertos escolares en general</i>	<i>Huerto José Miguel Carrera</i>
<i>Finalidades de los huertos escolares</i>	Desarrollar la capacidad de buscar, reconocer, plantear y resolver problemas, usando la capacidad de análisis y de síntesis como instrumentos de comprensión de la realidad	-
	Estimular la organización autónoma, la comunicación y sociabilidad del estudiantado	-
<i>Temporalidad</i>	Corto, medio y largo alcance	Medio (2 años)
<i>Participantes y promotores</i>	Padres/madres, estudiantado, profesorado, representantes de la comunidad, Universidad, Administración pública, empresa	<i>Promotor:</i> Administración pública (Ayuntamiento) y un profesor <i>Participantes:</i> estudiantado, un profesor

*Fuente:* Elaboración propia a partir de: FAO (2010); FAO y MINEDU (2013); Vitor, Fernandes, Rodrigues e Silva y Moreira (2014); Hoces et al. (1996); Merçon et al. (2012); Rodríguez (2016); Vera (2014); Da Silva (2006).

Los huertos escolares centran su finalidad en la mejora de los procesos pedagógicos, principalmente en la aproximación de la teoría a la práctica y en el desarrollo de la capacidad de percepción y responsabilidad sobre necesidades asociadas, entre otras, a la problemática ambiental y alimentaria (Espinete y Llerena, 2016; Eugenio-Gozalbo, Ramos Truchero y Vallés Rapp, 2019). El huerto E. J. M. C., aunque tuviera la intención inicial de proporcionar plántulas para los huertos familiares, en la práctica terminó por desarrollar los objetivos pedagógicos y se acercó a la experiencia de los otros huertos.

El corto espacio de tiempo en el cual funcionó el proyecto fue suficiente para desarrollar la percepción de la comunidad escolar acerca del huerto como un medio con el cual es posible relacionarse con la naturaleza, independientemente de la cantidad de producción. «Los niños se tornan más responsables, valoran los vegetales, la cosecha, cuidan más de las plantas» (Madre, entrevista individual, 27 de abril de 2016).

Sobre la cuestión del espacio utilizado, el tipo, la utilidad y los resultados alcanzados en el ámbito del huerto escolar destacamos los siguientes puntos (tabla 3).

Tabla 3.  
Descripción del huerto como innovación según el ámbito y el tipo de innovación que desarrolla, la utilidad y los resultados esperados

<i>Dimensiones de análisis</i>	<i>Huertos escolares en general</i>	<i>Huerto José Miguel Carrera</i>
Ámbito de la innovación	Aula, escuela, comunidad.	Aula, escuela.
Tipo de innovación	Pedagógica	Pedagógica: huerto como actividad práctica relacionada con contenidos teóricos y con la realidad ambiental y social
	Institucional	-
	Social	-
Utilidad práctica	Mejora de las relaciones personales	+
	Desarrollo de capacidades cognitivas	+
	Facilitación de abordajes interdisciplinarios	+
	Oferta de Espacio de acción práctica creativa de trabajo - Laboratorio vivo	+
	Oferta de alimento sano	+
	Integración con la comunidad	-

<i>Dimensiones de análisis</i>	<i>Huertos escolares en general</i>	<i>Huerto José Miguel Carrera</i>
<i>Resultados esperados</i>	Cambio cualitativo de estudiantado y profesorado	+
	Aprendizaje sobre el cuidado del ambiente escolar y de la naturaleza	+
	Aprendizajes útiles para la vida como: cooperación, responsabilidad, trabajo en grupo	+
	Estímulo de la autoestima en los estudiantes participantes	+
	Obtención de productos para venta o para consumo	-
	Participación	-
	Integración de contenidos	-
	Educación ambiental	-
	Educación para la ciudadanía	-
	Educación para la cooperación	-
	Educación para la seguridad alimentaria	-

*Fuente:* Elaboración propia a partir de: FAO (2010); FAO y MINEDU (2013); Da Silva, (2006); Hoces et al. (1996); Merçon et al. (2012); Rodríguez, (2016); Vera (2014); Vitor et al. (2014).

Según el esquema propuesto por Ríos y Reinoso (2008), el huerto escolar de la escuela José Miguel Carrera, por ser un proyecto desarrollado en la escuela cuyas relaciones no han ido más allá de sus muros, presenta características más propias de innovaciones meramente pedagógicas, pues no se ha establecido como un proyecto de tipo socioeducativo donde se implica a todos los sujetos de dentro y fuera de la comunidad educativa. Así, es una propuesta muy centrada en las prácticas pedagógicas de un profesor implicado, y relacionada exclusivamente con la propia actividad del huerto.

Entre los resultados citados por la comunidad educativa con respecto al huerto está la mejora del comportamiento de los educandos, en lo que se refiere a la responsabilidad, la cooperación y el cuidado de los bienes naturales. Esto fue constatado tanto por el profesorado, como por el estudiantado y por las madres, en consonancia con lo encontrado en otras experiencias con huertos escolares (Eugenio y Aragón, 2016; Eugenio-Gozalbo et al., 2019). Esto refleja la capacidad del huerto como innovación educativa, de llegar más allá de las personas directamente implicadas.

### *Sobre el diseño técnico*

En el huerto del caso de estudio, hemos observado principalmente los parámetros sociales (equilibrio entre fuerzas externas e internas al colegio, papel en la economía de producción de alimentos, satisfacción de las personas, componentes culturales como valores, formas de vida, organización de las instituciones, el factor político y el conocimiento técnico y práctico o ecocultural) y ecológicos (estabilidad, eficiencia, diversidad biótica, relaciones ecológicas, ciclo de nutrientes y manejo ecológico del sistema) presentes en un agroecosistema (Gliessman, 2006), donde la dependencia respecto a personas y materiales externos fue la principal problemática para la sostenibilidad del sistema (Only et al., 2016).

Aun así, el huerto estaba basado en un manejo ecológico, lo que muestra una orientación hacia la sostenibilidad. Esa orientación contribuye a la reflexión sistémica y al pensamiento holístico sobre la realidad (Eugenio, Zuazagoitia y Ruiz-González, 2018), aun no siendo el objetivo del proyecto.

Además, elementos como el cuidado diario del huerto, el riego, el control de las hierbas adventicias, la poda, la organización de quién, cómo y cuándo trabajar en el huerto, entre otras tareas, que exige planeamiento, diálogo y organización, refuerzan esa perspectiva de plantear y generar reflexiones sistémicas en torno a cuestiones no solo ambientales, sino también socioeconómicas y culturales (Llerena y Espinet, 2017).

En nuestro estudio de caso, un ejemplo de actividad orientada hacia la sostenibilidad fue el interés en buscar y producir semillas. El hecho de que un huerto busque sus propias semillas, sea por factores económicos o por autonomía, contribuye, según Soriano, Carrascosa, González, García y Sanz (2012), a una estrategia más amplia de conservación de la biodiversidad, actuando en la disminución de la erosión genética de especies agrícolas que forman parte de nuestra alimentación. «Nosotros mismos traíamos la semilla y alcanzamos a sacar algunas otras semillas». (Docente responsable del huerto, entrevista individual, 25 de abril de 2016).

Otro ejemplo fue la actividad con las lombrices, que generó motivación. «Me gustaría aprender cómo se crían (las lombrices) y como se van reproduciendo las lombrices californianas, por qué, cómo se aparean». (Estudiante participante del huerto, entrevista individual, 24 de abril de 2016).

Así como la del compost, una de las principales actividades en un huerto ecológico. Esta permitió el reciclaje de nutrientes en el sistema y a los estudiantes una mirada al tratamiento de residuos orgánicos y al entendimiento del propio ciclo de la vida (Kaufman, 1995).

Uno de los factores sociales observados en este sistema huerto tiene relación con el hecho de que prácticamente todo el manejo fue construido según el conocimiento que tenía el maestro responsable que había vivido en el campo con sus padres, o sea, rescatando un conocimiento empírico local, aunque este hecho no estaba visibilizado ni valorado en la comunidad educativa, pues no se había desarrollado ningún proceso de rescate colectivo de conocimientos.

Yo provengo de una familia de agricultores, donde mis tíos, siempre a mí me gustó cosechar [...] lo que admiro es que ellos tenían todo el año cosecha, podía ser el poroto, el trigo... la carne seca, todos ellos no necesitaban comprar. (Docente responsable del huerto, entrevista individual, 25 de abril de 2016).

Todos esos factores nos llevan a caracterizar el sistema del huerto de la E. J. M. C. como un sistema en inicios hacia una transición agroecológica.

## CONSIDERACIONES FINALES

Los huertos escolares tienen, de por sí, un alto potencial como herramienta de innovación educativa, porque por su naturaleza promueven una ruptura con el modelo teórico de enseñanza, y aproximan al estudiantado al espacio abierto, natural, fomentando la relación con el medio y las problemáticas encontradas en él. También favorecen la participación, el construir y solucionar juntos, estimulando la creatividad y permitiendo la producción de alimento y la alimentación fresca, que es una de las problemáticas relacionadas con la inseguridad alimentaria a nivel global. Eso ayuda en el desarrollo de un pensamiento crítico constructivo para la resolución de problemas, además de promover la conciencia ambiental.

No obstante, hay elementos que pueden limitar el potencial innovador que presenta un huerto escolar. El huerto analizado en este caso de estudio, el de la escuela José Miguel Carrera, fue una propuesta innovadora, principalmente por su finalidad de traer una problemática de la comunidad dentro de la escuela y utilizar una nueva forma de aprender ciencias naturales más allá de la pizarra. Su principal sombra estuvo en el origen de la iniciativa y en la nula participación de la comunidad escolar, que ha estado muy restringida principalmente a dos sujetos, una clase de estudiantes y un profesor. Así, tener iniciativa por proyectos innovadores no es suficiente, pues si no hay diálogo e implicación de al menos una parte del resto de la comunidad escolar, su enfoque epistemológico y paradigmático difícilmente podrá ser el de la complejidad y la transdisciplinariedad.

La participación aparece como un elemento clave de un huerto escolar, y el más difícil de conseguir. Hacer que la comunidad escolar y la comunidad social alrededor de esta adopten el proyecto es complejo, y debe abordarse desde el inicio. Aspectos como la importancia del trabajo colectivo, la toma de decisiones de manera participativa, la construcción de comunidad entre la escolar y la social, la sensibilización en torno a cuestiones como la alimentación y el medio ambiente son temas que han de ser abordados previamente.

Una de las principales fortalezas de la herramienta analítica propuesta, además de que permite identificar proyectos innovadores, ha sido generar reflexión sobre las potencialidades no desarrolladas. En el caso de estudio se han encontrado principalmente las siguientes ideas: *a*) Permite una ruptura con la epistemología positivista de construcción del conocimiento, pues el foco principal es siempre la aproximación entre teoría y práctica; *b*) la apertura a los sujetos internos y externos que componen la comunidad educativa es clave, y es difícil; *c*) y es importante conectar el huerto con el contexto global y local, desde el punto de vista ambiental y socioeconómico, para generar estos aprendizajes y facilitar la construcción colectiva de soluciones creativas.

En general, consideramos que los huertos escolares constituyen una herramienta de innovación que exige desde su planteamiento inicial una mirada epistemológica compleja y transdisciplinaria; la inclusión de perfiles académicos y sociales diversos; la inclusión de las demandas, problemáticas y realidades de la comunidad social; el diseño de procesos colectivos y participativos; y el diseño de manejos ecológicos que incorporen las dimensiones socioeconómicas y culturales de la agroecología.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albornoz, N., Silva, N. y López, M. (2015). Escuchando a los niños: Significados sobre aprendizaje y participación como ejes centrales de los procesos de inclusión educativa en un estudio en escuelas públicas en Chile. *Estudios Pedagógicos*, *XLI*, n.º especial, 81-96.  
<https://doi.org/10.4067/s0718-07052015000300006>
- Alguacil, J. G. (2011). *Cómo se hace un trabajo de investigación en sociología*. Madrid: Catarata.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. (2016). Hacia una nueva pedagogía agroecológica. *Ae*, *24*, 10-11.
- Anderson, C., Maughan, C. y Pimbert, M. (2018). Transformative Agroecology learning in Europe: building consciousness, skills and collective capacity for food sovereignty. *Agriculture and human values*, *36*, 531-547.  
<https://doi.org/10.1007/s10460-018-9894-0>
- Aneas, A. (2010). Transdisciplinarietà: Una mirada para la educación intercultural en Latinoamérica. En J. J. Lizama Quijano (Coord.), *Los caminos de la educación intercultural en América Latina* (pp. 153-189). Barcelona: Icaria.
- Aponte, R. P. (2015). El taller como estrategia metodológica para estimular la investigación en el proceso de enseñanza-aprendizaje en educación superior. *Boletín Virtual*, octubre vol. 4-10, 49-55.
- Asociación Alemana para la Educación de adultos (AAEA) (2013). Educación pedagógica en la educación de personas jóvenes y adultas. Estudios con propuestas en educación de personas jóvenes y adultas. *Serie 14*.
- Barraza, M. A. (2005). Una conceptualización comprehensiva de la innovación educativa. *Innovación Educativa*, *5*(28), 19-31.
- Barraza, A. M. (2013). *¿Como elaborar proyectos de innovación educativa?* México: Universidad Pedagógica de Durango.
- Blanco, R. y Messina, G. (2000). *Estado del arte sobre las innovaciones educativas en América Latina*. Bogotá: Convenio Andrés Bello.

- Bolívar, A., Domingo J. S., Escudero J. M., García R. y González, M. T. (2007). *El centro como contexto de Innovación. Programa de formación en asesoría pedagógica curso de formación especializada en centros educativos*. Ministerio de Educación y Ciencia, España. <http://digibug.urg.es/bitstream/handle/10481/18609/el%20centro%20como%20contexto%20de%20innovaci%F3n.pdf;jsessionid=7AAEA35CE314CC18C2DE7D1FDF0289F7?sequence=1>
- Candido, F. F. y Penaforte, S. M. (2014). *Inovação pedagógica: Novas formas de relacionamento e atuação na aprendizagem significativa*. <https://docplayer.com.br/16554633Inovacao-pedagogica-novas-formas-de-relacionamento-e-atuacao-na-aprendizagem-significativa.html>
- Colín, H., Hernández C. A. y Monroy, R. (2012). El Manejo tradicional y agroecológico en un huerto familiar de México, como ejemplo de sostenibilidad. *Etonobiología*, 10(2), 12-28.
- Cuéllar-Padilla, M. y Calle-Collado, A. (2011). Can we find solutions with people? Participatory action research with small organic producers in Andalusia. *Journal of Rural Studies*, 27(4), 372-383. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2011.08.004>
- Cuéllar-Padilla, M., Calle-Collado, A. y Gallar, D. (2013). *Procesos hacia la soberanía alimentaria. Perspectivas y prácticas desde la agroecología política*. Barcelona: Icaria.
- Cunha, M. I. (2008). *Inovações pedagógicas: o desafio da reconfiguração de saberes na docência universitária*. São Paulo: Pró-Reitoria de Graduação, Universidade de São Paulo - USP.
- Da Silva, F. (2006). *A horta escolar na educação ambiental e alimentar: experiência do Projeto Horta Viva nas escolas municipais de Florianópolis*. Relatório para obtención do título de Engenharia Agrônômica. Curitiba: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Díaz-Gibson, J., Cívís-Zaragoza, M., Cortada-Pujol, M. y Carrillo-Álvarez, E. (2015). El liderazgo y la gobernanza colaborativa en proyectos educativos comunitarios. *Pedagogía Social. Revista Universitaria*, 26, 59-83. <https://doi.org/10.7179/PSRI>
- Domingo Segovia, J. (2004). Variables culturales en los procesos de desarrollo institucional. En 8.º *Congreso Interuniversitario de Organización de Instituciones Educativas*. Sevilla: Universidad de Sevilla, Servicio de publicaciones, Departamento de Didáctica y Organización Escolar (pp. 560-569). <https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/51721/Variables%20culturales%20en%20los%20procesos%20de%20desarrollo%20institucional.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Escutia, M. (2009). *El huerto escolar ecológico*. Barcelona: GRAO.
- Espinet, M. y Llerena, G. (2016). Agroecología escolar. En M. Eugenio y L. Aragón (Pres.). *I Encuentro de Huertos EcoDidácticos*. Soria.
- Eugenio, M. G. y Aragón, L. N. (2016). Experiencias en torno al huerto ecológico como recurso didáctico y contexto de aprendizaje en la formación inicial de maestros de Infantil. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(3), 667-679. [https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2016.v13.i3.11](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i3.11)
- Eugenio-Gozalbo, M., Pérez-Lopez, R. y Tójar-Hurtado, J. C. (2020). Identifying key issues for university practitioners of garden-based learning in Spain. *The Journal of Environmental Education*, 51(3), 246-255. <https://doi.org/10.1080/OO958964.2019.1687407>
- Eugenio-Gozalbo, M., Ramos Truchero, G. y Vallés Rapp, C. (2019). Huertos universitarios: dimensiones de aprendizajes percibidas por los futuros maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(3), 111-127. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2657>
- Eugenio-Gozalbo, M., Zuazagoitia D. y Ruiz-González, A. (2018). Huertos Ecodidácticos y Educación para la Sostenibilidad. Experiencias educativas para el desarrollo de competencias del profesorado en formación inicial. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 15(1), 1501. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92053414012>

- FAO (2010). *Promover hábitos alimentarios saludables durante toda la vida. Nuevas políticas de huertos escolares*. Roma: FAO. [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/red-icean/docs/Nueva\\_pol%C3%ADtica\\_de\\_huertos\\_escolares\\_-\\_FAO.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/red-icean/docs/Nueva_pol%C3%ADtica_de_huertos_escolares_-_FAO.pdf)
- FAO, FIDA, OMS, PMA y Unicef (2019). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2019. Protegerse frente a la desaceleración y el debilitamiento de la economía*. Roma: FAO. <http://www.fao.org/3/ca5162es/ca5162es.pdf>
- FAO y Ministerio de Educación del Estado Plurinacional de Bolivia (MINEDU) (2013). *Sistematización de experiencias exitosas de huertos escolares pedagógicos*. <http://www.fao.org/docrep/field/009/as225s/as225s.pdf>
- Fernández-Casadevante, J. L. (2017). Cultivando ciudades comestibles: las potencialidades de la agricultura urbana. En D. López, J. L. Fernández-Casadevante, N. Morán y E. Oteros-Rozas, *Arraigar las instituciones. Propuestas de políticas agroecológicas desde los movimientos sociales* (pp. 98-105). Madrid: Ed. Libros en Acción.
- Flecha, A., García, R., Gómez, A. y Latorre, A. (2009). Participación en escuelas de éxito: una investigación comunicativa del proyecto Includ-ed. *Cultura y Educación*, 21(2), 183-196. <https://doi.org/10.1174/113564009788345899>
- Flores, A. G. y Hernández, M. L. R. (2017): El conocimiento campesino como elemento de desarrollo local-endógeno de los urbicultores del valle de Tehuacán, Puebla. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, abril-junio 2017. <http://www.eumed.net/rev/cccss/2017/02/urbicultores-tehuacan.html>
- Fullan, M. (2002). El significado del cambio educativo: un cuarto de siglo de aprendizaje. *Profesorado, revista de currículum y formación del profesorado*, 6(1-2).
- Gajardo, M. (2012). La educación tras dos décadas de cambio. ¿Qué hemos aprendido? ¿Qué debemos transformar? *PREAL Serie Documentos*, 65, 5.
- Gliessman, S. R. (2006). *Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Costa Rica: Turrialba.
- Gliessman, S. R. (2013). Agroecología: Plantando las raíces de la resistencia. *Agroecología*, 8(2), pp. 19-26.
- Grain (2011). *Food safety for whom? Corporate wealth vs people's health*. <https://www.grain.org/article/entries/4230-food-safety-for-whom-corporate-wealth-versus-people-s-health>
- Hernandez, M. R. (2017). Impacto de las TIC en la educación: Retos y Perspectivas. *Propósitos y Representaciones*, 5(1), 325-347. <https://doi.org/10.20511/pyr2017.v5n1.149>
- Hoces, R. P., Montes, J. V., Barraza, J. A., Roperro, L. G., García, C. G., Morales, F. C. y Tarragona, F. G. (1996). *El huerto escolar en la educación secundaria obligatoria*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Educación y Ciencia.
- Huberman, A. M. (1973). *Cómo se realizan los cambios en la educación: una contribución al estudio de la innovación*. París: Unesco. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000137712>
- Huys, N., De Cocker, K., De Craemer, M., Roesbeke, M., Cardon, G. y De Lepeleere, S. (2017). School Gardens: A Qualitative Study on Implementation Practices. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1454. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121454>
- Kaufmann, C. (1995). Huertos, y más huertos. Investigando en la escuela infantil. *Investigación en la escuela*, 25, 87-100. <http://dx.doi.org/10.12795/IE.1995.i25.09>

- Lei, T. W. (2018). *Urban farms 'critical' to combat hunger and adapt to climate change*. Roma: Thomson Reuters Foundation. <https://www.reuters.com/article/us-global-agriculture-urbanisation/urban-farms-critical-to-combat-hunger-and-adapt-to-climate-change-idUSKBN1F01A9> (consulta: 19/12/2018).
- Llerena, G. D. C. (2015). *Agroecología Escolar Fundamentación teórica y estudio de casos sobre el desarrollo de los huertos escolares con el referente de la agroecología* (tesis doctoral). Barcelona: Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat d'Educació. [https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2015/hdl\\_10803\\_310614/gldc1de1.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tesis/2015/hdl_10803_310614/gldc1de1.pdf)
- Llerena, G. D. C. y Espinet, M. B. (2017). *Agroecología Escolar*. Sant Cugat del Vallès: Pol-len Edicions.
- Longás, J., Cívís, M., Riera, J., Fontanet, A., Longás, E. y Andrés, T. (2008). Escuela, educación y territorio. La organización en red local como estructura innovadora de atención a las necesidades socioeducativas de una comunidad. *SIPS - Revista Interuniversitaria de Pedagogía Social*, 15, 137-151. [https://doi.org/10.7179/psri\\_2008.15.11](https://doi.org/10.7179/psri_2008.15.11)
- Margalef, L. G. y Arenas A. M. (2006). ¿Qué entendemos por innovación educativa? A propósito del desarrollo curricular. *Perspectiva Educativa, Formación de Profesores*, 47, 13-31. Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Viña del Mar. <http://www.redalyc.org/pdf/3333/333328828002.pdf>
- Merçon, J., Escalona, M., Noriega, M., Figueroa, I., Atenco, A. y González, E. (2012). Cultivando la educación agroecológica. El huerto colectivo urbano como espacio educativo. *RMIE*, 17(55), 1201-1224.
- Morin, E. (2016). *Enseñar a vivir manifiesto para cambiar la educación*. Barcelona: Paidós.
- Murga, M. (2009). La década por la educación para el desarrollo sostenible. Antecedentes y significado. *Bordón*, 61(2), 109-119.
- Nuttall, C. y Millington, J. (2018). *Clases al aire libre. Una guía para huertos escolares*. Castellón: Ediciones Kaicron S. L.
- Ohly, H., Gentry, S., Wigglesworth, R., Bethel, A., Lovell, R. y Garside, R. (2016). A systematic review of the health and well-being impacts of school gardening: Synthesis of quantitative and qualitative evidence. *BMC Public Health*, 16-36. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-2941-0>
- Olabuénaga, R. J. I. (1998). La investigación cualitativa. Dónde estamos. En A. Martín González, *Psicología comunitaria: fundamentos y aplicaciones* (pp. 65-80). Madrid: Síntesis Ed.
- Ortega, P., Ramírez, M., Torres, J., López, A., Yacapantli, C., Suárez, L. y Ruiz, B. (2007). Modelo de innovación educativa. un marco para la formación y el desarrollo de una cultura de la innovación. *RIED*, 10(1), 145-173. <https://doi.org/10.5944/ried.1.10.1023>
- Poggi, M. (2011). *Innovaciones educativas y escuelas en contextos de pobreza. Evidencias para las políticas de algunas experiencias en América Latina* (1.ª ed.). Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Instituto Internacional de Planeamiento de la Educación IIPE - Unesco.
- Puente A. R. (2012). *Huertos Urbanos de Sevilla: de la Tradición a la Novedad*. Sevilla: Diputación de Sevilla.
- Ríos, D. M. y Reinoso, J. H. (2008). *Proyectos de innovación educativa. Texto de apoyo Didáctico para la Formación del Alumno*. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Humanidades, Departamento de Educación. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247005>
- Rivas, M. N. (2000). *Innovación Educativa: Teoría, procesos y estrategias*. Madrid: Editorial Síntesis, S. A.
- Rodríguez, C. (2016). *El huerto del Murube: Una herramienta de transformación social*. <http://huerto-educativos.org/wp-content/uploads/2016/10/014-IES-Joqu%C3%ADn-Romero-Murube.pdf>

- Ruiz Torres, M. C. y Mérida Serrano, R. (2014). Promover la inclusión de las familias a través del desarrollo de Proyectos de Trabajo. Un estudio de caso. *Revista Complutense de Educación*, 27(3) (2016), 943-961. [http://dx.doi.org/10.5209/rev\\_RCED.2016.v27.n3.47022](http://dx.doi.org/10.5209/rev_RCED.2016.v27.n3.47022)
- Sevilla, E. (2006). *De la Sociología Rural a la agroecología*. Barcelona: Icaria.
- Sevilla, E. (2011). *Sobre los orígenes de la agroecología en el pensamiento marxista y libertario*. [http://biblioteca.clacso.edu.ar/Bolivia/agruco/20170928051030/pdf\\_551.pdf](http://biblioteca.clacso.edu.ar/Bolivia/agruco/20170928051030/pdf_551.pdf)
- Soriano, J. J., Carrascosa, M., González, J., García, T. y Sanz, I. (2012). Mejora agroecológica participativa (MAP) y biodiversidad agrícola. Aplicación de la investigación-acción participativa al manejo de las variedades tradicionales en Andalucía. *Agroecología*, 7, 21-30. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182821>
- Strieder, R., Bravo, B. y Gil, M. (2017) Ciencia-tecnología-sociedad: ¿Qué estamos haciendo en el ámbito de la investigación en educación en ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 35.3, 29-49. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2232>
- Sutz, J. (2012). «O inventamos o erramos». *Revisando las fuentes de la innovación en el siglo XXI*. Panel 1. Estrategias para el desarrollo del pensamiento innovador en educación. *Seminario internacional «La práctica pedagógica en entornos innovadores de aprendizaje»*. Montevideo.
- Toledo, V. M. y Barrera Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales*. Barcelona: Icaria.
- Toledo, V. M. y González de Molina, M. (2007): El metabolismo social: las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. En Garrido Peña et al. (Coord.), *El paradigma ecológico en las ciencias sociales*. Barcelona: Icaria.
- Unesco (2016). Serie «Herramientas de apoyo para el trabajo docente». Texto 1. Innovación Educativa. Editora y Comercializadora Cartolan E.I.R.L. Lima, Perú. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247005>
- Vázquez, E. (2012). El tratamiento interdisciplinar de lo eco-sostenible en la enseñanza secundaria: Un estudio de caso. *Profesorado, Revista de currículum y formación del profesorado*, 16(2).
- Vera, C. (2014). *Investigación socioeducativa: El huerto como herramienta de intervención social* (trabajo fin de grado). Sevilla: Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Pablo de Olavide.
- Vitor, T., Fernandes, L., Rodrigues e Silva, F. y Moreira, L. (2014). Os desafios na implantação de um projeto de horta escolar. V Enebio y II Erebio Regional I. *Revista SBEnBIO*, 7. <http://www.sbenbio.org.br/wordpress/wp-content/uploads/2014/11/R0315-1.pdf>

---

# School gardens and their potential as educational innovations

Tatiane de Jesus Marques Souza

Equipo de investigación en Agroecología, Soberanía Alimentaria y Bienes Comunes,  
Universidad de Córdoba. Córdoba. España  
golum5@yahoo.com.br

Mamen Cuéllar Padilla

Equipo de investigación en Agroecología, Soberanía Alimentaria y Bienes Comunes,  
Universidad de Córdoba. Córdoba. España.  
mcuellar@uco.es

Food crises directly influence children's development in different social contexts; and food production can be a basic learning tool, as shown by the proposal of school gardens as educational innovations.

In this research, we present an analysis tool on the innovative contributions that a school garden can provide in practice. Developed from a thorough scientific literature review, it consists of a four-dimension model including the epistemological purpose of the garden; its origin and the level of participation of the different stakeholders; the scope of the actions developed in the school garden and the technical design of the physical space.

To test its utility, we have applied it to a case study, located in a municipality in Chile, using a qualitative social research (individual interviews and a collective workshop), developed with teachers, students and mothers.

Results show that the tool makes it easier to analyze at which extent a school garden is developing its educational innovative potential, depending on its pedagogical proposal (from simple paradigms to complex ones where different disciplines and a dialog with practical and daily knowledge is facilitated); the involvement of the community around the school and its real problems and concerns; the objectives behind the design of the different activities (at which extent they include a complex understanding of different relations, scales and knowledge); and, finally, the level of agroecologization that the technical design of the garden presents.

The main conclusions focus on the fact that although school gardens per se have a high innovative potential, this may not develop depending on the origin of the garden, the design to which it responds, as well as on the development process that accompanies it.



# Una secuencia de actividades para desarrollar la visualización usando un videojuego

## A sequence of activities to develop visualization using a video game

Lluís Albarracín

*Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals.*

*Universitat Autònoma de Barcelona. Cerdanyola del Vallès, Barcelona, España*

*Profesor Serra Hünter"*

[lluis.albarracin@uab.cat](mailto:lluis.albarracin@uab.cat)

**RESUMEN** • Este artículo describe una de secuencia de actividades para trabajar la visualización con alumnos de cuarto de Educación Primaria a partir del contexto promovido por un videojuego tipo puzzle tridimensional. La secuencia se inicia jugando libremente para identificar los retos que propone el juego. A continuación, se proponen actividades para identificar aspectos claves del videojuego y generar conocimientos geométricos sobre visualización con el cual poder diseñar niveles del videojuego. En el artículo se presenta cada actividad que conforma la secuencia, su fundamentación y la validación de los aprendizajes promovidos después de su aplicación. Estos resultados ponen de manifiesto las posibilidades del videojuego utilizado y las actividades que lo acompañan para relacionar diferentes formas de visualización de objetos tridimensionales.

**PALABRAS CLAVE:** Visualización; Videojuegos; Educación Primaria; Resolución de problemas.

**ABSTRACT** • This article describes a sequence of activities to work on visualization with Primary Education fourth-grade students from the context promoted by a three-dimensional puzzle video game. The sequence is initiated by playing freely to identify the challenges proposed by the game. Then, activities are proposed to identify key aspects of the video game and to generate geometric knowledge about visualization with which to design levels of the video game. The article presents each activity that makes up the sequence, its rationale and the validation of the learning promoted after its application. The results show the possibilities of the video game used and the activities that accompany it to relate different forms of visualization of three-dimensional objects.

**KEYWORDS:** Visualization; Video games; Primary Education; Problem solving.

Recepción: noviembre 2019 • Aceptación: agosto 2020 • Publicación: junio 2021

Albarracín, L. (2021). Una secuencia de actividades para desarrollar la visualización usando un videojuego. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 181-199.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3174>

## INTRODUCCIÓN

En este artículo se presenta, justifica y valida una secuencia didáctica diseñada para trabajar la visualización con alumnado de cuarto curso de Educación Primaria utilizando un videojuego como soporte. Por una parte, se pretende aportar una forma efectiva de conjugar la representación tridimensional de formas en una pantalla con el trabajo en el mundo real para desarrollar la visualización. Por otra parte, se detalla un enfoque inédito sobre el uso de videojuegos en el aula en el que los alumnos se introducen en la actividad mediante el juego, pero posteriormente lo analizan para obtener el conocimiento matemático adecuado para poder diseñar estructuras tridimensionales que darían forma a nuevos niveles. Es el proceso de creación inherente a la actividad de diseño el que conecta los conocimientos matemáticos con las necesidades del mundo real y el que permite a las alumnas y alumnos tomar consciencia de sus propios aprendizajes. Este trabajo sigue la línea de utilizar los videojuegos comerciales como un contexto para promover aprendizajes matemáticos a partir del análisis de los procesos de juego (Frejd y Årlebäck, 2017; Hernández-Sabaté, Joanpere, Gorgorió y Albarracín, 2015). Esta se muestra como una vía prometedora de aproximación a la enseñanza que debe ser estudiada con mayor profundidad.

## VISUALIZACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE OBJETOS TRIDIMENSIONALES

La inteligencia espacial, el pensamiento espacial y la visualización espacial se consideran a menudo sinónimos en la literatura científica. Varios autores han discutido sobre sus diferencias, pero existe un consenso al considerar que todas ellas están relacionadas con las habilidades de razonamiento que el estudiante necesita desarrollar para poder imaginar, representar, describir, transformar y manipular objetos en el espacio tridimensional (Fischbein y Nachlieli, 1998; Gutiérrez, 1996; Kovacevic, 2017). En este artículo tomamos una denominación común bajo el nombre de visualización.

La visualización implica la articulación de procesos y capacidades de una persona para realizar ciertas tareas que requieren ver o imaginar mentalmente objetos geométricos en el espacio, representar objetos bi- o tridimensionales, así como relacionar estos objetos entre sí y realizar tareas específicas o transformaciones geométricas con ellos. Algunas de las transformaciones esenciales son la rotación y traslación de un objeto o movimientos concretos de las partes que lo componen (McGee, 1979). Bishop (1988) identifica cuatro procesos que son aplicables a la visualización y al trabajo con imágenes mentales. Estos procesos son los siguientes: *a*) generar una imagen mental a partir de cierta información dada; *b*) inspeccionar la imagen para observar su posición o la presencia de partes de los elementos que la componen; *c*) transformar la imagen usando rotaciones, traslaciones, escalado o descomposición, y *d*) usar la imagen para responder preguntas.

Ben-Chaim, Lappan y Houang (1988) y Németh (2007) afirman que la visualización no se refiere a capacidades o habilidades innatas, sino que debe ser desarrollada. Esta solo puede lograrse cuando los estudiantes participan en actividades de aprendizaje generalmente relacionadas con experiencias de la vida real que despiertan su interés. La visualización desempeña un papel importante en el desarrollo del pensamiento matemático de los estudiantes. Pittalis y Christou (2010) observaron que las habilidades espaciales son un fuerte predictor del rendimiento de los estudiantes en geometría tridimensional. Revina, Zulkardi, Darmawijoyo y Galen (2014) corroboraron que las tareas de visualización ayudan a los estudiantes a desarrollar su comprensión de la medición de volumen. Esta relevancia de la visualización en el pensamiento matemático y su relación con otros aprendizajes justifican que sea reconocida como un elemento fundamental de la educación obligatoria y como integradora y facilitadora para resolver problemas en el currículo. En esta línea, Risma, Putri y Hartono (2013) proponen que las actividades manipulativas basadas en el uso de bloques de construcción apoyen el desarrollo de la visualización de los estudiantes.

Con relación a la visualización de objetos tridimensionales, las representaciones planas son el tipo de representación más frecuente para obtener información sobre objetos geométricos tridimensionales en las matemáticas escolares, y a veces se consideran durante el proceso de enseñanza como si estas representaciones planas fueran los objetos reales (Berthelot y Salin, 1998). Sin embargo, tanto estudiantes como adultos tienen grandes dificultades para visualizar objetos tridimensionales en representaciones planas, dibujar objetos tridimensionales, representar líneas paralelas y perpendiculares en el espacio (Ben-Chaim, Lappan y Houang, 1989; Ma, Wu, Chen y Hsieh, 2009). Estas dificultades fueron identificadas principalmente por Parzysz (1988) y Duval (1998), quienes señalaron que la visualización de un objeto tridimensional por medio de una figura plana exige un proceso de adaptación a las convenciones de representación que no es trivial y no se enseña explícitamente en la escuela. Por esta razón, es necesario interpretar y utilizar estas convenciones para representar objetos tridimensionales o extraer información de representaciones; de lo contrario, se puede malinterpretar un dibujo y no entender si representa un objeto plano o tridimensional (Parzysz, 1988).

Los desarrollos tecnológicos de las últimas décadas han favorecido la representación de objetos tridimensionales más allá del papel, ya sea directamente en una pantalla o usando realidad aumentada, lo que permite representar objetos en movimiento y habilitar la interacción directa sobre ellos. Esta aproximación se denomina visualización dinámica (Harel y Sowder, 1998; Presmeg, 1986; Zazkis, Dubinsky y Dautermann, 1996) por estar formada por imágenes en movimiento, ya sea en la mente o en un entorno externo. Este entorno externo puede soportarse en materiales manipulativos o en *software* como los programas de geometría dinámica o, como exploramos en este artículo, a partir de un videojuego. Las investigaciones señalan que la visualización dinámica puede ser una herramienta poderosa para obtener una comprensión más profunda de otros conceptos matemáticos y puede ser también un recurso para resolver problemas matemáticos (Goldenberg, Lewis y O'Keefe, 1992; Presmeg, 1986; Tall y West, 1986). En este sentido, Drijvers (2013) pone de manifiesto que el uso de *software* para promover aprendizajes matemáticos no solo concierne al diseño de la tecnología digital involucrada, sino también al diseño de las tareas y actividades que la acompañan.

## USO DE VIDEOJUEGOS EN LA EDUCACIÓN MATEMÁTICA

Jugar, entendido en un sentido amplio, es una actividad que constituye una parte importante del desarrollo cognitivo y social de los niños. En la práctica del juego se dan diversos elementos de aprendizaje, de formación, de cohesión o de soporte a la comunicación y se permite a los niños experimentar con situaciones y actividades más complejas de las que experimenta en su vida diaria (Vigotsky y Cole, 1979). Salen y Zimmerman (2004) definen el juego como un sistema en el que quien participa se involucra en un conflicto artificial, definido por unas reglas concretas. Esta definición es aplicable también a los videojuegos, que pueden tener un uso educativo, promovido por su diseño. En concreto, los videojuegos están definidos por un conjunto de reglas, objetivos y retos que provocan la interacción del jugador con la máquina y promueven su toma de decisiones. Los videojuegos se caracterizan por la inmediatez de las respuestas en pantalla (Dickey, 2005). Que la actividad de juego tenga su foco en las acciones de los propios jugadores hace de los videojuegos una herramienta con un gran potencial didáctico (Prensky, 2001). Para Charsky (2010), las características esenciales de los videojuegos como herramientas didácticas son la competitividad, la presencia de objetivos, la existencia de unas reglas bien definidas y la necesidad de tomar decisiones. Ke (2009) destaca que los videojuegos presentan la oportunidad de desenvolverse en entornos simulados, con lo que los jugadores pueden ser los protagonistas de la actividad. De esta forma, permiten y estimulan el desarrollo intelectual de los jugadores presentando situaciones en las que la toma de decisiones es esencial sin experimentar en la vida real los efectos negativos de una mala decisión.

Connolly, Boyle, MacArthur, Hainey y Boyle (2012) realizaron una revisión de la literatura existente sobre el uso de videojuegos en las aulas e identificaron aquellos estudios que ofrecen evidencia empírica del impacto positivo de los videojuegos sobre diferentes aspectos relacionados con el aprendizaje escolar. En su trabajo identificaron mejoras en habilidades motoras y perceptivas, así como en habilidades cognitivas como pueden ser la visualización, la memoria o la resolución de problemas.

Rosas *et al.* (2003) han corroborado que el uso de videojuegos educativos produce mejoras en la motivación del alumnado por el aprendizaje, que se conjugan con la adquisición de conocimientos de tipo tecnológico. Sin embargo, se ha observado que los videojuegos educativos (aquellos diseñados expresamente como herramientas didácticas y no con motivación lúdica) no son los que más interesan a los estudiantes, que prefieren jugar videojuegos comerciales (Hamlen, 2011). Es interesante observar que algunos videojuegos comerciales, aunque no estén centrados en promover aprendizajes, pueden promover beneficios didácticos. Dos ejemplos de ello son los géneros de videojuegos en los que es necesario desenvolverse en entornos tridimensionales, que ayudan a mejorar las capacidades de rotación mental (Feng, Spence y Pratt, 2007), o los videojuegos de estrategia competitivos, que permiten desarrollar aspectos metacognitivos (Foster, Esper y Griswold, 2013). Ke (2008) observa que un aspecto clave del diseño de los videojuegos para su uso pedagógico es la relación entre los objetivos del juego y los objetivos de aprendizaje, que no siempre coinciden. En su estudio, Ke (2008) identifica patrones de respuesta aleatorios en las respuestas de los alumnos (clicks en pantalla sin sentido) que no se dan en las actividades tradicionales. Este comportamiento se enmarca en una actitud de juego sin reflexión que se ve motivada por la necesidad de conseguir rápidamente logros en el juego.

En el caso específico de la educación matemática, se han desarrollado diversos estudios que buscan identificar la potencialidad de los videojuegos para promover aprendizajes. Uno de los centros de atención son los videojuegos diseñados como herramienta específica para enseñar conceptos concretos o ayudar a los alumnos a desarrollar competencias concretas. Un ejemplo es el trabajo de Gutiérrez, Arnau y González (2015). Estos autores han analizado el impacto de un videojuego llamado *Dragon-Box Algebra* (2013) orientado a la introducción de la manipulación algebraica –resolución de ecuaciones, trabajo con paréntesis, sustitución de términos algebraicos– proponiendo diversos sistemas de representación y un sistema de logros. Los resultados del estudio muestran que los alumnos mejoran significativamente en la resolución de ecuaciones y que incorporan procesos extraídos de las mecánicas de juego al trabajo algebraico. Pero también se han estudiado otras vías, como el diseño de videojuegos para estimular el aprendizaje (Pretelín-Ricárdez y Sacristán, 2015) o el uso de videojuegos comerciales como promotor de los aprendizajes. Por ejemplo, Frejd y Årlebäck (2017) utilizaron el videojuego *Plague Inc: Evolved* (2015) para introducir el uso de funciones para modelizar aspectos esenciales del juego con alumnos de Educación Secundaria.

## DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA

### Diseño y objetivos de la secuencia de actividades

La secuencia de actividades está dirigida a promover el desarrollo de la visualización a partir de la actividad de juego usando un videojuego tridimensional tipo puzzle. Su diseño está fundamentado en dos principios básicos. En primer lugar, la secuencia propone actividades que van incluyendo los aprendizajes anteriores y que aumentan progresivamente la complejidad de la tarea. En segundo lugar, la tarea aprovecha tanto la potencialidad del videojuego como de materiales manipulativos para promover tareas en las que la visualización es clave.

Las actividades propuestas están diseñadas para promover el trabajo de los alumnos siguiendo una evolución de la actividad guiada por los procesos cognitivos requeridos para enfrentarse a ella en un

orden creciente de complejidad. Tomamos como referencia la clasificación de procesos cognitivos de la taxonomía de Bloom (Bloom, Engelhart, Furst, Hill y Krathwohl, 1956), que los jerarquiza en el siguiente orden: recordar, entender, aplicar, analizar, evaluar, crear. En tal taxonomía, los niveles inferiores requieren habilidades de pensamiento de orden inferior, mientras que los niveles más altos requieren habilidades de pensamiento de orden superior.

En primer lugar, los alumnos deben enfrentarse a una situación de juego en un entorno tridimensional utilizando un videojuego comercial. Esto permite proponer una actividad en la que los alumnos son los protagonistas de la actividad y deben entender un sistema de objetos tridimensionales en un espacio virtual y las reglas concretas que definen la interacción del alumno/jugador con ellos. En segundo lugar, se propone a los alumnos que relacionen los objetos del espacio virtual con objetos tridimensionales del mundo real para analizar sus propiedades. En tercer lugar, se propone que los alumnos resuelvan problemas matemáticos que emulan situaciones intrajuego pero utilizando materiales manipulativos, con el propósito de analizar las propiedades de los objetos que intervienen en el videojuego y la complejidad que añade que existan unas reglas de movimiento específicas. Finalmente, se propone a los alumnos una actividad de diseño de un nivel para el videojuego para que al crear estos contenidos activen y articulen diversos procesos y capacidades de visualización.

La secuencia está diseñada para trabajar contenidos matemáticos relativos a la geometría del espacio. Los objetivos didácticos de la secuencia didáctica son los siguientes:

- Uso y análisis de diversas formas de representación y construcción de figuras de tres dimensiones, con materiales manipulativos y recursos digitales.
- Descripción de localizaciones y movimientos de objetos en el espacio.
- Identificación de las relaciones entre las vistas parciales de un objeto tridimensional y el objeto.

Estos objetivos curriculares enlazan con capacidades de visualización como imaginar la rotación o translación de un objeto, analizar las partes que componen una figura tridimensional y usar diferentes representaciones para responder a preguntas (Bishop, 1988).

El videojuego elegido es *Kula World* (1998), que se utiliza como material didáctico que promueve la visualización al requerir la interacción con objetos tridimensionales complejos y proponer retos no triviales al jugador, que dependen de aspectos como las vistas parciales de un objeto. De esta forma, cumple con los requisitos propuestos por Ke (2008) para que un videojuego pueda considerarse una herramienta didáctica. Sin embargo, no podemos considerar que la experiencia de juego sea suficiente para alcanzar los objetivos de aprendizaje propuestos, ya que los alumnos pueden usar estrategias alternativas a desarrollar los conocimientos adecuados para superar los retos propuestos, como actuar por ensayo y error. Por ello la actividad de juego supone el inicio de la secuencia, pero el núcleo de esta se basa en las tareas que complementan la actividad de juego basadas en el análisis matemático de los elementos característicos del juego y sus propiedades (Drijvers, 2013). En concreto, se proponen actividades de construcción de figuras tridimensionales usando materiales manipulativos e integrando las vistas en pantalla de un objeto (Gutiérrez, 1996), la resolución de problemas relacionados con la localización y el movimiento de objetos en el espacio y la creación de plataformas diseñadas como niveles del videojuego. La secuencia está diseñada para aprovechar los aspectos matemáticos esenciales que promueve el videojuego, aislarlos y estudiarlos por separado para conseguir el entendimiento adecuado que permite tomar una perspectiva diferente a la del jugador, como es la del diseñador de niveles.

## Participantes

La secuencia de actividades se ha utilizado con tres grupos-clase de alumnos de cuarto de Educación Primaria (10 años) de dos centros públicos de una ciudad de la provincia de Barcelona. Se trata enton-

ces de una muestra no aleatoria, seleccionada por conveniencia, formada por 40 niñas y 38 niños (78 en total) repartidos en grupos-clase compuestos por 25, 26 y 27 participantes cada uno.

### El videojuego utilizado en la secuencia: *Kula World*

*Kula World* (1998) es un videojuego de tipo puzzle en el que el jugador controla una esfera (concretamente una pelota de playa) que debe recorrer una plataforma tridimensional en busca de unas llaves que le permitan habilitar la salida y completar el nivel. Se enmarca en el género de los videojuegos tipo puzzle en entornos tridimensionales que se inició con *Marble Madness* (1984). Otros videojuegos han seguido esta propuesta añadiendo nuevas características, como pueden ser *Puzzle Dimension* (2010) o *Mercury Meltdown* (2006) (Albarracín, 2015), o suponen una actualización de la propuesta, como *Cubosphere* (2009), un videojuego de código libre totalmente inspirado en *Kula World* (1998).

*Kula World* (1998) propone al jugador un tipo de reto basado en desenvolverse en un entorno tridimensional en el que la perspectiva de visualización es variante y depende de las acciones del jugador (figura 1). En el contexto de los videojuegos, se entiende por mecánicas de juego aquellas acciones que se llevan a cabo *dentro* del videojuego como consecuencia de las acciones que se realizan *fuera* de él al interactuar con la máquina. Por ejemplo, en el conocido videojuego *Tetris* (1984), el jugador puede desplazar cada pieza a izquierda o derecha apretando el botón dedicado a cada movimiento en su mando, pero también puede rotar la pieza si acciona un botón específico. En el caso de *Kula World* (1998), el jugador puede determinar la dirección en la que se mueve la pelota de playa en el plano (delante, detrás, izquierda y derecha) y cuando la dirección está definida puede decidir moverse hacia adelante. En ningún caso la pelota se cae de la plataforma mientras avanza, ya que el borde de la plataforma actúa como una pared. En *Kula World* (1998) también se puede hacer saltar la pelota hacia adelante. De esta forma se pueden recorrer las plataformas con la pelota y el jugador obtiene vistas distintas de ellas, lo que requiere que haga un esfuerzo para localizar los objetos que debe conseguir.



Fig. 1. Un nivel de *Kula World* que muestra una plataforma tridimensional.

El juego dispone de otra mecánica que lo hace muy interesante. En el caso de llegar al final de una zona de la plataforma que tenga forma de prisma, el movimiento hacia adelante permite situarse en la cara superior de este. Desde esta posición, como la mostrada en la figura 2, se puede girar en cual-

quiera de las cuatro direcciones posibles y recorrer la plataforma por cualquiera de esas cuatro caras. Esta mecánica permite que el jugador lleve la pelota a zonas que no se encuentran a la vista en primera instancia y que deba explorar y recorrer las plataformas para conseguir los objetos que necesita para completar cada nivel. Esta característica es esencial para proponer problemas durante la secuencia de actividades.



Fig. 2. La vista desde el extremo de una plataforma.

## SECUENCIA DE ACTIVIDADES

En esta sección detallamos las diferentes actividades que conforman la secuencia didáctica, que se inicia con juego libre en *Kula World* (1998), sigue con actividades destinadas a trabajar la visualización, construyendo las plataformas que conforman los niveles del juego, y acaba con una actividad en la que los alumnos diseñan sus propuestas de plataforma para crear un nivel del videojuego.

### Actividad 1. Juego libre

Entendiendo el videojuego como una herramienta para proponer actividades que permitan desarrollar la visualización, el primer paso del trabajo de los alumnos en el aula es que estos se enfrenten al videojuego y traten de superar diversos niveles. Los niveles están escalados por dificultad, con lo que cada uno de los primeros niveles ofrece un nuevo reto que el alumno debe superar, como son encontrar una llave que no se visualiza al inicio o recorrer diversas plataformas inconexas. En el aula se puede jugar individualmente o en parejas, compartiendo un ordenador y eligiendo cada vez a un alumno o alumna para controlar la pelota de playa, hecho que fomenta la discusión entre ellos. Una sesión de 20-30 minutos es suficiente para que los alumnos se familiaricen con las mecánicas de juego anteriormente detalladas y alcancen niveles avanzados en los que el reto incluye diversas adversidades que deben superarse de forma secuencial. En este momento es interesante proponer una breve puesta en común de todos los elementos que conforman la experiencia de juego.

## Actividad 2. De la pantalla a la realidad

Después de la primera actividad se pide a los alumnos que se centren en las plataformas que conforman uno de los primeros niveles del juego y las reproduzcan en el mundo real utilizando algún tipo de material manipulativo. En nuestro caso, hemos utilizado cubos *multilink*, que son un material didáctico que permite representar estructuras e identificar relaciones espaciales de diversos objetos en el espacio (Gutiérrez y Jaime, 2012; Risma, Putri y Hartono, 2013). El uso de instrumentos manipulativos está orientado a promover los aprendizajes matemáticos dando soporte al desarrollo de la visualización, estimular los conocimientos provenientes del mundo real de los estudiantes, proporcionar formas de representación que favorezcan la codificación de los conceptos matemáticos y proporcionar oportunidades a los estudiantes para descubrir conceptos matemáticos por sí mismos. En su metaanálisis dedicado al uso de materiales manipulativos en educación matemática, Carbonneau, Marley y Selig (2013) identifican varios estudios que muestran que los materiales manipulativos benefician el aprendizaje de las matemáticas, siendo necesario elegir los materiales pertinentes para cada tipo de contenido e incorporándolos al trabajo de aula de forma sostenida y no de forma anecdótica. Desde esta perspectiva, la propuesta de combinar el trabajo en entornos virtuales y el uso de materiales manipulativos se presentan como una oportunidad para trasladar las plataformas con las que se encuentran en el juego al mundo real y poder interactuar con ellas desde una aproximación distinta.

La figura 3 muestra a un alumno que construye con cubos *multilink* una de las plataformas del videojuego que está visualizando en la pantalla del ordenador. El maestro puede solicitar a los alumnos que busquen uno o diversos niveles del juego en el que la plataforma que haya que reproducir tenga una complejidad de representación adecuada para cada uno de ellos.

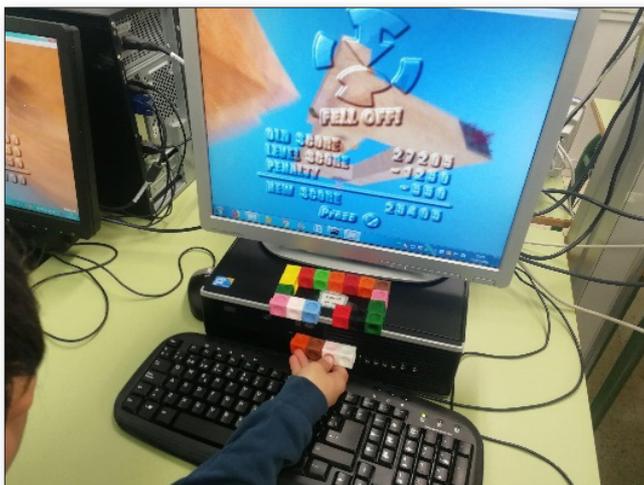


Fig. 3. Un alumno reproduciendo una plataforma del juego.

El videojuego presenta objetos tridimensionales en el espacio, pero lo hace en una pantalla plana. Por lo tanto, una primera dificultad para los alumnos es observar e interpretar esa tridimensionalidad y trasladarla al mundo real. La figura 4 muestra las diferencias de dos plataformas construidas por dos alumnos para un mismo nivel del juego. En la plataforma de la derecha se observa que su autora ha representado completamente la tridimensionalidad de la plataforma, pero en la que se encuentra en la parte inferior izquierda observamos que su autor no ha identificado la perpendicularidad entre la base de la plataforma y el puente, lo que crea una representación plana de la misma. Durante esta actividad se puede pedir a los alumnos que expliquen las características esenciales de las plataformas, con lo que

en muchos casos se pueden identificar y solventar algunos errores de visualización, como el descrito, sin la intervención directa del profesor, lo que permite que los alumnos construyan su conocimiento a partir de la interacción entre iguales.

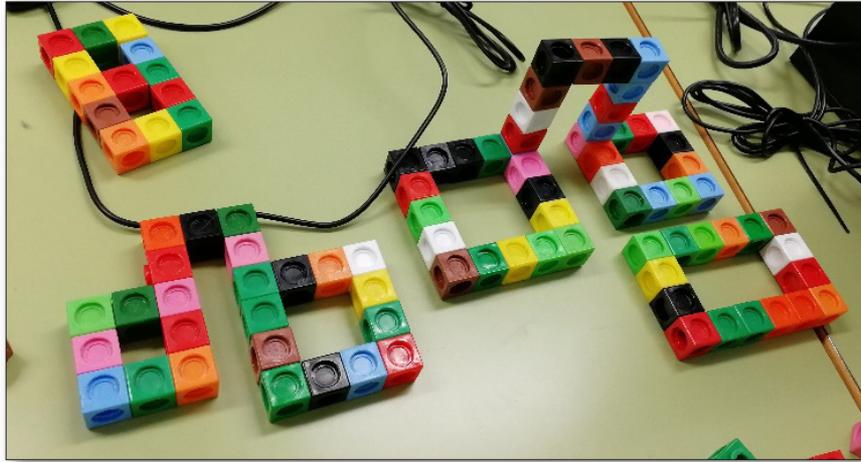
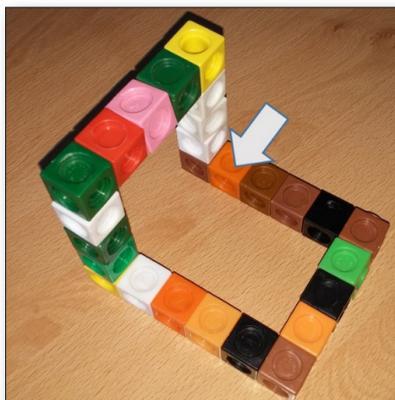


Fig. 4. Dos representaciones diferentes para una misma plataforma del juego.

### Actividad 3. Problemas matemáticos basados en el videojuego

Una vez que los alumnos han explorado la naturaleza tridimensional de los objetos que aparecen en el videojuego, y las mecánicas que este propone, es momento de profundizar en esta relación como forma de promover la visualización. Por ello, a continuación se propone resolver problemas matemáticos relacionados con el movimiento de la pelota de playa en el videojuego. De esta forma se tratan contenidos de localización en el espacio y caminos en entornos tridimensionales, usando como restricciones para los problemas las mismas mecánicas de juego que se usan en el videojuego comercial. Los problemas se basan en proporcionar una plataforma concreta tridimensional construida con cubos *multilink*. En el primer problema se les pide a los alumnos y alumnas que determinen los recorridos hábiles de la pelota para una posición inicial dada y que traten de diferenciar zonas accesibles o inaccesibles de la plataforma dentro del juego en función de la posición inicial de la pelota. El enunciado de este problema se muestra en la figura 5.



Imagina que el nivel del juego se inicia con la pelota de playa a la posición señalada ¿Podemos llegar a recorrer todas las caras visibles de los cubos que forman la plataforma? Razona tu respuesta.

Fig. 5. Enunciado concreto del primer problema de la actividad 3.

En el segundo problema se pide una modificación de la plataforma para que toda su superficie pueda ser recorrida por la pelota de playa con las limitaciones de movimiento que impone el videojuego. Para este problema se aprovecha la característica antes destacada, en la que al añadir un cubo a la plataforma se habilitan nuevas formas de moverse por ella.

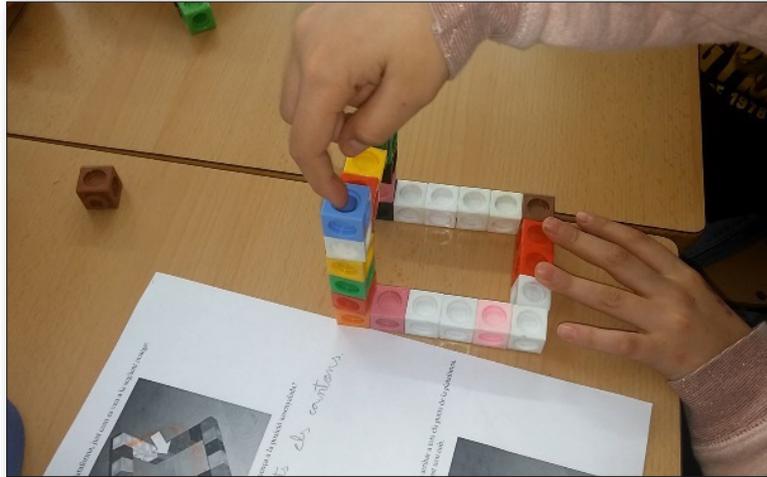


Fig. 6. Una alumna resolviendo problemas sobre plataformas reales.

La figura 6 muestra a una alumna respondiendo a los enunciados de los problemas. Estos constan de tres elementos: una figura tridimensional, su imagen en papel en la que se indica la posición inicial que considerar para la pelota y un enunciado de un problema que solicita explicitar si es posible llegar a otra posición siguiendo las mecánicas propias de juego. Es importante destacar que se solicita a los alumnos que expliquen por escrito su razonamiento, con la intención de promover la comunicación discursiva de los movimientos de la pelota de playa en la plataforma y trabajar el lenguaje adecuado para expresarlos. La segunda parte del problema se basa en identificar dos zonas cualitativamente diferenciadas de la plataforma: la zona formada por las partes alcanzables desde la posición inicial dada y la zona de caras que son inalcanzables. De esta forma se trabaja la visualización en entornos tridimensionales, con la ventaja de que los alumnos tienen una experiencia previa muy rica que proporciona el tiempo dedicado al propio videojuego.

#### Actividad 4. Diseño de nuevos niveles para el videojuego

Esta actividad actúa como actividad de síntesis, tratando de conectar y consolidar los aprendizajes promovidos por las actividades previas. En determinados casos, «aprender para jugar mejor» puede ser una motivación para diseñar actividades de aula interesantes para los alumnos basadas en un videojuego (Albarracín, Hernández-Sabaté y Gorgorió, 2017). Para esta actividad se ha decidido que tomar el rol de un diseñador de videojuegos es una tarea interesante para los alumnos, ya que permite un acercamiento reflexivo a la naturaleza de un videojuego y en la que se pone de manifiesto el papel que juegan las matemáticas en ámbitos profesionales concretos. En este sentido, el diseñador debe tener control sobre diversos aspectos que definen un nivel del videojuego, como puede ser la dificultad para el jugador, o que a partir de las reglas y mecánicas de juego sea posible que el jugador finalice el reto propuesto y que no se encuentren incongruencias (fallos de diseño) que bloqueen los avances del jugador.

La actividad se concreta con la demanda de crear una plataforma usando cubos *multilink* que pueda ser jugable, si se usa como soporte para diseñar un nivel concreto del videojuego. Aquí, entendemos

que jugable significa que la versión virtual de la plataforma, en el caso de ser implementada en el videojuego, pueda ser completada por los jugadores, al no presentar fallos de diseño como necesitar colocar piezas para completarla en lugares inalcanzables. Se pide a los alumnos que identifiquen los elementos clave de su construcción y que preparen una pequeña presentación en PowerPoint® para destacarlos y compartirlos con el resto de la clase. Durante las presentaciones se presenta una nueva oportunidad para discutir aspectos de diseño de las plataformas que permiten calibrar la dificultad de los niveles propuestos. La figura 7 muestra una de las plataformas elaboradas por los alumnos, que no solo han creado la plataforma, sino que definen los puntos de salida y llegada y algunos elementos como las trampas que dificultan el movimiento de los jugadores.

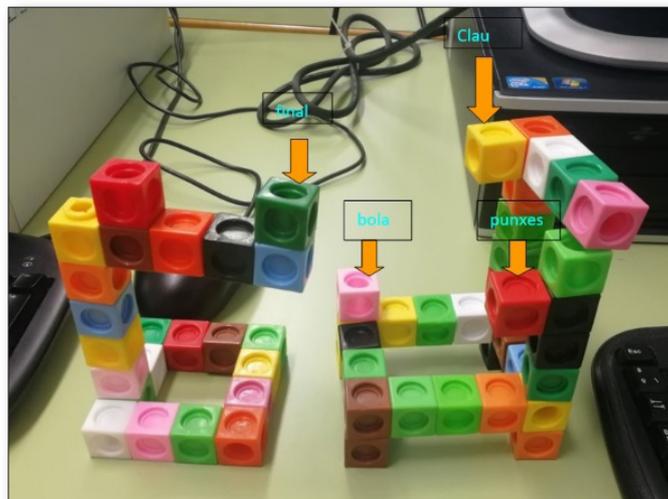


Fig. 7. Una plataforma para el videojuego diseñada por los alumnos.

### Datos recogidos durante la actividad

En esta sección se detallan los datos recogidos durante la secuencia de actividades. Por una parte, se fotografiaron las plataformas que se propusieron en la actividad 2. Los alumnos las habían construido en parejas (40 en total, en los grupos con número de alumnos impar se permitía que algún alumno trabajara solo en este punto) y en las experiencias aquí recogidas se les pidió que recrearan dos de los niveles jugados, con lo que se dispone de 80 plataformas elaboradas. Se recogieron las hojas de trabajo con la resolución de los dos problemas de la actividad 3, con lo que se dispone de 156 hojas de trabajo. Finalmente, se fotografiaron y se recogieron los documentos escritos con la explicación generada para defender la propuesta de plataforma como nuevo diseño del videojuego (actividad 4). Los alumnos trabajaron en parejas, esta vez en los casos de número impar de alumnos se decidió que hubiera un grupo de tres personas. De esta forma se recogieron datos de 38 niveles diseñados por los diferentes grupos de alumnos.

### RESULTADOS

Para evidenciar los progresos de los alumnos durante la secuencia, nos centramos en diversos productos generados en las actividades 2, 3 y 4, puesto que la primera actividad no genera productos analizables. A continuación, detallamos los resultados obtenidos y los interpretamos en relación con los objetivos de aprendizaje propuestos.

## Resultados para la actividad 2

En la actividad 2 se identifican dos tipos de errores en la recreación de las plataformas. En algunos casos no se respeta la estructura espacial de la plataforma, pues se reproducen versiones planas de la plataforma original (como en la figura 4) o algunos elementos no se encuentran presentes. Otro tipo de error se da al no respetar las proporciones de las medidas de cada parte de la plataforma con respecto a la medida de la plataforma original, como se muestra en la figura 8. Esta fotografía muestra la misma plataforma que la de la figura 4, pero no se respeta la proporción entre las longitudes de los elementos recreados y los originales.



Fig. 8. Una plataforma que no respeta la proporción de las medidas con respecto a la original.

En este caso, la reproducción es topológicamente equivalente a la original, pero si consideramos la medida de sus partes para determinar su forma encontramos que no es completamente fiel en términos proporcionales. Estos dos tipos de errores descritos pueden darse simultáneamente. Aquellas plataformas que no contienen ninguno de estos dos tipos de errores se consideran reproducciones adecuadas. La tabla 1 resume estos resultados.

Tabla 1.  
Resultados relativos a las plataformas reproducidas en la actividad 2

	<i>Número</i>	<i>Porcentaje</i>
Adecuadas	41	51,25 %
No respetan las medidas	21	26,25 %
No respetan la estructura espacial	11	13,75 %
No respetan las medidas ni la estructura espacial	7	8,75 %
Total	80	100,00 %

La tabla 1 muestra que el 51,25 % de las parejas reproduce adecuadamente las plataformas del videojuego usando cubos *multilink*. Estos alumnos muestran que pueden trasladar adecuadamente la estructura de las plataformas desde la pantalla a la realidad. La información de la que parten los alumnos son las vistas parciales de la plataforma, que pueden ser rotadas para tener una visión completa de esta.

A este conjunto de alumnos debemos añadir a aquellos que únicamente cometen errores de medida, ya que también usan adecuadamente esta información desde el punto de vista de la visualización. De esta forma, el porcentaje de alumnos que trabajando en parejas muestran que pueden reproducir adecuadamente la plataforma usando materiales manipulativos a partir de las vistas parciales en la pantalla es un 77,50 %.

### Resultados para la actividad 3

Las hojas de trabajo recogidas en la actividad 3 se analizan para determinar si los alumnos pueden extraer información visual adecuada sobre los movimientos de la pelota de playa sobre las plataformas proporcionadas, respetando las mecánicas propias del videojuego. Esto significa que los estudiantes deberían usar la visualización de forma coordinada con las características del videojuego. El primer hecho observado es la constatación de que los alumnos y alumnas de cuarto de primaria participantes presentan dificultades para escribir sus razonamientos, ya que las respuestas son escuetas y no aportan tanta riqueza como las explicaciones verbales observadas en las aulas.

El primer problema propuesto solicita a los alumnos que, trabajando individualmente, identifiquen si toda la superficie de la plataforma es accesible para la pelota de playa desde una posición inicial dada, respetando los movimientos posibles en el videojuego. En este caso observamos que 57 de los 78 alumnos dan una respuesta correcta (73,08 %). El segundo problema solicita que se modifique la plataforma para que toda su superficie sea accesible. En este caso, 76 de los 78 alumnos añaden cubos que permiten nuevos movimientos por la plataforma, habilitando nuevas zonas accesibles. Pero no todos estos 76 alumnos se aseguran de que la pelota podrá acceder a toda la plataforma, y se proponen cambios que dejan algunas zonas inaccesibles. En concreto, 42 de los 78 alumnos (53,85 %) proponen modificaciones en las que se puede recorrer toda la plataforma. Este hecho supone que los alumnos deben añadir un mínimo de dos nuevos cubos, ya que añadiendo únicamente un cubo no es posible y deben poder identificar este hecho.

De esta forma, observamos que el porcentaje de alumnos que pueden responder adecuadamente a una actividad de movimiento de objetos en el espacio es del 73,08 % para una actividad básica en la que deben trabajar con una plataforma dada, y del 53,85 % cuando deben añadir elementos para modificarla considerando las mecánicas de movimiento del videojuego.

### Resultados para la actividad 4

Al analizar las plataformas que dan soporte a los niveles de juego que diseñan los alumnos durante la actividad 4, podemos observar la forma en la que usan la visualización lograda en las actividades anteriores. En primer lugar, distinguimos tres tipos de plataformas desde el punto de vista de su usabilidad, si fueran introducidas en el videojuego. Aquellas plataformas que permiten navegar con la pelota de playa desde la posición de partida hasta el final recogiendo las llaves son las que consideramos jugables. Estas plataformas pueden ser más elaboradas o tener una estructura más simple. Esta distinción no es fácil de establecer, pero hemos considerado que aquellas propuestas de niveles que esconden objetos o que desde el punto de partida no permiten observar toda la superficie que debe ser recorrida son complejas. Esta decisión se basa en que esta característica muestra que los alumnos combinan la visualización de la plataforma real con la visualización que tendría en pantalla, si fuera parte del videojuego. Un ejemplo es la plataforma mostrada en la figura 9, en la que el jugador debe explorar zonas no visibles desde el inicio y que incluye diversos elementos (representados por los cubos que se añaden a la plataforma) para forzar a quien juega a pensar y anticipar las decisiones que debe tomar.



Fig. 9. Una plataforma diseñada por los alumnos, categorizada como compleja.

Finalmente, están aquellas plataformas no jugables. En este tipo de plataformas los alumnos cometen errores al construirlas como considerar que determinados movimientos inválidos son posibles o posicionar elementos clave (como las llaves) en zonas inaccesibles. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2.  
Resultados relativos a las propuestas de niveles en la actividad 4

	<i>Número</i>	<i>Porcentaje</i>
Jugable y compleja	22	57,89 %
Jugable y simple	13	34,21 %
No jugable	3	7,89 %
Total	38	100,00 %

Los resultados de la actividad 4 ponen de manifiesto que un 92,11 % de los alumnos participan en la creación de un nivel para el juego que cumple con los requisitos necesarios para poder ser implementado, mientras que el porcentaje de alumnos que crea plataformas jugables y complejas es del 57,89 %. Este último grupo de alumnos muestra en esta actividad un desempeño notable en referencia a la visualización, ya que la actividad requiere conectar las propiedades espaciales de la plataforma con las mecánicas de juego y las implicaciones para el jugador para cada decisión de diseño.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La secuencia de actividades presentada abre una nueva línea en el uso de videojuegos en el aula de matemáticas. Tomar la actividad de juego como motor del trabajo en el aula permite dirigir los esfuerzos de los alumnos para entender la geometría de los objetos tratados y sus propiedades. Pero para esquivar el hecho de que los alumnos podrían enfrentarse a los retos propuestos por el videojuego, obviando los conocimientos clave (Ke, 2008), se complementa la actividad de juego con actividades de análisis y diseño de las plataformas tridimensionales que sirven para dar forma a los niveles del juego (Drijvers,

2013). De esta forma se promueve que los alumnos y las alumnas de cuarto de primaria manipulen objetos tridimensionales con objetivos definidos y con un significado claro en cada paso que les permiten resolver interrogantes concretos en forma de problemas de movimiento sobre una plataforma (Bishop, 1988). El uso de materiales manipulativos para representar las plataformas presentes en el videojuego les proporciona un soporte para desarrollar su visualización, que se van construyendo durante la actividad (Gutiérrez, 1996; Risma, Putri y Hartono, 2013).

El progreso de los alumnos durante la actividad se manifiesta en los resultados obtenidos en la actividad 4, ya que los niveles diseñados en la actividad final muestran un alto nivel de control sobre los elementos tridimensionales utilizados y se sustentan en el trabajo desarrollado en las actividades previas. Al interpretar los resultados de cada actividad, teniendo en consideración que el tipo de actividad es progresivamente más complejo, se puede observar que los alumnos toman progresivamente más decisiones adecuadas basadas en los contenidos geométricos tridimensionales detallados en los objetivos didácticos de la actividad. De esta forma, todo indica que el uso combinado de pantallas y materiales manipulativos permite que los alumnos conecten diferentes formas de visualización de objetos tridimensionales y les den sentido para conseguir interpretarlos en el contexto del videojuego, que tiene unas características específicas.

Finalmente, el análisis de esta secuencia sobre visualización basada en un videojuego abre nuevas posibilidades para la investigación, ya que pone de manifiesto que los videojuegos pueden ser promotores de la actividad matemática de los alumnos, especialmente al proporcionar formas de representación complementarias a otros materiales didácticos. Parece necesario explorar los usos de los diferentes tipos de videojuegos en el aula y concretar qué tipo de videojuegos conecta con los diferentes contenidos o actividades matemáticas, ya sea para promover la resolución de problemas o la modelización. También es necesario estudiar la evolución de los alumnos durante la actividad para identificar qué actividades o interacciones en el aula son las que promueven construir nuevos aprendizajes.

## AGRADECIMIENTOS

Investigación desarrollada al amparo de los proyectos EDU2017-82427-R (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, España Spain) y 2017 SGR 497 (Agència de Gestió d'Ajuts Universitaris i de Recerca, Generalitat de Catalunya).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarracín, L. (2015). Videojuegos. Jugando con el espacio y el tiempo. *Suma: Revista sobre Enseñanza y Aprendizaje de las Matemáticas*, 80, 79-85.
- Albarracín, L., Hernández-Sabaté, A. y Gorgorió, N. (2017). Los videojuegos como objeto de investigación incipiente en Educación Matemática. *Modelling in Science Education and Learning*, 10(1), 53-72.  
<https://doi.org/10.4995/msel.2017.6081>
- Ben-Chaim, D., Lappan, G. y Houang, R. T. (1988). The effect of instruction on spatial visualization skills of middle school boys and girls. *American Educational Research Journal*, 25(1), 51-71.  
<https://doi.org/10.3102/00028312025001051>
- Ben-Chaim, D., Lappan, G. y Houang, R. T. (1989). Adolescents' ability to communicate spatial information: Analysing and effecting students' performance. *Educational Studies in Mathematics*, 20, 121-146.  
<https://doi.org/10.1007/BF00579459>

- Berthelot, R. y Salin, M. H. (1998). The role of pupils' spatial knowledge in the elementary teaching of geometry. En C. Mammana y V. Villani (Eds.), *Perspectives on the teaching of geometry for the 21st Century* (pp. 71-78). Dordrecht, Países Bajos: Kluwer.
- Bishop, A. J. (1988). A review of research on visualisation in mathematics education. En A. Borbas (Ed.), *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (pp. 170-176). Veszprem, Hungría: PME.
- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H. y Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives: the classification of educational goals*. Nueva York: David McKay Company.
- Carbonneau, K. J., Marley, S. C. y Selig, J. P. (2013). A meta-analysis of the efficacy of teaching mathematics with concrete manipulatives. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 380-400.  
<https://doi.org/10.1037/a0031084>
- Charsky, D. (2010). From edutainment to serious games: A change in the use of game characteristics. *Games and Culture*, 5(2), 177-198.  
<https://doi.org/10.1177/1555412009354727>
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T. y Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers and Education*, 59(2), 661-686.  
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.03.004>
- Dickey, M. D. (2005). Engaging by design: How engagement strategies in popular computer and video games can inform instructional design. *Educational Technology Research and Development*, 53(2), 67-83.  
<https://doi.org/10.1007/BF02504866>
- Drijvers, P. (2013). Digital technology in mathematics education: why it works (or doesn't). *PNA*, 8(1), 1-20. <http://hdl.handle.net/10481/27880>
- Duval, R. (1998). Geometry from a cognitive point of view. En C. Mammana y V. Villani (Eds.), *Perspectives on the teaching of geometry for the 21st century: An ICMI study*. Dordrecht: Kluwer.
- Feng, J., Spence, I. y Pratt, J. (2007). Playing an action video game reduces gender differences in spatial cognition. *Psychological science*, 18(10), 850-855.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01990.x>
- Fischbein, E. y Nachlieli, T. (1998). Concepts and figures in geometrical reasoning. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1193-1211.  
<https://doi.org/10.1080/0950069980201003>
- Foster, S. R., Esper, S. y Griswold, W. G. (2013). From competition to metacognition: designing diverse, sustainable educational games. En W. E. Mackay, S. Brewster y S. Bodker (Eds.), *CHI'13 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 99-108). Nueva York: ACM.
- Frejd, P. y Ärlebäck, J. B. (2017). Initial results of an intervention using a mobile game app to simulate a pandemic outbreak. En G. Stillman, W. Blum y G. Kaiser (Eds.), *Mathematical modelling and applications* (pp. 517-527). Cham: Springer.
- Goldenberg, E., Lewis, P. y O'Keefe, J. (1992). Dynamic representation and the development of a process understanding of function. En G. Harel y E. Dubinsky (Eds.), *The concept of function: Aspects of epistemology and pedagogy* (pp. 235-260). Washington: Mathematical Association of America.
- Gutiérrez, A. (1996). Visualization in 3-dimensional geometry: in search of a framework. En L. Puig y A. Gutiérrez (Eds.), *Proceedings of the 20th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (vol. 1, pp. 3-19). Valencia, España: Universidad de Valencia.

- Gutiérrez, J., Arnau, D. y González, J. A. (2015). Un estudio exploratorio sobre el uso de DragonBox Algebra© como una herramienta para la enseñanza de la resolución de ecuaciones. *Ensayos: Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 30(1), 33-44.  
<https://doi.org/10.18239/ensayos.v30i1.738>
- Gutiérrez, A. y Jaime, A. (2012). Reflexiones sobre la enseñanza de la geometría en primaria y secundaria. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 32, 55-70.  
<https://doi.org/10.17227/ted.num32-1859>
- Hamlen, K. R. (2011). Children's choices and strategies in video games. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 532-539.  
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.10.001>
- Harel, G. y Sowder, L. (1998). Students' proof schemes: Results from exploratory studies. En A. Schoenfeld, J. Kaput y E. Dubinsky (Eds.), *Research on Collegiate Mathematics Education* (vol. 1, pp. 234-283). Providence: American Mathematical Society.
- Hernández-Sabaté, A., Joanpere, M., Gorgorió, N. y Albarracín, L. (2015). Mathematics learning opportunities when playing a tower defense game. *International Journal of Serious Games*, 2(4), 57-71.  
<https://doi.org/10.17083/ijsg.v2i4.82>
- Ke, F. (2008). A case study of computer gaming for math: Engaged learning from gameplay? *Computers & Education*, 51(4), 1609-1620.  
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.03.003>
- Ke, F. (2009). A qualitative meta-analysis of computer games as learning tools. En R. E. Ferdig (Ed.), *Handbook of research on effective electronic gaming in education* (pp. 1-32). Hershey: IGI Global.
- Kovacevic, N. (2017). Spatial reasoning in mathematics. En Z. Kolar-Begovic, R. Kolar-Super y L. Jukic Matic (Eds.), *Mathematics education as a science and a profession* (pp. 45-65). Osijek: Element.
- Ma, H. L., Wu, D., Chen, J. W. y Hsieh, K. J. (2009). Mithelmor's development stages of the right rectangular prisms of elementary school students in Taiwan. En M. Tzekaki, M. Kaldrimidou y H. Sakonidis (Eds.), *Proceedings of the 33rd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (vol. 4, pp. 57-64). Tesalónica: PME.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological bulletin*, 86(5), 889-918.  
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.5.889>
- Németh, B. (2007). Measurement of the development of spatial ability by Mental Cutting Test. *Annales Mathematicae et Informaticae*, 34, 123-128.
- Parzys, B. (1988). «Knowing» vs «seeing». Problems of the plane representation of space geometry figures. *Educational Studies in Mathematics*, 19(1), 79-92.  
<https://doi.org/10.1007/BF00428386>
- Pittalis, M. y Christou, C. (2010). Types of reasoning in 3D geometry thinking and their relation with spatial ability. *Educational Studies in Mathematics*, 75(2), 191-212.  
<https://doi.org/10.1007/s10649-010-9251-8>
- Prensky, M. (2001). *Digital game-based learning*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Presmeg, N. C. (1986). Visualisation and mathematical giftedness. *Educational Studies in Mathematics*, 17(3), 297-311.  
<https://doi.org/10.1007/BF00305075>
- Pretelín-Ricárdez, A. y Sacristán, A. I. (2015). Videogame construction by engineering students for understanding modelling processes: The case of simulating water behaviour. *Informatics in Education*, 14(2), 265-277.  
<https://doi.org/10.15388/infedu.2015.15>

- Revina, S., Zulkardi, Z., Darmawijoyo, D. y Galen, F. V. (2014). Spatial visualization tasks to support students' spatial structuring in learning volume measurement. *Journal on Mathematics Education*, 2(2), 127-146.  
<http://doi.org/10.22342/jme.2.2.745.127-146>
- Risma, D. A., Putri, R. I. I. y Hartono, Y. (2013). On developing students' spatial visualisation ability. *International Education Studies*, 6(9), 1-12.  
<http://dx.doi.org/10.5539/ies.v6n9p1>
- Rosas, R., Nussbaum, M., Cumsille, P., Marianov, V., Correa, M., Flores, P., Grau, V., Lagos, F., López, X., López, V., Rodríguez, P. y Salinas, M. (2003). Beyond Nintendo: Design and assessment of educational video games for first and second grade students. *Computers and Education*, 40(1), 71-94.  
[https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(02\)00099-4](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(02)00099-4)
- Salen, K. y Zimmerman, E. (2004). *Rules of play: Game design fundamentals*. Cambridge: MIT Press.
- Tall, D. O. y West, B. (1986). Graphic Insight into Calculus and Differential Equations. En G. Howson y J. P. Kahane (Eds.), *The influence of computers and informatics on mathematics and its teaching* (pp. 107-119). Cambridge: Cambridge University Press.
- Vigotsky, L. S. y Cole, M. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Crítica.
- Zazkis, R., Dubinsky, E. y Dautermann, J. (1996). Coordinating visual and analytic strategies: A study of students' understanding of the group D4. *Journal for Research in Mathematics Education*, 27(4), 435-457.  
<https://doi.org/10.2307/749876>

### Software referenciado

- Cubosphere [software] (2009). <https://sourceforge.net/projects/cubosphere/>
- DragonBox Algebra [software] (2013). Oslo: WeWantToKnow AS.
- Kula World [software] (1998). Estocolmo: Game Design Sweden AB.
- Marble Madness [software] (1984). Nueva York: Atari Games.
- Mercury Meltdown [software] (2006). Londres: UTV Ignition.
- Plague Inc: Evolved [software] (2015). Bristol: Ndemic Creations.
- Puzzle Dimension [software] (2010). Uppsala: Doctor Entertainment.
- Tetris [software] (1984). Moscú: Alekséi Pázhitnov.

---

# A sequence of activities to develop visualization using a video game

Lluís Albarracín

Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals.  
Universitat Autònoma de Barcelona. Cerdanyola del Vallès, Barcelona, España  
lluis.albarracin@uab.cat

This article presents, justifies, and validates a sequence of activities to work on visualization with fourth-year primary education students from the context promoted by a three-dimensional puzzle video game. Visualization involves the articulation of processes and abilities of a person to perform certain tasks that require seeing or mentally imagining two or three-dimensional objects in space, as well as relating these objects to each other and performing specific tasks or geometric transformations with them. For their part, video games have proved to be a powerful educational tool for promoting mathematical learning, although some of their potential has yet to be explored.

The video game used in the sequence of activities is Kula World and it is a puzzle-type video game that proposes problematic situations to students in a three-dimensional environment. The sequence is initiated by playing freely to identify the challenges proposed by the game. Then, activities are proposed to identify key aspects of the video game and to encourage students to develop geometric knowledge about visualization. Specifically, students are first asked to make reproductions of the platforms that appear in the game using manipulative materials. Then, several problems related to the movements which are allowed in the game are presented and solved by the students using the reproduced platforms. The final activity is the design of platforms that could be incorporated as new levels in the video game. This activity places students in the role of a video game designer and requires the analysis developed in the previous activities to combine the visualization aspects with the restrictions introduced by the game mechanics.

During the activity, data was collected from three interventions in fourth grade classrooms, completing a total of 78 participants. The data collected were qualitatively analyzed to identify the progress of the students on visualization. The results show some common errors in the visualization of the elements of the video game that are revealed when building the platforms using manipulative materials. It is also observed that students make mistakes when transporting to the real world the movement mechanics of the game, which introduce restrictions to the simulated movements in the proposed problems. A progressive decrease in the difficulties of visualization by students is observed during the sequence, until a notably high percentage (91.11 %) manage to build platforms that could represent valid and playable levels if they were transferred to the original video game environment.

These results highlight the possibilities of the video game used and the activities that accompany it to relate different forms of visualization of three-dimensional objects. It is necessary to accompany the game activity with a set of mathematical activities that allow its analysis to ensure that students advance in their learning process. The progress of the students during the sequence is shown in the results obtained in the activity of designing levels of the game, since the levels designed in the final activity show a high level of control over the visualization of the three-dimensional elements used and are supported by the work developed in the previous activities.

This work provides a new way of exploring the uses of different types of video games in the classroom and specifying what type of video game connects with the different mathematical contents or activities, whether to promote problem solving or modelling.





# ¿Qué suena dentro de tu cuerpo? Un proyecto sobre el corazón en Educación Infantil

## What sounds inside your body? A project about the heart in Early Childhood Education

Beatriz Mazas, Esther Cascarosa, Ester Mateo  
*Dpto. de Didácticas Específicas. Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales.  
Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España.*  
[bmazas@unizar.es](mailto:bmazas@unizar.es), [ecascano@unizar.es](mailto:ecascano@unizar.es), [emateog@unizar.es](mailto:emateog@unizar.es)

**RESUMEN** • En este trabajo se presenta un proyecto realizado con niños de Educación Infantil (EI) a lo largo del curso escolar 2017/18, en torno al tema del «corazón». El objetivo principal fue responder a la pregunta: ¿Qué destrezas científicas afloran tras llevar a cabo una experiencia sobre el corazón en EI? Para ello, diseñamos una secuencia de actividades para trabajar las prácticas científicas que los alumnos realizaron con las maestras o bien con las profesoras de la Universidad. Estas actividades integraban las prácticas de la indagación, modelización y argumentación. Las sesiones fueron grabadas y transcritas para su análisis por episodios. Los resultados nos muestran que las actividades planteadas permiten trabajar las destrezas que engloban las prácticas científicas de indagación, modelización y argumentación en Educación Infantil para aprender sobre el corazón, construyendo modelos cada vez más complejos sobre el cuerpo humano y su funcionamiento y favoreciendo el pensamiento sistémico.

**PALABRAS CLAVE:** Corazón; Cuerpo humano; Educación Infantil; Prácticas científicas.

**ABSTRACT** • This paper presents a project on the heart carried out with children from Early Childhood Education throughout the 2017/18 school year. The main objective was to answer which scientific skills surface after an experience on the heart in Early Childhood Education to build new scientific knowledge. To do this, we designed a sequence of activities to work with the scientific practices that the students carried out with the teachers or with the lecturers. These activities integrated inquiry, modeling and argumentation practices. The sessions were recorded and transcribed for analysis by episodes. The results show us that the activities proposed allow us to work on the scientific skills that encompass the scientific practices of inquiry, modeling and argumentation in Early Childhood Education to learn about the heart, building increasingly complex models about the human body and its functioning and favouring systemic thinking.

**KEYWORDS:** Heart; Human body; Early Childhood Education; Scientific practices.

Recepción: enero 2020 • Aceptación: noviembre 2020 • Publicación: junio 2021

Mazas, B., Cascarosa, E. y Mateo, E. (2021). ¿Qué suena dentro de tu cuerpo? Un proyecto sobre el corazón en Educación Infantil. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 201-221.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3213>

## INTRODUCCIÓN

La participación en proyectos de ciencias desde la EI beneficia el rendimiento posterior del alumnado en este campo, por lo que deberíamos reconsiderar si actualmente le estamos dando a la ciencia la importancia adecuada en edades tempranas (OECD, 2006). En algunas ocasiones, quizás se evita trabajar las ciencias en las aulas de infantil porque muchos maestros<sup>1</sup> no se sienten preparados para abordar los contenidos científicos –por no tener el conocimiento y las destrezas suficientes– para actuar como guía y apoyo en aquellas actividades donde se trabajen contenidos de ciencias a partir de prácticas científicas (Vílchez y Bravo, 2015). Sin embargo, trabajando conjuntamente desde la Universidad con los maestros en el aula de infantil, podemos desarrollar las sesiones para que aumente su propia confianza en los proyectos científicos que se desarrollan. Del mismo modo, los investigadores también podemos beneficiarnos al nutrirnos de la realidad de las aulas (Gil-Quílez, Martínez-Peña, De La Gándara, Calvo y Cortés, 2008).

A diferencia de lo que puede pensarse, los niños de infantil son capaces de comprender los conceptos científicos (Eshach, 2006) y de trabajar a partir de prácticas como la indagación, modelización o argumentación (Jiménez-Alexandre y Crujeiras, 2017). Las prácticas científicas se podrían definir como aquellas prácticas utilizadas por los científicos para establecer, extender y refinar su conocimiento (NRC, 2012), e implican el desarrollo de destrezas u operaciones científicas, que es como se trabaja la práctica a nivel escolar, es decir, es lo que hacen los niños a lo largo de las sesiones.

El objetivo principal de este trabajo es el diseño, la implementación y el análisis de diferentes actividades para trabajar las prácticas científicas a lo largo de un proyecto anual sobre el corazón en la etapa de EI. Concretamente, las acciones realizadas fueron las siguientes: 1) diseñar una secuencia de trabajo con las maestras del centro colaborador para conocer los intereses de los niños en cuanto al estudio de las ciencias; 2) implementar las diferentes sesiones preparadas, interviniendo puntualmente en el aula y trabajando de forma conjunta con las maestras para desarrollar un proyecto con un objetivo final concreto, y 3) trabajar las prácticas científicas de la indagación, la modelización y la argumentación a partir de un tema concreto: el corazón.

La pregunta de investigación que guía este trabajo es: ¿Qué destrezas científicas afloran tras llevar a cabo una experiencia sobre el corazón en EI?

Con este artículo pretendemos contribuir a mejorar el conocimiento sobre las prácticas científicas en la etapa de infantil basándonos en Mosquera, Puig y Blanco (2018), ejemplificando con las actividades diseñadas, así como a difundir nuestros resultados entre los maestros para promover trabajar las ciencias en las primeras etapas de la escolarización.

## MARCO TEÓRICO

### La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en Educación Infantil

Eshach (2006) expone seis motivos por los que es apropiado introducir la ciencia en la etapa de EI: los niños disfrutan observando y pensando sobre aspectos de la naturaleza; exponer a los niños a la ciencia favorece las actitudes positivas hacia esta; el uso del lenguaje científico influye en el desarrollo de conceptos científicos, y una exposición temprana a los fenómenos científicos favorece una mejor comprensión de los conceptos científicos que se estudiarán en un futuro. Harlen (2015) señala las «grandes ideas» de la ciencia, en las que establece qué conceptos deben trabajarse en cada etapa educativa para

1. N. de los A.: A lo largo de este artículo usamos sustantivos como *niño*, *alumno*, *maestro*, (los) *docentes*, etc. No obstante, todo lo que está escrito se refiere también a las niñas, alumnas, maestras, las docentes... No hemos usado ambos géneros para no hacer pesada la lectura, pero queríamos manifestar que, efectivamente, nos referimos tanto a ellos como a ellas.

tener una base sólida sobre la que construir una progresión de conceptos científicos que se trabajan a lo largo de toda la escolarización, con el objetivo de conseguir una adecuada alfabetización científica de los ciudadanos. En el caso de nuestro proyecto, trabajamos el corazón, por lo que abarcamos la gran idea n.º 7 de Harlen (2015), que dice: «Los organismos se organizan en una base celular y tienen un periodo de vida determinado». En ella, se hace alusión a que *el sistema circulatorio lleva el material que necesitan las células a todas las partes del cuerpo, y también elimina los materiales de desecho*. Se profundiza en esta idea a partir de la indagación, la modelización y la argumentación con diferentes intervenciones que se expondrán en los apartados siguientes.

Trabajando desde la indagación, los estudiantes utilizan métodos que emplean las personas que trabajan en la ciencia, y descubren los fenómenos a partir de su propia actividad científica (Harlen, 2015), por ejemplo, diseñando y poniendo en práctica experimentos y analizando los datos obtenidos (Ageitos, Puig y Calvo-Peña, 2017). Para ello, observan, encuentran patrones, plantean hipótesis y prueban sus ideas (Tunnicicliffe y Ueckert, 2011). Windschitl (2003) diferencia varios niveles de indagación: el nivel más bajo se corresponde con la confirmación de experiencias, donde los estudiantes conocen los principios científicos siguiendo un guion. El siguiente nivel se refiere a la indagación estructurada, en la que el profesor presenta una pregunta en la que los estudiantes no conocen la respuesta y a los que se les proporciona un procedimiento para completar la indagación. En la indagación guiada, los profesores proporcionan a los estudiantes un problema que investigar, pero los métodos para resolverlos los eligen los estudiantes. Y, finalmente, en la indagación abierta los profesores permiten a los estudiantes desarrollar sus propias preguntas y diseñar sus investigaciones. Teniendo esto en cuenta, en este trabajo nos hemos centrado en la indagación estructurada.

La segunda práctica científica es la argumentación. Se pone de manifiesto al utilizar conocimientos previos para llegar a conclusiones a un nivel que implique crear, utilizar o revisar modelos científicos en sus razonamientos (Martínez Bernat, García Ferrandis y García Gómez, 2019), sobre la base de pruebas (Ageitos *et al.*, 2017). Desde la base de lo que señalan Jiménez Aleixandre y Puig (2010), para que haya argumentación tiene que haber conocimiento (científico) sometido a evaluación, y pruebas (o razones) para confirmarlo o refutarlo. Por ejemplo, en nuestro caso, estableciendo relaciones, justificando las respuestas sobre la base de pruebas, que puedan haber experimentado previamente. Es decir, mostrando cómo a partir de los datos obtenidos llegan a desarrollar ciertas conclusiones (Bravo y Jiménez Aleixandre, 2014).

Por último, consideramos la práctica de modelización. Oliva (2019) recoge en su trabajo las diferentes acepciones de modelo y de modelización en la enseñanza, entre las que se encuentra la modelización como práctica científica. Se podría definir como el proceso por el que se crean, revisan y emplean modelos de una forma dinámica y creativa (Justi, 2006). La práctica de modelización en el aula permite a los docentes acceder a las ideas del alumnado sobre un tema concreto y conocer cómo evolucionan a través de la comunicación de sus modelos mentales (Mendonça y Justi, 2014). Oliva (2019) sintetiza esta práctica recogiendo las fases propuestas por diversos autores: la primera fase del proceso se corresponde con la justificación del propósito de un nuevo modelo sobre un fenómeno u objeto del mundo real, para lo cual el sujeto tiene que estar familiarizado con el objeto o fenómeno. A continuación, es preciso elegir un sistema de códigos que permitan ensamblar un lenguaje para el desarrollo de un modelo inicial, y posteriormente ese modelo deberá ponerse a prueba, de tal forma que si surgen cambios deberá reformularse hasta obtener un modelo que se ajuste a las predicciones. En EI no está clara la ubicación exacta en cada una de estas fases, y en este proyecto atendemos a autoras como Mosquera *et al.* (2018), que apuntan que la modelización implica el desempeño de una serie de habilidades que permitan comprender cómo se elaboran los diferentes modelos científicos. Por tanto, estos modelos podrán ser parciales tal y como muestran otros estudios previos referidos a la etapa de EI (Mazas *et al.*, 2018), los cuales se irán completando al superar los diferentes niveles académicos.

## El currículo y el cuerpo humano

En el currículo del 2.º ciclo de EI (BOE, 2007), una de las áreas está dedicada al conocimiento del propio cuerpo: «Conocimiento de sí mismo y autonomía personal». De los cuatro bloques de contenidos establecidos, destacamos que nuestro proyecto se centra en *El cuerpo humano y la propia imagen*, y en el de *El cuidado personal y la salud*. En la tabla 1 se pueden apreciar los contenidos concretos que se consideran a lo largo de las actividades propuestas.

Tabla 1.  
Relación de contenidos que se trabajan  
en este proyecto con los contenidos propuestos en el currículo de EI

<i>Bloque</i>	<i>Contenido</i>
I: El cuerpo y la propia imagen	Exploración del propio cuerpo. Identificación y aceptación progresiva de las características propias. El esquema corporal.
	Percepción de los cambios físicos propios y de su relación con el paso del tiempo. Las referencias espaciales en relación con el propio cuerpo.
	Utilización de los sentidos: sensaciones y percepciones.
	Las necesidades básicas del cuerpo. Identificación, manifestación, regulación y control de estas.
IV: El cuidado personal y la salud	Acciones y situaciones que favorecen la salud y generan bienestar propio y de los demás.
	Práctica de hábitos saludables: higiene corporal, alimentación y descanso.
	Identificación y valoración crítica ante factores y prácticas sociales cotidianas que favorecen o no la salud.

Atendiendo al primer bloque, en las aulas de infantil se trabajan el cuerpo humano y los sentidos. Reiss *et al.* (2002) estudiaron el concepto del cuerpo humano y su funcionamiento a partir de dibujos realizados con niños de 7 y de 15 años de distintas partes del mundo, en el que tenían que dar respuesta con un dibujo a la pregunta: ¿Qué hay dentro de tu cuerpo? De entre los órganos que más dibujaban estaba el corazón; sin embargo, el sistema circulatorio como sistema era de los que menos aparecía, a diferencia del digestivo o el respiratorio, que se mostraban con frecuencia. En lo que al corazón en concreto se refiere, estudios previos indican que lo dibujan como un icono del corazón de San Valentín (García-Barros, Martínez-Losada y Garrido, 2011), tal vez porque este órgano es difícil de dibujar, o bien porque lo ven de esa manera en los dibujos animados o en los anuncios (Dempster y Stears, 2014; Reiss y Tunnicliffe, 2001). No obstante, estos autores concluyen que las representaciones aisladas del corazón en los dibujos manifiestan un déficit en cuanto a la relación del corazón con otros elementos del organismo.

Con respecto al bloque 4, sobre el cuidado personal y la salud, entendemos que, en relación con el corazón, al ser el tema conductor de este trabajo, debíamos considerar qué podemos hacer para tener nuestro corazón sano. Las alteraciones de la salud que pueden aparecer en nuestro corazón están asociadas, en muchas ocasiones, a una dieta no saludable. Entre ellas podríamos destacar la obesidad y las alteraciones cardiovasculares, como la hipercolesterolemia. Algunos autores, como Weissová y Prokop (2019), estudiaron las ideas alternativas de los niños sobre la obesidad. Rozin, Hammer, Oster, Horowitz y Marmora (1986) ya señalaban que los niños de infantil consideraban que todo aquello que es comestible (patatas fritas, dulces) puede formar parte de una dieta, sin límite de cantidad. Los niños de 4 a 7 años son capaces de separar la comida que influye sobre la salud humana (por ejemplo, los

alimentos que contienen vitaminas) de la que es nutritiva (por ejemplo, los alimentos que contienen grasa) (Nguyen, 2007); y los de 7 a 11 años, según Hart, Bishop y Truby (2002), ya son capaces de asociar la comida con la salud (por ejemplo, «Los dulces pueden provocarte un agujero en los dientes»).

Finalmente, dentro del área del currículo de infantil señalado, denominada «Los lenguajes: comunicación y representación», consideramos importante resaltar que a lo largo del proyecto se les pide a los niños que manifiesten sus ideas con objeto de adquirir progresivamente el vocabulario científico y sensorial que les permita mejorar en la comunicación verbal y expresarse de forma más fluida en contextos científicos. Por lo tanto, a lo largo del proyecto se desarrolla la habilidad científica de la comunicación (de hipótesis, de resultados, conclusiones, etc.).

## METODOLOGÍA

El presente estudio se realiza a lo largo del curso 2017/18 con niños y niñas de 3 y 5 años del CEIP Fernández Vizarra de Monzalbarba (Zaragoza), que desde hace varios años colabora con el Departamento de Didácticas Específicas. Las maestras de dicho colegio defienden las metodologías activas en ciencias en la etapa de infantil. Tal coordinación permite establecer **vínculos que** satisfagan la inquietud de los niños por determinados temas de su entorno que llaman la atención. En este caso concreto, los niños de 3 y 5 años de EI expresaban su deseo de saber más cosas sobre el corazón. Este sentimiento es fruto de experiencias previas realizadas durante el curso 2016/17 (solamente por los alumnos de 5 años), donde realizamos una serie de disecciones del ojo y del cerebro, entre otras (Mazas, Mateo, Gil-Quílez y Sáez, 2017), que estaban relacionadas con un proyecto general sobre la luz y específicamente con cómo vemos los humanos.

Las sesiones que se programaron fueron grabadas para su posterior análisis a partir de la transcripción y categorización de las respuestas que daban los alumnos a las preguntas planteadas. Para el análisis de los datos, se dividieron las transcripciones de las grabaciones de audio y vídeo en episodios. Para la identificación de los episodios, seguimos el criterio de Gee (2005), según el cual un episodio comprende uno o varios turnos de palabra y se define en función de la cuestión que los participantes están discutiendo. Por lo tanto, se clasificaron los episodios en función de las respuestas que comentaban los niños a las preguntas realizadas por la maestra, identificándose en ellas las destrezas u operaciones científicas descritas por Mosquera *et al.* (2018). Utilizamos las transcripciones de estos episodios para ejemplificar cómo los estudiantes interiorizan los diferentes aspectos que van surgiendo a lo largo de las sesiones, y, sobre todo, cómo los relacionan con las sesiones previas. También se recogieron datos a partir de la observación, de las anotaciones de los comentarios de los alumnos por parte de las maestras en el aula, y de los dibujos y representaciones que hacen de los diferentes elementos, que nos sirvieron para contextualizar las conversaciones y en ocasiones ilustrar la actividad realizada.

### Diseño del proyecto

En este contexto de querer aprender más sobre el corazón, las maestras del colegio y las profesoras de la Universidad diseñamos un proyecto anual para trabajar diferentes aspectos científicos. En la tabla 2 se muestra un resumen de todas las actividades que se plantearon, algunas en el aula de infantil con su maestra de diario, y otras, en otros lugares, como el patio o la Facultad de Educación, donde aparecían «las científicas», que era como nos llamaban a las profesoras de la Universidad. En la tabla también se explicita la práctica científica trabajada y la operación concreta que se desarrolla en cada actividad, según la clasificación presente en Mosquera *et al.* (2018), siendo conscientes de que en algunas de ellas el límite entre unas prácticas y otras podría no estar del todo claro. Según Couso (2014), es más adecuado matizar la dimensión teórica y discursiva de la indagación con nomenclaturas como «indagación

centrada en modelizar» o «indagación argumentativa». No obstante, hemos clasificado las actividades atendiendo la operación o destreza científica principal que se desarrolla en cada sesión.

Tabla 2.  
Resumen de las actividades planteadas en torno al corazón

	<i>Actividad</i>	<i>Guiada por...</i>	<i>Práctica científica</i>	<i>Operación o destreza científica</i>
1	¡Sorpresa!	Profesoras Universidad	Indagación	Emitir hipótesis, formular preguntas Observar Explorar
2	¿Cómo será el corazón? Ideas previas	Maestras	Indagación	Emitir hipótesis
3	Disección de corazones	Profesoras de universidad	Indagación	Observar-experimentar- manipular
4	Sesión de asamblea: Comprobamos cómo es	Maestras	Indagación	Interpretar información
5	Establecemos relaciones: los animales y sus corazones	Maestras	Argumentación	Usar e identificar pruebas, justificar respuestas
6	Experiencias con mi corazón y el de mis compañeros	Maestras	Indagación	Experimentar, explorar
7	Silueta del corazón en el cuerpo	Maestras	Modelización	Representar entidades mediante dibujos
8	Buscamos información sobre el corazón y representamos la sangre en el cuerpo	Maestras	Indagación	Investigar, explorar, interpretar información, recoger datos
		Maestras	Modelización	Explicar fenómenos, representar un fenómeno
9	Maqueta del corazón	Profesoras de universidad	Modelización	Uso de modelos, explicación de fenómenos
10	Tengo el corazón contento	Profesoras de universidad	Indagación	Experimentar, manipular

Comenzar por una actividad que sorprenda al alumnado implica, de acuerdo con Palacino Rodríguez (2007), una motivación inicial hacia el proceso de aprendizaje. Otro aspecto que considerar es que la actividad inicial fue desarrollada con «las científicas», lo que infundió en los alumnos una motivación extra. En esta actividad una de las operaciones fue la formulación de hipótesis. Trabajando en infantil, surge la duda de cómo llamar al proceso por el cual los alumnos se plantean qué va a ocurrir: hipótesis o predicción. Dado el limitado marco teórico que alumnos tan pequeños poseen, podríamos llamarlo «emisión de hipótesis», tal y como entienden las hipótesis autoras como Mazas *et al.* (2018), ya que una predicción implicaría tener datos previos en los que apoyarse. Sin embargo, otros autores, como Martí (2012) o Cruz-Guzmán, García-Carmona y Criado (2017), exponen que los escolares de temprana edad no suelen ser capaces de formular una declaración provisional y fundamentada para explicar un hecho establecido, por lo tanto, no se puede nombrar como hipótesis, sino que se denominarían predicciones. En el caso que nos ocupa, valorando el contexto, utilizaremos el término *hipótesis* para denominar los hechos esperados en función de su experiencia o ideas previas.

La segunda actividad se basa en conocer las ideas previas de los alumnos por su importancia en el diseño de las actividades (Driver, 1986). Los alumnos, tras discutirlo en la asamblea, colocan su foto debajo del dibujo que representa la idea de corazón que tiene cada uno.

Tras emitir las hipótesis, tenemos que comprobarla o refutarla. Por ello, en la siguiente sesión, pasamos a observar la disección de corazones reales. La disección se recomienda en otros países como una actividad para ayudar a los estudiantes a desarrollar prácticas científicas (NSTA, 2005) y a relacionar la estructura de los órganos con sus funciones (Cascarosa, Mazas, Martínez-Peña y Gil-Quílez, 2019; Holstermann, Grube y Bögeholz, 2009). Con esta actividad los alumnos pueden observar corazones reales por dentro y por fuera, manipular, oler..., en definitiva, utilizar los sentidos para aprender cómo es un corazón. De Puig (2003) señala que es como se debería construir el aprendizaje en edades tempranas, percibiendo, sintiendo y pensando sobre lo percibido.

En la cuarta sesión se recogen los conceptos trabajados. En proyectos de larga duración como este, y más en alumnos de edades tempranas, es recomendable que, a lo largo del proyecto, se pare, se recapitule y se resuma lo trabajado hasta el momento con la intención de analizar cómo los alumnos han interpretado la información, aclarar conceptos adquiridos y retomar el objetivo global del proyecto. Para ello, resulta esencial que el alumnado identifique los conocimientos, enfoques y estrategias que les ayudan a progresar en su aprendizaje, mediante un proceso social dado por la interacción permanente y dialogada entre iguales (interacción alumno-alumno, con las orientaciones del profesor, negociando los significados a partir del intercambio de ideas, opiniones, valoraciones, etc. (García Carmona, 2012)). Se trabaja la competencia de aprender a aprender, ya que es necesario trabajarla desde el inicio de la escolarización (BOE, 2007).

Una parte de la modelización implica establecer relaciones entre lo trabajado y el sistema que lo rodea, así como la transferencia del aprendizaje (Hinojosa y Sanmartí, 2015). Por eso, la siguiente actividad se planteó en torno a las relaciones que los alumnos pueden establecer y la transferencia de lo aprendido en una situación a otras. Tras establecer relaciones entre los tamaños del corazón y los tamaños de los animales que lo contienen, contextualizamos la siguiente actividad fijándonos en el corazón propio de cada uno. Para poder construir un modelo amplio del corazón, los alumnos no solo deberían conocer la forma y la relación entre los tamaños, sino también saber cómo funciona. Así, la siguiente actividad consiste en experimentar en qué situaciones cambia el latido del corazón. El desarrollo de esta actividad servirá también como punto de partida para la siguiente, en la que los alumnos deben observar el ritmo cardíaco. Para trabajarlo se diseñó la séptima actividad en la que los alumnos debían ubicar el corazón dentro de una silueta que dibujaron del cuerpo humano a tamaño real. Consideramos que la localización del corazón en el cuerpo es importante dado que tenemos que escucharlo, sentirlo y relacionarlo con el resto del cuerpo. La siguiente actividad se diseñó para ampliar la información que los alumnos pedían conocer. Cuando los alumnos ya conocen qué es el corazón, cómo funciona y dónde se encuentra, son capaces de representar el recorrido de la sangre, por lo que la actividad que realizaron permitió hacer visible lo que habían aprendido. Autores como Mazas *et al.* (2017) señalan que representar/visualizar facilita la construcción de un modelo más cercano al real. Para ello, construimos una maqueta con botellas de plástico y agua teñida de color rojo. Manipulando las botellas los alumnos observan el recorrido que la sangre hace en el corazón, cómo entra la sangre «sucía» y sale la sangre «limpia» que recorre el cuerpo.

Trabajar el corazón permite, además de trabajar procedimientos y actitudes hacia la ciencia, la transversalidad con aspectos como la educación para la salud o aspectos sociales que podemos relacionar con su día a día. Por eso, se planteó una última actividad para trabajar con los alumnos alimentos que favorezcan tener un «corazón contento».

Resumiendo, en la figura 1 se muestra la secuencia seguida en el desarrollo del proyecto.

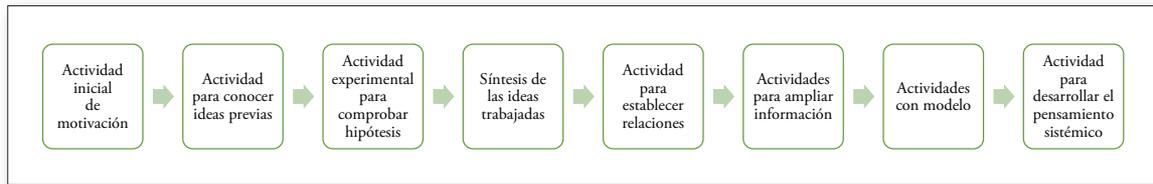


Fig. 1. Secuencia de las actividades del proyecto.

## Desarrollo del proyecto

Las actividades se trabajan a partir de preguntas de indagación que van guiando al alumno para que se sienta partícipe y manifiesten su interés por el tema.

### *Actividad 1: ¡Sorpresa!*

Aprovechando la curiosidad que sienten los niños ante una caja que contiene algo desconocido, decidimos incluir un USB con el sonido del corazón. Este fue el punto de partida que generó entusiasmo en los niños y ganas de conocer todo lo relacionado con el corazón. Tras escucharlo, los niños describían el sonido y lo reproducían: pom-pom, pom-pom..., lo imitaban con sus puños sobre el pecho y escuchaban el latido de sus compañeros (figura 2). Finalmente descubrieron que eran latidos del corazón y establecieron semejanzas y diferencias entre el sonido del corazón que había en el USB y el sonido de los corazones de sus compañeros, y entre los sonidos de los corazones entre compañeros. Esta clase sirvió como elemento de introducción al proyecto.



Fig. 2. Actividad introductoria donde los niños escuchan el corazón de sus compañeros.

### *Actividad 2: ¿Cómo será el corazón? Ideas previas*

Una vez introducido el tema nos dispusimos a conocer qué sabían sobre el corazón. La maestra lanza la siguiente pregunta: ¿cómo será un corazón de verdad? Y para ello se plantean varias opciones, teniendo en cuenta las primeras respuestas de los niños: ¿será duro como la madera?, ¿blando como una pelota?, ¿con o sin agujeros?, ¿grande o pequeño? En la clase de 3 años, después de hablar e intercambiar opiniones, cada uno decide una opción (hipótesis) y coloca su foto en un gráfico de recogida de datos (figura 3).

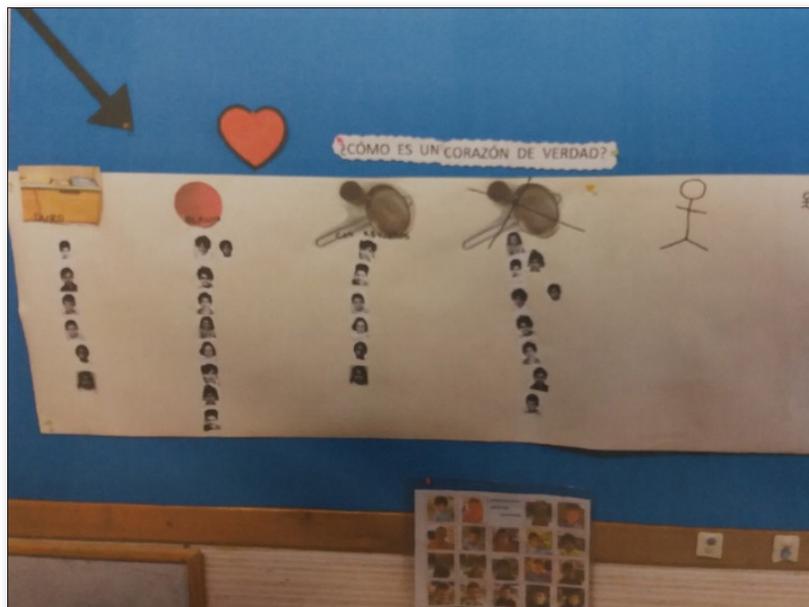


Fig. 3. Gráfico de recogida de las hipótesis planteadas sobre cómo es un corazón.

En la figura 3 se puede observar que, de los 15 niños, 6 piensan que es duro y 9 blando; y 6 piensan que tienen agujeros y 9 que no los tiene. Dejamos el hueco del tamaño pendiente.

Una vez realizadas las hipótesis, los niños se preguntan si serán ciertas o no, y manifiestan su interés por ver un corazón real. Ante dicha situación, se decide llevar un corazón de verdad.

En la clase de 5 años, también se planteó *cómo sería un corazón real y saber para qué sirve el corazón*. Los alumnos responden que saben que está dentro del cuerpo, en el pecho, y saben que late (incluso hacen el gesto en el pecho y dicen pom-pom), que es rojo y marrón, que tienen venas y que hay de diferentes tamaños, en función del volumen del animal. En la transcripción de la sesión se observa que varias veces hacen alusión a las sensaciones en relación con el corazón: cuando se murió su perrita, cuando otro se montó en las ferias, cuando estamos nerviosos...

En cuanto a para qué sirve el corazón, los alumnos señalan elementos que tienen que ver con el aparato circulatorio (aunque ellos no lo han trabajado como tal), como las venas, la sangre, que va por todo el cuerpo, que la sangre tiene que ir por dentro del corazón, asumiendo que el corazón tiene una parte hueca por donde pasa la sangre, o que si te caes te puede salir sangre, es decir, que la sangre de forma natural está dentro, pero si te haces una herida se puede salir, o bien que hay sangre clara y oscura.

### **Actividad 3: Disección de corazones**

Cuál fue la sorpresa de los niños al ver a las científicas, que no solamente traen un corazón, sino que ¡traen cuatro!: uno de conejo, uno de cordero, uno de cerdo y uno de vaca. El objetivo de esta sesión consiste en llevar corazones de diferentes animales para que los alumnos observen y establezcan semejanzas y diferencias entre ellos a través de su manipulación.

En la clase de 3 años, nos disponemos formando un gran círculo y vamos mostrando los corazones de conejo, cordero, cerdo y vaca. En esta sesión los niños se fijan en los corazones y al tocarlos los alumnos observan y notan que son blandos como una pelota, que no es tan rojo como pensaban, que los hay de diferentes tamaños, y que tiene algunos agujeros y tubos. En cuanto a las observaciones que hacían, por ejemplo, con respecto al tamaño, decía un alumno: «Este es de tiranosaurio, es supergrande»

(se refería al de vaca); o atendiendo a las venas señalaban: «Tiene agujeritos, se ve la varilla» (haciendo alusión a la varilla de vidrio que metimos de un agujero a otro del corazón). Esta observación puede servir a los alumnos para plantearse la comunicación del corazón con otras partes de nuestro cuerpo. Tras la observación ya podemos completar el hueco que dejamos en el póster sobre el tamaño (figura 3).

En la clase de 5 años nos vamos al laboratorio del cole y nos disponemos alrededor de las mesas para observar los corazones de los de los cuatro animales señalados (figura 4). Los alumnos observaron, tocaron, olieron, compararon lo que pesaban, etc. Se fijaron en el tamaño del corazón y lo asocian sobre todo con que el animal sea más grande o más pequeño, estableciendo comparaciones, y también con la edad (padres-hijos). Con respecto al color, señalan semejanzas, como que todos son rojos-marrones, pero tienen «algo blanco» alrededor, que les indicamos que sirve para proteger al corazón.



Fig. 4. Observación de los corazones por parte de los alumnos de 5 años.

Después de las reflexiones del corazón por fuera, procedemos a abrirlo. Los niños compararon las paredes de los ventrículos izquierdo y derecho, y al tocarlos comprueban que hay unos «tubitos» que denominamos venas y arterias, que van a diferentes partes del corazón, y también por todo el cuerpo.

#### *Actividad 4: Reflexión-asamblea*

Una vez realizada la primera actividad práctica, la maestra realiza una sesión de reflexión de los conocimientos que hemos adquirido hasta el momento sobre los corazones. Los alumnos de 3 y 5 años recordaron la información que habían recogido de sus experiencias en cuanto al color, al tamaño, al tacto duro y blando, a la temperatura y a la presencia de agujeros de cada corazón.

#### *Actividad 5: Establecemos relaciones: los animales y sus corazones*

En la siguiente sesión seguimos avanzando y tenemos en cuenta que no todos los corazones son iguales. Llegan a establecer generalizaciones al observar características comunes en corazones de diferentes animales: los animales grandes tienen un corazón grande y los pequeños lo tienen más pequeño; todos los corazones tienen agujeros. Los niños son capaces de extraer deducciones a partir de sus observaciones, lo cual para Fernández Manzanal y Bravo (2015) implica un nivel superior de aprendizaje.

#### *Actividad 6: Experiencias con mi corazón y el de mis compañeros*

Ya que en la primera sesión experimentamos sobre el latido del corazón sin saber muy bien en qué consistía, en esta sesión queremos sentir qué pasa cuando lo sometemos a esfuerzos físicos, dado que algunos de los niños habían contado situaciones en las que el corazón iba más deprisa o más despacio de lo normal. Para ello, ambas clases salimos al patio y corrimos y saltamos, para comprobar que nues-

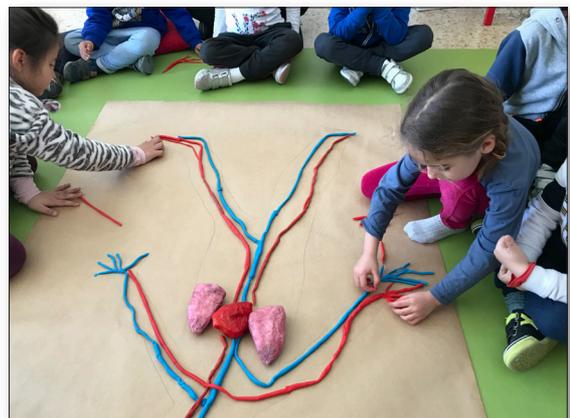
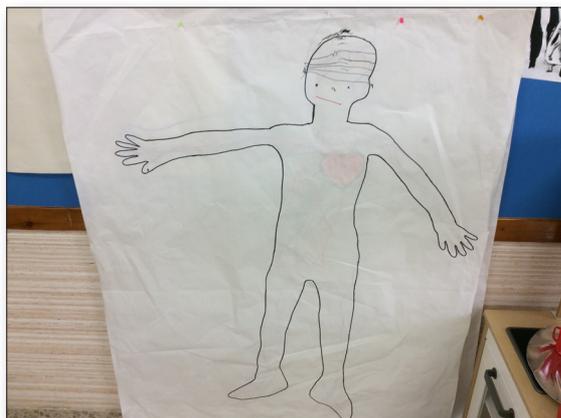
tro corazón iba más rápido. Lo podemos sentir escuchándolo en el pecho de nuestros compañeros o con la mano en el propio pecho (figura 5). Del mismo modo, experimentamos que, cuando estamos en calma, nuestro corazón está tranquilo.



Fig. 5. Reacción de los alumnos al someter al corazón a un esfuerzo físico.

### *Actividad 7: Silueta del corazón en el cuerpo*

Desarrollamos esta actividad en la que se dibujaba la silueta de un alumno en papel continuo y los niños tenían que dibujar el corazón en él. En la clase de 3 años se fijaron únicamente en el corazón, pero tuvieron en cuenta que, como el corazón está dentro del cuerpo, había que ponerlo debajo de la silueta y poner otra silueta por detrás (figura 6a). En la clase de 5 años, además de la silueta, señalaron también las venas, las arterias y los pulmones con plastilina (figura 6b).



Figs. 6a y 6b. Silueta de los alumnos de 3 y de 5 años, respectivamente.

### *Actividad 8: Buscamos información sobre el corazón y representamos la sangre en el cuerpo*

Los niños continuamente comentaban en las sesiones que tenían un libro sobre el corazón, o habían visto un vídeo en casa, o unos dibujos en los que había corazones. Decidimos dedicar una sesión a buscar información en los libros sobre el sistema circulatorio y cómo funciona. Los más pequeños llevaron libros al aula y los mayores se los *encontraron* en la caja de las científicas en la biblioteca. En ellos se explicaba por qué aparecen dos colores: rojo, que generalmente representa la sangre rica en oxígeno (limpia), y azul, pobre en oxígeno (sucia). Los alumnos de 3 años representan en su maqueta de la actividad anterior los vasos sanguíneos, que son de dos colores, y con flechas indican cuál es el recorrido de la sangre por el cuerpo. Los de 5 años son capaces de explicar qué hace la sangre para «limpiarse» a partir de la representación. Algunos alumnos interpretan el papel de «sangre sucia», y comentan que para limpiarse tiene que ir al corazón y luego a los pulmones para coger oxígeno. A continuación, vuelven al corazón, donde otros alumnos representan el latido cardíaco y les dicen que le va a empujar para que vayan por todo el cuerpo. En el siguiente enlace puede verse la representación comentada: [https://youtu.be/fHR7tfn\\_I70](https://youtu.be/fHR7tfn_I70)

### *Actividad 9: Maqueta del corazón*

La penúltima experiencia consiste en la demostración de cómo funciona el corazón a partir de una maqueta construida con botellas a modo de analogía. Se presenta a los alumnos un artilugio formado por cuatro botellas que simulan las 4 cámaras del corazón, sujetas con un pie de apoyo y unas pajitas con una llave que permite pasar el líquido o no, según convenga (figura 7).

La actividad se realiza en ambas clases, si bien es cierto que, en la clase de 3 años, van pasando en pequeños grupos en lugar de en grupo completo para que los niños más pequeños puedan aprovechar mejor la sesión y para adaptar la actividad en cada grupo según los ritmos de los niños.

Tanto en unos como en otros, la actividad consiste en simular el recorrido de la sangre por el cuerpo, de manera que estudiamos los órganos dentro de un sistema, y no de manera aislada. Comenzamos señalando que el corazón tiene cuatro «habitaciones». La sangre está sucia (por eso es roja oscura, porque tiene sustancias que tenemos que eliminar), entra por la primera (aurícula derecha), al abrirse una «puertecita» (la llave de la pajita, que simula la válvula), la sangre pasa a una segunda habitación (ventrículo derecho) y de aquí se impulsa la sangre hacia los pulmones. Una vez oxigenada, la sangre (de color rosa) vuelve al corazón, entra a la tercera habitación (aurícula izquierda) y, tras pasar por la otra «puertecita», el corazón llega a la última habitación (ventrículo izquierdo), que impulsa la sangre (lo simulamos presionando la botella haciendo que suba el líquido) para que llegue a todas las partes del cuerpo.

Después, los niños que quisieron explicaron al resto el recorrido de la sangre utilizando la maqueta.



Fig. 7. Explicación del recorrido del corazón con maquetas.

### *Actividad 10: Tengo el corazón contento*

Para finalizar el proyecto, las investigadoras propusieron a las maestras que visitaran la Universidad para realizar una experiencia que cerrara el proyecto para explicar que es importante cuidar el corazón con nuestros hábitos. Los días previos trabajaron con las maestras el último bloque del proyecto, que se relacionaba con el cuidado del corazón a través de la alimentación. Por tanto, hablaron de los alimentos saludables y de cuáles no lo eran tanto, y lo relacionaron con proyectos institucionales implementados en las escuelas como son el almuerzo saludable (donde se proporciona a los centros una pieza de fruta por alumno para su consumo en el almuerzo) o el consumo de lácteos (se reparten yogures a los colegios asumiendo el reto de llegar a consumirlo sin añadir azúcar, reduciendo progresivamente la cantidad añadida a este).

Preparamos una actividad por rincones (figura 8). En cada rincón se presentaban alimentos saludables que presentaban características que podrían apreciar a partir de los sentidos. En el rincón de la vista, se presentaban alimentos que a simple vista no podríamos diferenciar, sino que necesitaríamos alguno de los otros sentidos para identificarlos: por ejemplo, para saber si es yogur o kéfir, zanahoria o calabaza, manzana o melón... En el del tacto, se podían apreciar diferentes texturas de algunos alimentos: melón, brócoli, kiwi, berenjena, alubias, garbanzos... En este caso, el objetivo era averiguar de qué alimento se trataba con los ojos tapados. En el rincón del gusto había uvas, mango, frambuesas, sal, grosellas, tónica y berberechos. El objetivo de este rincón era que los alumnos probasen algunas frutas menos comunes y alimentos con sabores un poco distintos, como los berberechos.



Fig. 8. Rincones sensoriales de la actividad: vista, tacto, olfato y gusto.

En este caso todos los alimentos eran saludables, por lo que se promovía su consumo para tener el corazón sano.

En el rincón del olfato pusimos alimentos olorosos como la menta, el jengibre, el limón o el vinagre, y otros que no resultan tan saludables, como el chorizo. En este caso, se introdujo este elemento para que tuviesen también ejemplos de alimentos no saludables y dar lugar al debate sobre ello, sobre la frecuencia con la que deberían consumirse este tipo de alimentos, que normalmente están incluidos en las dietas de los niños en almuerzos y meriendas.

En el del oído los niños escuchaban los sonidos de los alimentos al ser consumidos, por ejemplo, alguien comiendo pipas, o sorbiendo por una pajita.

## RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos atendiendo cada una de las prácticas científicas trabajadas:

1. Con respecto a la indagación (estructurada) el profesor presenta una pregunta en la que los estudiantes no conocen la respuesta y se les proporciona un procedimiento para que puedan completar la tarea:
  - En la primera actividad se han preguntado qué sería aquello que escuchaban que hacía como pom-pom, y han emitido la siguiente hipótesis: «El sonido puede ser del corazón porque hace pom- pom».

- En la segunda actividad, las preguntas que realizaron las maestras los llevaron a emitir de nuevo hipótesis que se relacionaban con cómo sería un corazón de verdad. Los niños expresan sus opiniones en un gráfico: la mayoría dicen que es blando y que no tiene agujeros.
  - En la tercera actividad, la disección de corazones, los niños observan y comparan los corazones, relacionan lo que ven con sus conocimientos previos, por ejemplo, cuando señalan (debido al tamaño del corazón de vaca) que parece el de un *Tyrannosaurus rex*. Contrastan las hipótesis que plantearon en las actividades anteriores haciendo comentarios sobre el color, que tiene agujeros, los hay de diferentes tamaños..., y también aparecen nuevos comentarios sobre aspectos que no se habían tenido en cuenta antes, como por ejemplo las sensaciones o los sentimientos. En este apartado aparece la experimentación cuando tocan los corazones, los cogen para notar cuánto pesan y establecen semejanzas y diferencias entre los corazones de diferentes animales. Aparecen nuevas hipótesis y llegan a hacer generalizaciones: asocian que los corazones grandes son de animales más grandes, por lo que el tamaño del corazón está relacionado con el del animal. Una vez abierto, observan venas, arterias, las cavidades del corazón y las paredes: una muy gruesa y otra más fina. Esto se recalca para que más tarde se asocie con el recorrido de la sangre en el organismo.
  - En la actividad 4, se reflexiona sobre los conocimientos que se han adquirido en la disección, para asentarlos. Por lo tanto, se trabaja a partir de preguntas realizadas por la maestra, que les obligan a recordar y expresar lo que han aprendido sobre los corazones. En este caso se trabaja la comunicación, el lenguaje científico y la competencia de aprender a aprender.
  - En la actividad 8 buscan información sobre la sangre en los libros. Se amplían los conocimientos sobre la sangre rica o pobre en oxígeno y se realiza una representación teatral sobre este proceso fisiológico. Por lo tanto, se emplearía la herramienta de teatralización para expresar/representar su modelo mental sobre el intercambio de gases.
  - Finalmente, en la última actividad, la n.º 10, los alumnos se dedican a percibir, sentir y pensar con los cinco sentidos: nuevos sabores, texturas, olores, y otros ya conocidos que les permite relacionar y ampliar su vocabulario sensorial con contenidos sobre cómo mantener sano el corazón. Aparecieron términos como *rugoso* (melón, nueces), *liso* (berenjena), *con pelitos* (coco), *agradable* (tocar lentejas y alubias), *con burbujas* (tónica), *agrio* (frambuesas), *dulce* (uvas, azúcar), *salado* (sal)..., lo cual se puede relacionar con otras actividades semejantes sobre educación sensorial que hemos realizado con alumnos de infantil en otros cursos (Mazas *et al.*, 2017).
2. En cuanto a la argumentación, en la actividad 5 se plantea una reflexión que parte de la práctica de la disección, donde se observó que el tamaño del corazón va en consonancia con el tamaño del animal. En primer lugar, han de considerar si el animal representado es grande para asociar el tamaño del corazón con otros aspectos, y que aprendan a comparar entre diferentes elementos: corazón de vaca, de cerdo, de cordero o de conejo, hasta llegar a generalizar en algunos temas, como cuando explican cómo serán los corazones de otros animales en función de los observados en el aula.
  3. Por último, durante el desarrollo de todas las actividades planteadas, los niños han modificado su modelo inicial y han construido su modelo, cada vez más complejo y con mayor número de relaciones entre los contenidos (Justi, 2006). A parte de la actividad comentada n.º 8, también se emplea en la 7 y en la 9. En la actividad n.º 7 deben plasmar el modelo mental que tienen los niños sobre un dibujo a tamaño real en el que identifican las partes más representativas del aparato circulatorio que han ido apareciendo en las diferentes actividades. Los estudiantes más pequeños establecieron, como conclusión más importante, que el corazón se situaba dentro del cuerpo, por ello realizaron una silueta por debajo, para colocarlo en medio. Los de 5 años, al

utilizar plastilina, le daban un aspecto más real a los órganos que representaban, atendiendo al tamaño y a la forma. Lo más interesante de la actividad 9 es que los niños explicaban lo que habían entendido sobre el recorrido de la sangre dentro del cuerpo y para qué servía. Sobre todo, desde el punto de vista de la circulación sanguínea, donde ellos escuchan y visualizan las diferentes partes por las que va pasando la sangre y todo lo que va aconteciendo tanto en el corazón como en los demás órganos. De esta manera, utilizando maquetas, podemos observar cómo los niños incorporan nuevo vocabulario, específico, y son capaces de expresarse para explicar el movimiento de la sangre.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Entre las conclusiones de este trabajo nos gustaría señalar que efectivamente se pueden trabajar las ciencias con los niños de EI a través de prácticas científicas, tal y como señalaban Jiménez-Aleixandre y Crujeiras (2017). Creemos que es importante dar a conocer los proyectos que se llevan a cabo en los centros, para que más maestros se animen a reproducirlos o les sirvan para coger ideas y lanzarse a preparar otros nuevos.

En este trabajo hemos expresado con detalle cómo hemos planteado este proyecto, que surgió del interés de los niños dada la importancia que esto supone en su proceso de aprendizaje (Cascarosa *et al.*, 2019). Los resultados muestran que el diseño del proyecto ha servido para desarrollar algunas de las prácticas científicas que describen Mosquera *et al.* (2018), en concreto se han trabajado la indagación, la modelización y la argumentación a lo largo de las 10 actividades descritas. Este análisis nos ha permitido proponer una secuencia de actividades didácticas que se pueden llevar a cabo en las aulas de EI para trabajar la competencia científica. Para ello, ha sido imprescindible la colaboración continua de las maestras, siendo estas las que guían a los niños para poder desarrollar estos proyectos.

Atendiendo a los objetivos planteados, podemos señalar que:

1. El diseño de la propuesta se ha realizado teniendo en cuenta la curiosidad manifestada por los niños gracias a la realización de proyectos previos, lo cual ha resultado de gran motivación para los estudiantes, en todas las actividades planteadas y analizadas. De esta manera, la curiosidad de los niños ha dado paso a un interés verídico que se ha mantenido en el tiempo al ser un proyecto que tiene una continuidad durante todo el curso (Pedreira y Márquez, 2015).
2. La colaboración entre maestras y profesoras universitarias ha facilitado el desarrollo de las sesiones, ya que, como apuntan Elm y Nordqvist (2019), debemos poner en valor la importancia de trabajar conjuntamente, planteando en este caso actividades complementarias a las establecidas inicialmente en función de cómo iba resultando el tema de estudio. Un ejemplo de esto es que derivó hacia la salud del corazón construyendo el conocimiento desde una perspectiva sistémica. Además, es interesante plantear un mismo proyecto para dos niveles educativos diferentes y observar que las demandas y el desarrollo de conocimientos y procedimientos científicos van evolucionando. Los alumnos de 1.º de EI realizan observaciones sensoriales de los corazones que les permiten describirlo, situarlo en el cuerpo y relacionar que el corazón, al tener «agujeritos», está en conexión con otras partes del cuerpo. Por otra parte, los alumnos de 3.º de EI también son capaces de relacionar las observaciones, explicaciones y conclusiones obtenidas en cada actividad con contenidos trabajados en proyectos anteriores.
3. Se han trabajado las prácticas científicas de indagación (buscando respuestas a las preguntas planteadas, emitiendo hipótesis, realizando gráficos, observaciones, comparando semejanzas y diferencias, estableciendo asociaciones de ideas, llevando a cabo experiencias, contrastando hipótesis), de modelización y de argumentación (expresando sus modelos hablando, incorpo-

rando las nuevas ideas y vocabulario, argumentando sobre algunos de los conocimientos adquiridos y haciendo generalizaciones), lo cual ha permitido desarrollar el pensamiento científico y adquirir conocimientos sobre el cuerpo humano y su funcionamiento, como base para cursos posteriores; y también les permitirá en un futuro consolidar el pensamiento crítico en diferentes aspectos de su vida (por ejemplo, con el tema de la alimentación saludable).

4. Los niños han mostrado una actitud positiva hacia la ciencia a lo largo del proyecto, lo cual mejora gracias a este acercamiento a la ciencia en edades tempranas (Eshach, 2006).
5. Han incrementado su vocabulario científico y sensorial y han sido capaces de utilizarlo para explicar algunos de los modelos presentados.

Poder trabajar con los niños de EI permite a los profesores universitarios entrar en clase de tal forma que seamos conscientes de la realidad del aula, lo que nos facilita avanzar en las investigaciones escolares, tan necesarias en la didáctica de las ciencias (Gil-Quílez, Martínez-Peña, De La Gándara, Calvo y Cortés, 2008). Y, por otro lado, es también una oportunidad para dar el soporte y apoyo necesario para que los maestros de EI se sientan más cómodos a la hora de abarcar contenidos científicos en el aula (Vílchez y Bravo, 2015).

## AGRADECIMIENTOS

A las maestras del *CEIP* Fernández Vizarra de Monzalbarba (Zaragoza), por su dedicación y entusiasmo para transmitir las ciencias en Infantil. Al Proyecto EDU2016-76743-P (financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad), al Grupo BEAGLE. Investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales (DGA) y al IUCA (Instituto Universitario Ciencias Ambientales de Aragón).

## 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.  
[http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2017.v14.i1.07](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i1.07)
- <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2311>
- Boletín Oficial del Estado (2007). Real Decreto 1630/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas del segundo ciclo de Educación Infantil.
- Bravo, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2014). Articulación del uso de pruebas y el modelo de flujo de energía en los ecosistemas en argumentos de alumnado de bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 425-442.  
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1281>
- Cascarosa, E., Mazas, B., Martínez Peña, B. y Gil Quílez, M. J. (2019). What do students think they should know about vertebrate fish? *Journal of Biological Education*, 54(5), 530-539.  
<https://doi.org/10.1080/00219266.2019.1620313>
- Couso, D. (2014). De la moda de «aprender indagando» a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. *XXVI Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Huelva: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva.

- Cruz-Guzmán, M., García-Carmona, A. y Criado, A. M. (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 Puig, I. (2003). *Persensar. Percibir sentir y pensar*. Barcelona: Octaedro-Eumo.
- Dempster, E. y Stears, M. (2014). An Analysis of Children's Drawings of What They Think Is inside Their Bodies: A South African Regional Study. *Journal of Biological Education*, 48(2), 71-79.  
<https://doi.org/10.1080/00219266.2013.837401>
- Driver R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 3-15.
- Elm, A. y Nordqvist, I. (2019). The research circle – a tool for preschool teachers' professional learning and preschool development. *European Journal of Teacher Education*, 42(5), 621-633.  
<https://doi.org/10.1080/02619768.2019.1652899>
- Eshach, H. (2006). *Science Literacy in Primary schools and Pre-schools*. Dordrecht: Springer.
- Fernández-Manzanal, R. y Bravo, M. (2015). *Las ciencias de la naturaleza en la Educación Infantil. El ensayo, la sorpresa y los experimentos se asoman a las aulas*. Madrid: Pirámide.
- García-Barros, S., Martínez-Losada, C. y Garrido, M. (2011). What do Children Aged Four to Seven Know about the Digestive System and the Respiratory System of the Human Being and of Other Animals? *International Journal of Science Education*, 33(15), 2095-2122.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2010.541528>
- García-Carmona, A. (2012). «¿Qué he comprendido? ¿qué sigo sin entender?»: promoviendo la autorreflexión en clase de ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(2), 231-240.  
[https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2012.v9.i2.05](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2012.v9.i2.05)
- Gee, J. P. (2005). *An introduction to discourse analysis: theory and method*. Nueva York: Routledge.
- Gil-Quílez, M. J., Martínez-Peña, M. B., De la Gándara, M., Calvo, J. M. y Cortés, A. L. (2008). De la universidad a la escuela: no es fácil la indagación científica. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 63(22), 81-100.
- Harlen, W. (2015). *Working with Big Ideas of Science Education*. Trieste: Science Education Programme of IAP.
- Hart, K. H., Bishop, J. A. y Truby, H. (2002). An Investigation into School Children's Knowledge and Awareness of Food and Nutrition. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 15(2), 129-140.
- Hinojosa, J. y Sanmartí, N. (2015). La autorregulación metacognitiva como medio para facilitar la transferencia en mecánica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(2), 249-263.  
[https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2015.v12.i2.02](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i2.02)
- Holstermann, N., Grube, D. y Bögeholz, S. (2009). The influence of emotion on students' performance in dissection exercises. *Journal of Biological Education*, 43(4), 164-168.  
<https://doi.org/10.1080/00219266.2009.9656177>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Crujeiras, B. (2017). Epistemic Practices and Scientific Practices in Science Education. En Keith S. Taber y Ben Akpan (Eds.), *Science Education* (pp. 69-80). Países Bajos: SensePublishers.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Puig, B. (2010). Argumentación y evaluación de explicaciones causales en ciencias: el caso de la inteligencia. *Alambique*, 63, 11-18.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de Ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.
- Martí, J. (2012). *Aprender ciencias en la educación primaria*. Barcelona: Graó.

- Martínez Bernat, F. X., García Ferrandis, I. y García Gómez, J. (2019). Competencias para mejorar la argumentación y la toma de decisiones sobre conservación de la biodiversidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(1), 55-70.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2323>
- Mazas, B., Gil-Quílez, M. J., Martínez-Peña, B., Hervás, 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>
- Mazas, B., Mateo, E., Gil-Quílez, M. J. y Sáez, M. J. (2017). *How do we see? Light, eyes and brain in early childhood*. 12<sup>th</sup> Conference of the European Science Education Research Association. Dublín, Irlanda.
- Mendonça, P. C. C. y Justi, R. (2014). An instrument for analyzing arguments produced in modeling based chemistry lessons. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(2), 192-218.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21133>
- Mosquera, I., Puig, B. y Blanco, P. (2018). Las prácticas científicas en infantil. Una aproximación al análisis del currículum y planes de formación del profesorado de Galicia. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(1), 7-23.
- National Research Council (NRC) (2012). *A framework for K12 Science Education: practices, crosscutting concepts and core ideas*. Washington DC: National Academy Press.
- Nguyen, S. P. (2007). An Apple a Day Keeps the Doctor Away: Children's Evaluative Categories of Food. *Appetite*, 48(1), 114-118.  
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2006.06.001>
- NSTA (National Science Teachers Association) (2005). *Responsible use of live animals and dissection in the science classroom*. NSTA Position Statement. [www.nsta.org/about/positions/animals.aspx](http://www.nsta.org/about/positions/animals.aspx)
- 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>
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (2006). *Assessing scientific, reading and mathematical literacy: A framework for PISA 2006*. París: Author.  
<https://doi.org/10.1787/9789264026407>
- Palacino Rodríguez, F. (2007). Competencias comunicativas, aprendizaje y enseñanza de las Ciencias Naturales: un enfoque lúdico. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 275-298.
- Pedreira, M. y Márquez, C. (2015). Análisis de una propuesta educativa 0-6 en un museo de ciencia. *Revista de Museología*, 64, 64-72.
- Reiss, M. J. y Tunnicliffe, S. D. (2001). Students' Understandings of Human Organs and Organ Systems. *Research in Science Education*, 31(3), 383-399.  
<https://doi.org/10.1023/A:1013116228261>
- Reiss, M. J., Tunnicliffe, S. D., Andersen, A. M., Bartoszeck, A., Carvalho, G. S., Chen, S. Y., Jarman, R., Jónsson, S., Manokore, V. y Marchenko, N. (2002). An International Study of Young Peoples' Drawings of What Is Inside Themselves. *Journal of Biological Education*, 36(2), 58-64.  
<https://doi.org/10.1080/00219266.2002.9655802>
- Rozin, P., Hammer, L., Oster, H., Horowitz, T. y Marmora, V. (1986). The child's conception of food: differentiation of categories of rejected substances in the 16 months to 5-year age range. *Appetite*, 7(2), 141-151.
- Tunnicliffe, S. D. y Ueckert, C. (2011). Early biology: the critical years for learning. *Journal of Biological Education*, 45(4), 173-175.  
<https://doi.org/10.1080/00219266.2010.548873>

- Vílchez, J. M. y Bravo, B. (2015) Percepción del profesorado de ciencias 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.  
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1529>
- Weissová, M. y Prokop. P. (2019). Alternative conceptions of obesity and perception of obese people amongst children. *Journal of Biological Education*, 54(5), 463-475.  
<https://doi.org/10.1080/00219266.2019.1609549>
- Windschitl, M. (2003). Inquiry Projects in Science Teacher Education: What Can Investigative Experiences Reveal About Teacher Thinking and Eventual Classroom Practice? *Science Education*, 87(1), 112-143.  
<https://doi.org/10.1002/sce.10044>

---

# What sounds inside your body? A project about the heart in Early Childhood Education

Beatriz Mazas, Esther Cascarosa, Ester Mateo  
Dpto. de Didácticas Específicas. Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales.  
Universidad de Zaragoza. Zaragoza, España.  
bmazas@unizar.es, ecascano@unizar.es, emateog@unizar.es

This work involved collaboration between schoolteachers and university lecturers in a project on the heart with students of Early Childhood Education during the 2017/18 academic year. The children's evident curiosity after participating in prior projects was a key factor in the design of the proposal, which motivated pupils in the activities that were planned and analyzed. This work focused on answering one question: Which scientific skills surface after an experience on the heart in Early Childhood Education? To this end, a sequence of activities was designed to address the scientific practices that the pupils completed with the school teachers or the university lecturers. These activities encompassed inquiry, modeling and argumentation.

- 1) Regarding (structured) inquiry, the teacher posed a question the pupils did not know and offered them a method to complete the task. Therefore, children between 3 and 5 years old worked using an inquiry-based approach by formulating hypotheses, asking questions, watching and comparing the process of dissecting several hearts, reading up on blood, staging the blood circulation in the body or using the five senses to build sensory-based knowledge.
- 2) Argumentation was addressed by posing a reflection arising from the dissection practice, where pupils observed that the size of the heart is in line with the size of the animal. Different animals were used and children, considering their size, had to state if their heart would be big or small.
- 3) Lastly, modeling was used to reflect the mental model that the children had of a life-sized drawing showing the more representative parts of the circulatory system addressed in the activities. The children also completed a mockup where they explained what they had learned about how blood flows through the body and its purpose (gas exchange in the lungs).

The sessions were recorded and transcribed for later analysis in episodes. The results reveal that the proposed activities allow working with skills that encompass inquiry-based scientific practices (looking for answers by formulating hypotheses, creating charts, making observations, comparing similarities and differences, associating ideas, completing experiences, contrasting hypotheses), modeling practices and argumentation practices (expressing their models by talking, incorporating new ideas and vocabulary, providing arguments related to acquired knowledge and using generalizations). Therefore, this work focused on developing scientific thought and acquiring knowledge about the human body and its functioning as a foundation for later academic years. Specifically, pupils in the first year of Early Childhood Education made sensorial observations of hearts, which allowed them to describe the organ, locate it in the human body and analyze how its «holes» connect it with other parts of the body. Pupils in the third year of Early Childhood Education were also able to link observations, explanations and conclusions from each activity with content from prior projects.

Both groups showed a positive attitude towards science and they expanded their scientific vocabulary with words such as *ventricle*, *valves* or *capillaries*, among others, and were able to express themselves using these words to explain and argue some of the models. New words related to the senses –such as *rough*, *pleasant* or *bubbly*, among others– appeared and can be used in varying situations, especially to describe materials.

Working with pupils of Early Childhood Education allows researchers to enter the classroom to be aware of the reality within and advance in school research.





# Construyendo conceptos sobre electricidad en infantil mediante actividades de indagación

## Constructing concepts about electricity in early childhood education through inquiry-based activities

Nuria Calo Mosquera, Isabel García-Rodeja Gayoso, Vanessa Sesto Varela

*Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, A Coruña, España*  
nuriacalotrazo@gmail.com, isabel.garcia-rodeja@usc.es, vanessa.sesto@usc.es

**RESUMEN** • Se presenta un estudio que tiene por objetivo describir la implementación de una propuesta donde niños de educación infantil construyen conceptos y generalizaciones a través de la experiencia empírica y el diálogo con otros al implicarse en actividades de indagación con circuitos eléctricos. Los participantes son niños (4 a 5 años) de una clase de educación infantil. Las sesiones fueron grabadas y analizadas. Los resultados muestran que los niños entienden la electricidad como un ente que permite que las cosas funcionen. En general, no tienen dificultad para identificar aparatos eléctricos y electrónicos. A medida que se implementa la actividad los niños llegan a la generalización inductiva de que los objetos de metal conducen la electricidad. Se observa que los niños muestran más dificultad en aplicar esta idea para hacer predicciones que para justificar las observaciones realizadas.

**PALABRAS CLAVE:** Circuitos eléctricos; Actividades de indagación; Educación infantil; Estudio de caso.

**ABSTRACT** • We present a study that aims to describe the implementation of a proposal where preschool children construct concepts and generalizations through empirical experience and dialogue with others by engaging in inquiry activities on electrical circuits. The participants are children (aged 4 to 5) from a preschool classroom. The sessions were recorded and analysed. The results show that children understand electricity as an entity that allows things to work. In general, they have no difficulty identifying electrical and electronic devices. As the activity develops, children reach an inductive generalization according to which metal objects conduct electricity. It is observed that children show more difficulties in applying these ideas when they make predictions than when they justify their observations.

**KEYWORDS:** Electrical circuits; Inquiry-based activities; Early childhood education; Case study.

Recepción: febrero 2020 • Aceptación: septiembre 2020 • Publicación: junio 2021

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años está creciendo el interés por la enseñanza de las ciencias en educación infantil (French, 2004). Cada vez hay un mayor reconocimiento de que la ciencia puede ser un dominio particularmente importante en la primera infancia, y que tiene un gran potencial no solo para construir una base para la comprensión científica futura, sino también para desarrollar habilidades importantes y actitudes positivas hacia el aprendizaje (Worth, 2010).

Eshach y Fried (2005) analizaron diferentes razones para introducir a los niños de educación infantil en entornos donde incluir la educación científica y señalan, entre otras razones, la curiosidad innata que sienten los niños hacia las cosas de las que trata la ciencia y que ayuda al desarrollo de las habilidades cognitivas de los niños. Además, hacen referencia a la importancia de desarrollar actitudes positivas hacia la ciencia desde edades tempranas y señalan el interés de desarrollar actividades que ayuden a los niños a generar referentes, como una primera aproximación a los conceptos científicos, al exponer a los niños fenómenos científicos. Por otro lado, se considera que la educación científica, al implicar a los estudiantes en actividades de indagación, contribuye al desarrollo del razonamiento científico. Al formular preguntas, interpretar datos y coordinar las evidencias con las teorías, los estudiantes desarrollan habilidades intelectuales que los capacitan para construir nuevo conocimiento (Chan, Burtis y Bereiter, 1997).

Sin embargo, introducir la ciencia en educación infantil es una tarea sumamente delicada, y requiere explorar y comprender las percepciones de los niños, conocer los aspectos claves del contenido científico y ser capaces de diseñar intervenciones y ambientes de aprendizaje adecuados.

Varios estudios han examinado el aprendizaje científico y la enseñanza en educación infantil y han brindado posibles explicaciones sobre cómo las actitudes y las creencias de los maestros de educación infantil hacia la ciencia afectan a su comportamiento en el diseño e implementación de actividades de ciencias en estos niveles (Cantó, de Pro y Solbes, 2016; Pendergast, Lieberman-Betz y Vail, 2017). Los resultados del trabajo de Pendergast et al. (2017) en Estados Unidos, donde estudian las actitudes y creencias con respecto a la ciencia de 122 profesores de niveles de educación infantil, parecen indicar que los maestros entienden los beneficios de la ciencia para el desarrollo global de los niños pequeños. Sin embargo, señalan que los maestros continúan sintiéndose poco preparados en temas de ciencias y, como consecuencia, consideran que tienen poca competencia para apoyar de forma adecuada el aprendizaje científico de los niños. Cantó et al. (2016) estudiaron la percepción que tienen los futuros maestros sobre la enseñanza de las ciencias que se realiza en las aulas de infantil de segundo ciclo (3 a 5 años) en España. Los resultados de este estudio ponen de manifiesto la ausencia de actividades donde se les dé a los niños y a las niñas la oportunidad de desarrollar habilidades de indagación y razonamiento, pues señalan que la forma de trabajar habitual es con fichas. Cantó et al. (2016) consideran que se necesita, a la vista de la revisión que realizan, una mayor y urgente atención a este ámbito, tanto en la investigación como en la docencia.

El interés del presente trabajo reside en que se muestra cómo los niños de educación infantil construyen referentes científicos al implicarse en actividades de indagación. Para este estudio se seleccionó el tema de la electricidad y los circuitos eléctricos, porque ofrece oportunidades para reflexionar sobre ideas que están presentes en la vida cotidiana de los niños. La comprensión de los estudiantes sobre los circuitos eléctricos se ha estudiado ampliamente en las últimas décadas cubriendo un amplio rango de grupos de edad desde primaria hasta el nivel universitario (Asoko, 1996; Çepni y Keleş, 2006; de Pro y Rodríguez, 2010; Osborne, Black, Smith y Meadows, 1991; Shepardson y Moje, 1994; Shipstone, 1984; Varela, Manrique y Favigres, 1988). Sin embargo, apenas se han publicado investigaciones en niños de educación infantil, aunque sí existen algunos trabajos muy relevantes como los de Fleer (1991), Glauert (2009), Sá et al. (1996), Solomonidou y Kakana (2000) o Kada y Ravanis (2016).

En este trabajo se presenta un estudio de caso que tiene como objetivo describir la implementación de una propuesta donde niños de educación infantil construyen conceptos y generalizaciones a través de la experiencia empírica y el diálogo con otros.

Este trabajo pretende dar respuesta a las siguientes cuestiones: ¿Cuáles son las ideas de los niños sobre la electricidad? ¿Son capaces de llegar a generalizaciones inductivas a partir de la evidencia empírica? ¿Son capaces de utilizar las ideas generadas de forma inductiva para hacer predicciones acertadas y para justificar las observaciones sobre la capacidad de conducir la electricidad de distintos objetos de diferentes materiales?

## METODOLOGÍA

El enfoque metodológico de esta investigación es un estudio de caso de naturaleza descriptiva y cualitativa. Los estudios de caso son recomendables cuando se conoce poco del fenómeno que hay que analizar (Yin, 2003).

### Participantes y contexto

Los participantes fueron diecisiete niños (catorce niñas y tres niños) de una misma clase de educación infantil (4 a 5 años). En el momento de la intervención, los escolares se encontraban cursando el segundo curso del segundo ciclo de Educación Infantil en un colegio público situado en un barrio obrero de un entorno semiurbano. La intervención fue diseñada por una maestra en formación (primera autora) y por una supervisora universitaria (segunda autora). La implementación de la intervención fue llevada a cabo por la maestra en formación. En el análisis de los datos recogidos durante la implementación participaron tanto la maestra en formación como la supervisora universitaria y una investigadora en didáctica de las ciencias (tercera autora).

### Descripción de la intervención diseñada

La intervención didáctica se enmarca en una perspectiva socioconstructivista. Desde esta perspectiva, el aprendizaje se concibe como un acto cultural y social (Vygotsky, 1995) y se considera la comunicación fundamental para la creación de conocimiento. La actividad tiene lugar en un contexto dialógico donde la maestra y los niños hablan, actúan y piensan sobre los fenómenos, y donde la interacción social es uno de los principales factores en la construcción del conocimiento científico (Alexander, 2017). El papel de la maestra en estas actividades fue el de recurso y guía, ofreciendo al alumnado los materiales, las experiencias y los retos necesarios para ayudar a la construcción y reconstrucción de ideas y modelos.

### ¿Por qué circuitos eléctricos?

El estudio de circuitos eléctricos puede aparentar ser complejo y pocas veces se integra en las aulas de educación infantil. Sin embargo, existen propuestas como la de Sá et al. (1996) y otros trabajos (por ejemplo, Flee, 1991; Glauert, 2009; Kada y Ravanis, 2016) que parecen poner de manifiesto la adecuación de algunas actividades sobre circuitos eléctricos en educación infantil. En la actividad diseñada se trata de que los niños amplíen y prueben sus ideas sobre la electricidad y, en concreto, sobre qué materiales son conductores y cuáles son no conductores de la electricidad.

La demanda cognitiva de los conceptos asociados a la electricidad puede pensarse que está por encima de las capacidades cognitivas de los niños; sin embargo, la propuesta se centra más en relacionar los fenómenos con las ideas que los niños generan en sus experiencias cotidianas, en hacer generalizaciones inductivas a partir de los datos que obtienen a través de la indagación con los materiales, y en implicarse en actividades que les permita hacer predicciones, probar ideas, y sacar conclusiones de la experiencia.

### Secuencia de actividades

En el diseño de la secuencia didáctica se recurre a una estrategia tipo Predicción-Observación-Explicación (White y Gunstone, 1992), en la que se anima a los niños a emitir predicciones sobre un fenómeno que luego tendrán la oportunidad de observar y contrastar experimentalmente. Los contenidos conceptuales que se trabajan en esta secuencia son los elementos de un circuito eléctrico simple, la disposición de los elementos del circuito para que funcione y materiales conductores y no conductores de la electricidad. En relación con otros tipos de contenido, se trabajan procedimientos como registrar e interpretar datos en tablas, hacer predicciones, hacer observaciones, contrastar las observaciones con las predicciones y sacar conclusiones. En relación con las actitudes, se trata de fomentar la iniciativa para actuar sobre los fenómenos.

En esta secuencia (véase tabla 1), con la intención de activar las ideas de los estudiantes de infantil sobre la electricidad, en la primera sesión se planteó una asamblea donde la maestra preguntó a los niños: ¿Qué crees que es la electricidad? ¿Qué aparatos usan electricidad? ¿De dónde viene la electricidad?, etc.

En la segunda sesión, la maestra, para presentar los componentes de un circuito eléctrico simple (pila, cables, interruptor, lámpara), mostró los componentes del circuito e hizo preguntas a los niños sobre ellos. Posteriormente, los niños manipularon los circuitos para ver cómo lograr que la bombilla se encendiese. Lo que se intentaba conseguir con esta actividad era dar la oportunidad de que los niños explorasen las partes del circuito al inducir a los niños a que indagasen por sí mismos, y ayudarlos a que nombrasen los elementos del circuito introduciendo términos nuevos si fuese necesario.

En la tercera sesión, una vez que se construyó un circuito simple, se les preguntó qué ocurriría si se interrumpe el circuito y se coloca un determinado objeto. La intención es que puedan probar ideas y orientar la actividad a la generación inductiva de ideas. Los objetos no se seleccionaron al azar, sino que se seleccionaron de modo que hubiese diferentes objetos del mismo material y objetos similares de diferente material. Con esta actividad se pretendía favorecer la construcción de referentes del concepto de conductor por parte de los escolares por medio de la abstracción de características comunes. Se trató de dar la oportunidad de que hiciesen predicciones sobre si se va a encender o no la bombilla al colocar cada uno de los objetos en el circuito eléctrico. Con ayuda de la maestra los niños cubrieron una tabla de predicción con imágenes de los diferentes objetos. Posteriormente, los niños dispusieron de circuitos eléctricos para así poder realizar las comprobaciones por sí mismos y cubrir una tabla de observación.

Tabla 1.  
Secuencia de actividades

<i>Sesiones</i>	<i>Intención educativa</i>	<i>Desarrollo</i>
Sesión 1		
¿Qué sabemos de la electricidad?	Activar las ideas previas que tienen los niños acerca de la electricidad.	En asamblea la maestra planteó a los niños preguntas acerca de la electricidad: ¿Qué crees que es la electricidad? ¿Qué aparatos usan electricidad? ¿De dónde viene la electricidad?
Sesión 2		
¿Qué sabemos de los circuitos eléctricos?	Dar la oportunidad de que los niños exploren las partes del circuito y nombren los elementos.	La maestra presentó las partes de un circuito simple mientras hacía preguntas a los niños sobre los distintos componentes. Materiales: circuitos eléctricos simples formados cada uno por una pila, tres cables, una lámpara y un interruptor didáctico de palanca.
Montaje	Dar la oportunidad de que los niños monten circuitos.	La maestra prestó apoyo en la manipulación del circuito.
Sesión 3		
Materiales conductores y no conductores	Dar la oportunidad de que los niños hagan predicciones, y registren sus predicciones en una tabla y realicen comprobaciones.	La maestra animó a los niños a que hicieran predicciones sobre si se encendería la bombilla al conectar los objetos al circuito y a que registrasen sus predicciones en una tabla de doble entrada. A continuación, se les dio la oportunidad de comprobarlo experimentalmente, registrar los datos en la tabla y discutir sobre los resultados y las posibles explicaciones. Materiales: circuitos eléctricos simples formados cada uno por una pila, tres cables y una lámpara. Una cuchara de plástico, una cuchara de metal, una botella de vidrio, una goma de borrar, un libro, una llave, una moneda, un clip de metal, un clip de plástico, una pinza de madera, un collar de plata, una regla y un lápiz.
Asamblea	Dar la oportunidad a los niños de que expliciten lo aprendido.	La maestra realiza preguntas para comprobar qué aprendieron los niños durante la propuesta.

La actividad final consistió en una asamblea en la que se hicieron preguntas que permitieron conocer en qué medida las actividades provocaron cambios en las ideas de los niños sobre la electricidad y los circuitos eléctricos simples. Además, se trató de ver si eran capaces de realizar generalizaciones inductivas al relacionar el material del que estaban constituidos los objetos con la conductividad de la electricidad.

## Instrumentos de recogida y análisis de datos

En el estudio se recogió información, a modo de diario de aula, de las observaciones de cada sesión anotando el desarrollo de las intervenciones y las manifestaciones más significativas de los niños. Además, todas las sesiones fueron grabadas en audio y vídeo, y posteriormente transcritas. Las transcripciones son literales para conservar la esencia del discurso. Con el fin de garantizar el anonimato de los niños, los nombres reales fueron reemplazados por pseudónimos.

Para dar fiabilidad y validez a estudios interpretativos como el que se presenta en este artículo se ha recurrido a una triangulación tanto de datos como de investigadores (Moreira, 2002; Patton, 2002). La triangulación de datos hace referencia a la confrontación de diferentes fuentes de datos del estudio, en este caso la información recogida a modo de diario de aula y las grabaciones de audio y vídeo. En relación con la triangulación de investigadores, las transcripciones fueron analizadas individualmente por las autoras y posteriormente se realizó un análisis reflexivo común del análisis de todos estos registros.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la presentación de resultados en primer lugar se describen las actividades implementadas. Para cada actividad se adelanta lo acontecido en cada sesión y se muestran, a través de fragmentos de las transcripciones, eventos significativos que muestran las conversaciones mantenidas entre la maestra y los niños. De forma similar a otros trabajos (Costa, 2015), las interacciones comunicativas se presentan en tres columnas, las cuales se refieren a los turnos de habla, el diálogo transcrito y el análisis de las intervenciones con el fin de describir la intencionalidad o el significado de cada intervención.

### Sesión 1. Ideas previas acerca de la electricidad

En la primera actividad se observó que los niños expresaban algunas ideas sobre el significado que le dan a la electricidad. Una primera idea es que identifican la electricidad como un ente para dar luz. Además, la electricidad se entiende como un ente que permite que las cosas funcionen, como se puede observar en el siguiente evento:

<i>Turno</i>	<i>Transcripción</i>	<i>Análisis</i>
1	Maestra: <i>Hoy vamos a hacer unas actividades, a ver si os gustan, pero primero os voy a hacer unas preguntas. A ver quién me sabe decir: ¿Qué pensáis que es la electricidad? ¿Alguno sabe?</i> (...)	Intenta que los niños hagan explícitas sus ideas.
10	Adelaida: <i>Para las lámparas.</i>	Relacionan la electricidad con un ente que permite que los dispositivos funcionen.
11	Alberto: <i>Para las luces.</i>	

En el siguiente evento se muestra cómo algunos ya identifican aparatos eléctricos y electrónicos. En concreto nombraron la televisión, las lámparas, las luces, el ordenador, las bombillas, la tableta y los móviles.

<i>Turno</i>	<i>Transcripción</i>	<i>Análisis</i>
17	Maestra: <i>¿Sabéis de algún aparato que use electricidad?</i> (...)	Pide a los niños que mencionen aparatos eléctricos.
24	Alicia: <i>La lámpara.</i>	Identifican aparatos eléctricos.
25	Anastasia: <i>Las luces.</i> (...)	
27	Amalia: <i>Ordenador.</i>	Identifica el ordenador como un aparato eléctrico.

En los siguientes eventos la profesora pregunta a los niños si saben de dónde viene la electricidad. Algunos niños relacionan la electricidad con los truenos. Una niña, a partir de una intervención de la maestra, identifica los molinos de viento con generadores de electricidad y dice que los molinos hacen aire y hacen electricidad.

<i>Turno</i>	<i>Transcripción</i>	<i>Análisis</i>
44	Maestra: (...) <i>Casi todo usa electricidad. ¿Pero de dónde viene? ¿Aparece sin más?</i> (...)	Pide a los niños que expresen sus ideas.
47	Alegría: <i>La electricidad se hace con los truenos.</i> (...)	Identifica la electricidad con los truenos.
61	Maestra: <i>¿Visteis los molinos?</i> (...)	Dirige la conversación para que los niños expresen sus ideas sobre los aerogeneradores.
73	Alegría: <i>Los molinos hacen electricidad.</i>	Identifica los molinos de viento con generadores de electricidad.
74	Alegría: <i>Porque hacen aire y hacen electricidad.</i>	

En esta primera sesión la discusión se enmarcó en un discurso dialógico y reflexivo donde los niños expresan sus ideas y donde la maestra planteó preguntas y desafíos a los niños. Del análisis del discurso mantenido entre los niños y la profesora, podemos decir que los niños reconocen que la electricidad es algo que permite que funcionen cosas como la televisión, el móvil o el ordenador, es decir, aparatos eléctricos y electrónicos. En general, no hay dificultad a la hora de identificar los aparatos eléctricos y electrónicos. Aparece la idea de que la electricidad es un ente que proviene de los truenos y de los molinos de viento.

## Sesión 2. Circuitos

En la siguiente sesión se hizo una pequeña asamblea para presentar los componentes de un circuito eléctrico simple: pila, cables, interruptor didáctico de palanca y lámpara. La maestra fue sacando objetos de una caja y preguntó a los niños si sabían de qué objeto se trataba. Los niños identificaron la pila, los cables y la bombilla, pero tuvieron más dificultades para identificar el interruptor. La maestra se aseguró de que sabían para qué servían los interruptores antes de ayudarlos a identificar el que iban a utilizar en el circuito.

Para continuar la actividad la maestra retó a los niños a que encendiesen una bombilla utilizando los objetos que tenía en la caja, preguntándoles qué harían para lograr que la bombilla se encendiese, de modo que les pidió que anticipasen sus acciones antes de comenzar a interactuar con los materiales.

La maestra distribuyó a los niños en tres grupos y enseñó a los niños a enganchar los cables en los bornes de la pila de petaca y posteriormente los animó a que probasen a encender la bombilla. Algunos consiguieron encender la bombilla sin intervención de la maestra. El siguiente evento muestra la satisfacción de los niños al alcanzar el objetivo, y el comentario de Adela sugiere cómo este tipo de actividades pueden ayudar a fomentar vocaciones científicas.

<i>Turno</i>	<i>Transcripción</i>	<i>Análisis</i>
290	Maestra: <i>¿Cada cable va separado?</i>	Pregunta por la disposición de los cables.
291	África: <i>Podemos juntar dos.</i> (...)	Realiza una propuesta.
293	Maestra: <i>Prueba.</i> (...)	Anima a la niña a probar su idea.
296	África: <i>¡Y se enciende la bombilla!</i> (Aplausos) (...)	Muestra satisfacción al lograr encender la bombilla.
299	Adela: <i>¡Yo cuando sea mayor voy a ser científica!</i>	Expresa vocación científica.

Los niños, emocionados, repitieron varias veces la construcción del circuito y se corrigieron unos a otros. Como vemos en el siguiente evento, ante el reto que les presentó la profesora de quitar el interruptor los niños pensaron que la bombilla se apagaría, por lo que quedaron sorprendidos al ver que no era necesario para que se encendiese la bombilla. Cuando la profesora preguntó cómo podrían apagar la bombilla sin interruptor, Alegría rápidamente desconectó el cable de la pila.

<i>Turno</i>	<i>Transcripción</i>	<i>Análisis</i>
332	Maestra: <i>Una pregunta. ¿Qué pasa si quitamos el interruptor?</i>	Pregunta a los niños que sucede al quitar el interruptor del circuito.
333	Algunas: <i>No funciona.</i>	Identifica el interruptor como un elemento indispensable para encender la bombilla.
334	Maestra: <i>¿No funciona? ¿Queréis mirar qué pasa si quitamos el interruptor?</i>	Anima a los niños a probar lo que sucede al retirar el interruptor.
335	Todos: <i>Sí.</i> (Desconectan el interruptor y colocan el cable en el lugar que le corresponde. Gritos de sorpresa)	Retiran el interruptor del montaje.
336	Todos: <i>¡Funciona!</i>	Muestran asombro al ver que la bombilla enciende sin necesidad de interruptor.

En esta sesión el discurso reflexivo se representa como diálogos en los que los niños expresaron sus propias ideas, y la maestra y los niños participaron en una amplia gama de intercambios de preguntas y respuestas interactuando con el material, que ayudaron a articular ideas sobre los elementos y el funcionamiento del circuito. Como resumen de esta sesión, del análisis del discurso mantenido entre los niños y la maestra podemos decir que los niños no tuvieron dificultad en identificar los elementos básicos del circuito. Los niños fueron capaces de conectar los elementos del circuito después de varias pruebas y lograron que se encendiese la bombilla.

### Sesión 3. Conductores y no conductores

Para comenzar la sesión la profesora hizo algunas preguntas para activar las ideas de los niños sobre los circuitos eléctricos. A continuación, la maestra explicó la actividad que consistía en hacer predicciones sobre si se enciende o no la bombilla al conectar una serie de objetos al circuito formado por la pila, la lámpara y tres cables (véase figura 1). Comentó a los niños que tenían que apuntar sus predicciones, y que tenían que comprobarlas y apuntar en otra tabla de registro las observaciones. Además, la maestra les instruyó sobre cómo debían registrar las predicciones en una tabla para pasar posteriormente a la comprobación. La profesora centró la atención de los niños en las tablas de registro y en los pictogramas. Las tablas de registro son las tablas que se utilizaron para apuntar las predicciones y las observaciones.

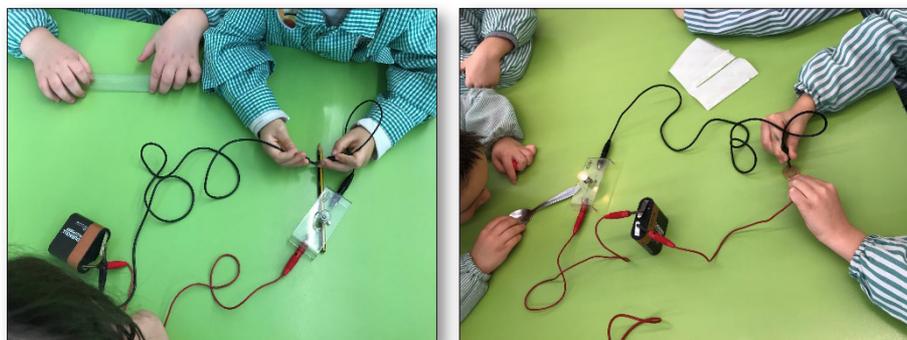


Fig. 1. Interactuando con los circuitos.

Una vez que la maestra instruyó a los niños sobre cómo cubrir la tabla de registro, les pidió que hicieran predicciones sobre si una serie de objetos conducen o no la electricidad. Los niños fueron apuntando las predicciones en la tabla de registro y probando. El primer objeto que probaron fue una cuchara de metal y aquí no hubo acuerdo. Andrea explica que no se va a encender la bombilla porque el objeto no tiene electricidad. Como la predicción no estuvo acorde con la observación, los niños buscan otra explicación. Amalia comenta que se encendió debido a que pudo conectar con la bombilla. Aquí parece que Amalia ya está utilizando una idea de la electricidad como algo que fluye por los cables y de ahí la necesidad de conexión. Después prueban con las llaves. Otra vez no hay acuerdo en si va a encender la bombilla al conectarla a los cables del circuito. Cuando prueban observan que sí enciende la bombilla, y Amalia señala que enciende porque tiene los cables conectados.

<i>Turno</i>	<i>Transcripción</i>	<i>Análisis</i>
426	Maestra: <i>A ver, ¿lo intentamos?</i> (...)	La maestra inicia la actividad.
431	Amalia: <i>Sí.</i> (...)	Predice que con la cuchara de metal sí se va a encender la bombilla.
435	Maestra: <i>¿Por qué creéis que va a funcionar?</i>	Pide a los niños que justifiquen su predicción.
436	Andrea: <i>Yo creo que no, porque la cuchara no tiene electricidad.</i> (...)	Justifica su predicción.

<i>Turno</i>	<i>Transcripción</i>	<i>Análisis</i>
438	Maestra: <i>Que no, pues a ver, pon ahí la peggatina. Ahora toca con esos cables la cuchara. ¿Enciende la bombilla?</i>	Dirige la actividad para que los niños registren la predicción y la comprueben.
439	Todos: <i>¡Sí!</i>	Observan cómo se enciende la bombilla.
440	Maestra: <i>Fijaos, se encendió. ¿Cómo puede ser?</i>	Pide a los niños que expliquen la observación.
441	Amalia: <i>Porque se pudo conectar con la bombilla.</i> (...)	Muestra una idea incipiente de electricidad como algo que fluye por los cables.
444	Maestra: <i>Vamos a probar entonces. ¿Vosotros pensáis que las llaves van a hacer que se encienda la luz?</i>	Solicita a los niños una predicción.
445	Alberto: <i>Sí.</i> (...)	Predicen que con las llaves sí se va a encender.
451	África: <i>¡Funcionó! ¡Amalia, funcionó! ¡Con la llave funcionó!</i>	Observan cómo se enciende la bombilla.
452	Maestra: <i>¿Y por qué?</i>	Pide a los niños que expliquen la observación.
453	Amalia: <i>Porque tiene los cables conectados.</i>	Muestra una idea incipiente de electricidad como algo que fluye por los cables.

A continuación, los niños prueban con el libro. La mayoría cree que va a encender la bombilla, pero en un principio no encuentran una razón. África justifica la observación señalando que el objeto no es de cristal. Enseguida Anastasia hace referencia también al material del que está constituido el objeto, y señala que no enciende la bombilla porque no es de metal.

<i>Turno</i>	<i>Transcripción</i>	<i>Análisis</i>
454	Maestra: <i>¡Muy bien! Ahora con el libro. ¿Qué pensáis, que el libro va a encender la bombilla?</i> (...)	Solicita a los niños una predicción.
458	Andrea: <i>Sí.</i> (...)	Predicen que con el libro sí se va a encender la bombilla.
460	Maestra: <i>Pues ponemos que sí. ¿Por qué creéis que se va a encender la bombilla?</i> (Silencio. Los niños parecen no saber qué responder) (...)	Pide a los niños que justifiquen su predicción.
462	Amalia: <i>No.</i> (...)	Observa cómo no se enciende la bombilla.
467	Maestra: <i>Vale. Pon ahí que no. ¿Y por qué pensáis que no?</i>	Pide a los niños que expliquen la observación.
468	África: <i>Porque no es de cristal.</i>	Explican lo observado en base al material del que está constituido el objeto.
469	Anastasia: <i>Ni de metal.</i>	

Anastasia es la primera que menciona la idea de que el objeto no enciende porque no es de metal. Una vez que incorporan la idea de que no enciende la bombilla porque no es de metal utilizan esta idea para justificar sus predicciones en relación con otro objeto, la botella. Cuando la profesora le pregunta a Amalia por qué no va a encender la bombilla cuando el circuito se conecta con la botella, ella señala

que porque no es de metal. En el caso de la moneda, África y Andrea consideran que sí va a encender la bombilla. Aurelia justifica la observación aduciendo que es de metal.

<i>Turno</i>	<i>Transcripción</i>	<i>Análisis</i>
472	Maestra: (...) <i>A ver. ¿Pensáis que la botella va a encender la bombilla?</i>	Solicita a los niños una predicción.
473	Aurelia: <i>No.</i> (...)	Predicen que con la botella no se va a encender la bombilla.
476	Amalia: <i>No.</i> (...)	
478	Maestra: <i>Pon entonces que no. ¿Probamos ahora?</i>	Dirige la actividad para registrar la predicción y comprobarla.
479	África: <i>No enciende.</i>	Observa cómo no se enciende la bombilla.
480	Maestra: <i>¿Enciende? No. ¿Por qué?</i>	Pide a los niños que expliquen lo observado.
481	Amalia: <i>Porque no es de metal.</i>  (...)	Explica lo observado en base a que el material del que está constituido el objeto no es metal.
484	Maestra: <i>A ver, no pruebes aún. ¿Vosotros pensáis que la moneda va a encender la bombilla?</i>	Solicita a los niños una predicción acerca de si con una moneda se enciende la bombilla.
485	África: <i>Sí.</i> (...)	Predicen que con una moneda sí se va a encender la bombilla.
489	Alberto: <i>No.</i> (...)	Predice que con una moneda no se va a encender la bombilla.
491	Amalia: <i>Que sí.</i>  (...)	Predice que con una moneda sí se va a encender la bombilla.
493	Amalia: <i>¡Encendió! (Chillando).</i>	Observa cómo sí se enciende la bombilla al intercalar en el circuito una moneda.
494	Maestra: <i>Encendió. Muy bien. ¿Y por qué la moneda sí enciende?</i>	Pide a los niños que expliquen lo observado.
495	Aurelia: <i>Porque es de metal.</i>	Explica lo observado en base a que el material del que está constituido el objeto es metal.

A continuación, prueban con una regla de plástico. Curiosamente la predicción que hacen es que va a encender la bombilla, y es cuando ven que no se enciende la bombilla cuando Aurelia lo justifica haciendo referencia a que es de plástico. A continuación, prueban con el lápiz. No hay acuerdo en la predicción. Cuando prueban, Aurelia justifica que no enciende debido a que no es de metal.

Posteriormente prueban con otros objetos como un collar de plata, una goma y unas pinzas. En el caso del collar todos, excepto Alberto, están de acuerdo en que va a encender la bombilla. Anastasia quiere ver cómo enciende. Ahora es Anastasia quien justifica que enciende la bombilla porque el collar es de metal.

<i>Turno</i>	<i>Transcripción</i>	<i>Análisis</i>
521	Maestra: <i>A ver. ¿Vosotros pensáis que el collar va a encender la luz?</i> (...)	Solicita a los niños una predicción.
526	Aurelia: <i>Sí.</i>	Predice que con el collar de plata sí va a encender la bombilla.
527	Alberto: <i>Yo no.</i> (...)	Se opone a la predicción de su compañera.
529	África: <i>Yo digo que sí.</i> (...)	Predicen que con el collar se va a encender.
531	Amalia: <i>Yo también que sí.</i>	
532	Maestra: <i>A ver a ver, vamos a probar. Prueba.</i>	Pide a los niños que comprueben su predicción.
533	África: <i>¡Enciende! ¡Mira cómo enciende!</i>	Observan cómo se enciende la bombilla.
534	Andrea: <i>¡Funciona!</i> (...)	
541	Maestra: <i>¿Y por qué pensáis que enciende el collar?</i>	Pide a los niños que expliquen lo observado.
542	África: <i>Porque es de metal.</i>	Explica lo observado haciendo referencia a que el objeto está hecho de metal.

En el caso del resto de los objetos no siempre aciertan en las predicciones, pero una vez que prueban y observan que no enciende la bombilla, lo justifican haciendo referencia a que no es de metal.

A continuación, ponemos un fragmento de la actividad realizada con los últimos objetos. En el siguiente evento se observa también cómo los niños fueron capaces de contrastar sus predicciones con las observaciones que habían realizado tanto en los casos en los que la observación confirma la predicción como en los casos donde esto no ocurre.

<i>Turno</i>	<i>Transcripción</i>	<i>Análisis</i>
575	Maestra: <i>Un clip. ¿Vosotros pensáis que un clip va a encender la bombilla?</i>	Solicita a los niños una predicción acerca de si con un clip de plástico se enciende la bombilla.
576	Andrea: <i>Sí.</i> (...)	Predicen que se va a encender la bombilla.
580	Maestra: <i>¿Todas que sí? Vale, pues Aurelia prueba ahí. ¿Encendió?</i>	Pide a los niños que comprueben su predicción.
581	Aurelia: <i>No.</i>	Observa cómo no se enciende la bombilla.
582	Maestra: <i>¿No? ¿Y por qué?</i>	Solicita una justificación.
583	Amalia: <i>Porque no es de metal.</i>	Explica lo observado haciendo referencia a que no es metal.
584	Maestra: <i>Vale. Muy bien. ¿Qué más falta? ¿Vosotros pensáis que si conectamos esta cuchara al circuito va a encender la lámpara?</i>	Solicita a los niños una predicción acerca de si con una cuchara de plástico se enciende la bombilla.
585	Anastasia: <i>Seguro.</i> (...)	Predice que con la cuchara de plástico sí se va a encender.
588	Alberto: <i>No.</i> (...)	Se opone a las predicciones de sus compañeras.

<i>Turno</i>	<i>Transcripción</i>	<i>Análisis</i>
592	Maestra: <i>Vale, pues ponemos que sí. A ver, eh. ¿Enciende?</i>	Pide a los niños que comprueben su predicción.
593	Todos: <i>No.</i>	Observan cómo no se enciende la bombilla al intercalar en el circuito la cuchara de plástico.
594	Maestra: <i>¿Y por qué esa cuchara no encendió y la otra sí?</i>	Pide a los niños que expliquen lo observado con la cuchara de metal y la de plástico.
595	Amalia: <i>Porque es plástico y esa, metal.</i>	Explica lo observado en base al material del que está constituido el objeto.
596	Maestra: <i>Muy, muy bien. Pues pon ahí, Amalia, que esa no encendió. Solo nos queda un clip. A ver. Este clip no enciende. ¿Verdad que no? (Refiriéndose al clip de plástico). ¿Y este entonces va a encender o no?</i>	Solicita a los niños una predicción acerca de si con un clip de metal se enciende la bombilla.
597	Andrea: <i>Sí. (...)</i>	Predicen que con un clip de metal sí se va a encender la bombilla.
599	Maestra: <i>¿Y este por qué sí? (...)</i>	Pide a los niños que se justifiquen su predicción.
601	Amalia: <i>Porque es de metal.</i>	Justifica la predicción en base a que el clip es de metal.

Por último, se hizo una asamblea final para poner en común las ideas trabajadas en las actividades. Los niños recordaron las partes del circuito. La maestra les preguntó qué objetos no encendían la bombilla. Los niños señalaron el libro, la botella, la goma y un clip. Da la sensación de que los niños han sido capaces de consolidar las ideas y generalizaciones que han establecido a través de la interacción con los objetos, con los compañeros y la maestra.

<i>Turno</i>	<i>Transcripción</i>	<i>Análisis</i>
668	Maestra: <i>Vale. ¿Y de esas cosas todo encendía la bombilla o había algunos objetos que no? (...)</i>	Pide a los niños que rememoren lo observado.
674	Alicia: <i>Ni el libro, ni la botella, ni la goma.</i>	Enumera varios objetos no conductores.
675	Maestra: <i>¿Y por qué esas cosas no encendían?</i>	Pide a los niños que expliquen lo observado.
676	Adela: <i>Porque no eran de metal.</i>	Expresa la generalización de que los objetos de metal sí encienden una bombilla.

En esta sesión se observa cómo van evolucionando las ideas a través del discurso reflexivo, al hacer predicciones y al darles la oportunidad de probarlas. Al iniciar la sesión, los niños explican sus predicciones y observaciones utilizando ideas como que no enciende la bombilla porque el objeto no tiene electricidad o no está bien conectado. A medida que van probando con diversos objetos, empiezan a utilizar ideas que tienen que ver con la naturaleza del material del que está constituido el objeto. La primera intervención, en este sentido, es de África, quien indica que la bombilla no encenderá al colocar un libro en el circuito porque no es de cristal. De ahí Anastasia formula la idea de que no se enciende la bombilla porque el objeto no es de metal. En cuanto aparece esta idea la utilizan cada vez más a medida que se va confirmando en las observaciones. La idea de África desaparece del discurso una vez que se ve

refutada por las observaciones con la botella. Llegado a este punto, en general hacen las predicciones de forma correcta con los objetos de metal como las monedas; sin embargo, fallan en la predicción en los objetos de otros materiales. Da la sensación de que algunos de los niños llegaron a la generalización inductiva de que los objetos de metal al colocarlos en el circuito permiten que se encienda la bombilla, lo que sería un referente para construir el concepto de materiales conductores de la electricidad, pero dicha generalización la utilizan con dificultad para hacer predicciones. Una vez que prueban con el objeto, y ya tienen una evidencia empírica, sí justifican la observación haciendo referencia a la naturaleza del material. En la asamblea final se ve cómo la selección de objetos similares de distintos materiales como las cucharas o los clips ayudaron a generar conflictos cognitivos cuya resolución favoreció las generalizaciones inductivas.

## CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

En este trabajo se ha intentado describir cómo niños de 4 y 5 años y la maestra abordan el trabajo en el aula, y construyen conceptos y generalizaciones a través de la experiencia empírica y el diálogo con otros al implicarse en actividades de indagación con circuitos eléctricos.

En relación con la implementación de las sesiones, cabe señalar que estuvo enmarcada en un discurso dialógico y reflexivo donde los niños expresaron sus ideas y donde la maestra planteó preguntas y desafíos. La intervención de la maestra fue fundamentalmente para fomentar el interés, anticipar las acciones explicando lo que se pretendía con cada actividad, animar a los niños a que hiciesen predicciones y que las justificasen, y alentar a los niños a que probasen sus predicciones y que explicasen lo que observaban.

En relación con las ideas que emergen de las conversaciones de los niños cuando interactúan entre ellos y con los fenómenos bajo estudio, hay que señalar que a lo largo de las sesiones los niños expresaron ideas diversas sobre la electricidad y ofrecieron diferentes tipos de explicaciones. Los niños reconocieron que la electricidad es algo que permite que funcionen cosas como la televisión, el móvil o el ordenador. En general, no tuvieron dificultad a la hora de identificar los aparatos eléctricos y electrónicos. Resultados similares se describen en otros trabajos sobre niños de educación infantil (Kada y Ravanis, 2016). En las conversaciones de los niños aparece la idea de que la electricidad es un ente que se genera en las tormentas y en los molinos de viento. Estas ideas se están gestando en un determinado contexto y en algunos casos son iniciadas por los niños y en otros, por la maestra; por lo tanto, tienen cierto carácter idiosincrático (Carey, 1985). Sin embargo, estas ideas están relacionadas con los hallazgos de otros autores que afirman que los niños de entre 5 y 6 años, previo a la instrucción, tienen ya ciertas representaciones sobre los fenómenos eléctricos en las que se identifica un razonamiento preenergético (Glauert, 2009; Kada y Ravanis, 2016). A diferencia de los niños de 5 a 6 años, los niños del presente estudio apenas utilizan la idea de la electricidad como algo que fluye por los cables (Kada y Ravanis, 2016). De hecho, una niña hace explícita la idea de que no se enciende la bombilla porque el objeto no tiene electricidad. Esta idea puede estar relacionada con concepciones descritas en otros trabajos donde participan niños de preescolar (Solomonidou y Kakana, 2000) y donde se describe cómo los niños perciben la electricidad como una entidad estática. Los niños dicen, por ejemplo, que la electricidad ya está en los electrodomésticos cuando los compras.

En relación con la evolución de las ideas al participar en las sesiones descritas, podemos señalar que en un principio los niños explican sus predicciones y observaciones utilizando ideas como que no enciende la bombilla porque el objeto no tiene electricidad o no está bien conectado; sin embargo, a medida que van probando con diversos objetos, empiezan a utilizar ideas que tienen que ver con la naturaleza del material del que está constituido el objeto. En cuanto se formuló la idea de que no se

enciende la bombilla porque el objeto no es de metal, utilizan cada vez más esta idea puesto que se va confirmando en sus observaciones.

Respecto a si son capaces de llegar a generalizaciones, queremos señalar que fueron capaces de construir generalizaciones inductivas a partir de la experiencia empírica. Este resultado es similar al obtenido por Sá et al. (1996) en un estudio con niños de edades similares a los que participaron en este trabajo.

En cuanto a si son capaces de utilizar las ideas generadas de forma inductiva para hacer predicciones acertadas y para justificar las observaciones sobre la capacidad de conducir la electricidad de distintos objetos de diferentes materiales, a pesar de las limitaciones del presente trabajo, y del peligro de sacar conclusiones basadas en pocos datos, podemos apuntar que los niños que participaron en estas actividades muestran dificultades a la hora de utilizar las ideas generadas de forma inductiva para hacer predicciones acertadas sobre la capacidad de conducir la electricidad de distintos objetos de diferentes materiales. Sin embargo, muestran una mayor competencia al utilizar las ideas generadas de forma inductiva para justificar las observaciones.

Como posibles mejoras de la propuesta apuntamos que la primera sesión debería centrarse más en cuestiones que ayuden a profundizar en el pensamiento del niño y en la segunda sesión se podría obviar el uso del interruptor haciendo la actividad más significativa. Otra cuestión mejorable es la forma de recoger los datos de las predicciones. En ese momento se debería profundizar en que justifiquen las predicciones y apuntar las predicciones de todos los niños sin que tengan que llegar a acuerdo.

Los resultados de este trabajo apoyan la importancia de realizar actividades de indagación en educación infantil para dar oportunidades para que los niños desarrollen habilidades de pensamiento y generen referentes sobre conceptos científicos. A la hora de diseñar propuestas para que los niños realicen generalizaciones inductivas, es importante realizar actividades de predicción, previas a las actividades de observación, y darles la oportunidad de que justifiquen tanto las predicciones como las observaciones. Además, se deben diseñar actividades para que utilicen las ideas generadas tanto en nuevas predicciones como en nuevas observaciones.

Se espera que este trabajo sea de utilidad para todas aquellas personas implicadas en la educación de las niñas y de los niños, y que favorezca que se implementen actividades de ciencias que ayuden al desarrollo del razonamiento, a construir referentes conceptuales y a fomentar actitudes positivas hacia la ciencia.

### AGRADECIMIENTOS:

Al proyecto EDU2017-82915-R, financiado por FEDER/Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades - Agencia Estatal de Investigación, y al proyecto PGC2018-096581-B-C22, financiado por FEDER/Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades - Agencia Estatal de Investigación/ Proyecto ESPIGA.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, R. (2017). *Towards dialogic teaching: Rethinking classroom talk*. Cambridge: Dialogos.
- Asoko, H. (1996). Developing scientific concepts in the primary classroom: Teaching about electric circuits. En G. Welford, J. Osborne y P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe: Current issues and themes* (pp. 36-49). Londres: Falmer Press.

- Cantó, J., De 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: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 34(3), 25-50.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Londres: MIT Press.
- Çepni, S. y Keleş, E. (2006). Turkish students' conceptions about the simple electric circuits. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 4(2), 269-291.  
<https://doi.org/10.1007/s10763-005-9001-z>
- Chan, C., Burtis, J. y Bereiter, C. (1997). Knowledge building as a mediator of conflict in conceptual change. *Cognition and Instruction*, 15(1), 1-40.  
[https://doi.org/10.1207/s1532690xci1501\\_1](https://doi.org/10.1207/s1532690xci1501_1)
- Costa, T. (2015). *Influência da criação e crítica de analogias por estudantes de química do ensino médio na promoção de interações argumentativas* (tesis doctoral). Ouro Preto: Universidad Federal de Ouro Preto.
- De Pro Bueno, A. y Rodríguez, J. (2010). Aprender competencias en una propuesta para la enseñanza de los circuitos eléctricos en Educación Primaria. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 28(3), 385-404.
- Decreto 330/2009, de 4 de junio, por el que se establece el currículo de la educación infantil en la Comunidad Autónoma de Galicia. *Diario Oficial de Galicia*, 10.
- Eshach, H. y Fried, M. N. (2005). Should science be taught in early childhood? *Journal of Science Education and Technology*, 14(3), 315-336.  
<https://doi.org/10.1007%2Fs10956-005-7198-9>
- Fleer, M. (1991). Socially constructed learning in early childhood science education. *Research in Science Education*, 21(1), 96-103.  
<https://doi.org/10.1007/BF02360462>
- French, L. (2004). Science as the centre of a coherent, integrated early childhood curriculum. *Early Childhood Research Quarterly*, 19, 138-149.  
<https://doi.org/10.1016/j.jecresq.2004.01.004>
- Glauert, E. B. (2009). How young children understand electric circuits: Prediction, explanation and exploration. *International Journal of Science Education*, 31(8), 1025-1047.  
<https://doi.org/10.1080/09500690802101950>
- Kada, V. y Ravanis, K. (2016). Creating a simple electric circuit with children between the ages of five and six. *South African Journal of Education*, 36(2), 1-9.  
<https://doi.org/10.15700/saje.v36n2a1233>
- Martínez, R. A. (2007). *La investigación en la práctica educativa: Guía metodológica de investigación para el diagnóstico y evaluación en los centros docentes*. Madrid: MEC.
- Moreira, M. A. (2002). Investigación en educación en ciencias: Métodos cualitativos. *Acatas de PI-DEC*, 4(14), 25-45.
- Osborne, J., Black, P., Smith, M. y Meadows, J. (1991). *Primary SPACE project research report: Electricity*. Liverpool: Liverpool University Press.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods: Integrating theory and practice*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Pendergast, E., Lieberman-Betz, R. G. y Vail, C. O. (2017). Attitudes and beliefs of prekindergarten teachers toward teaching science to young children. *Early Childhood Education Journal*, 45(1), 43-52.  
<https://doi.org/10.1007%2Fs10643-015-0761-y>
- Sá, J., Rodrigues, A., Gomes, A., Veloso, E., Torres, G. y Silva, M. (1996). A descoberta de objectos e materiais condutores da electricidade por crianças de 4/5 anos. *Aprender*, 20, 65-70.

- Shepardson, D. P. y Moje, E. B. (1994). The nature of fourth graders' understandings of electric circuits. *Science Education*, 78(5), 489-514.  
<https://doi.org/10.1002/sce.3730780505>
- Shipstone, D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, 6(2), 185-198.  
<https://doi.org/10.1080/0140528840060208>
- Solomonidou, C. y Kakana, D. M. 2000. Preschool children's conceptions about the electric current and the functioning of electric appliances. *European Early Childhood Education Research Journal*, 8(1), 95-111.  
<https://doi.org/10.1080/13502930085208511>
- Varela, P., Manrique, M. J. y Favigres, A. (1988). Circuitos eléctricos: Una aplicación de un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en las ideas de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 285-290.
- Vygotsky, L. (1995). *Pensamiento y lenguaje*. Barcelona: Paidós Ibérica.
- White, R. T. y Gunstone, R. F. (1992). *Probing understanding*. Londres: The Falmer Press.
- Worth, K. (2010). Science in early childhood classrooms: Content and process. *Early Childhood Research and Practice, Collected Papers from the SEED (STEM in Early Education and Development) Conference*, 10, 1-118.
- Yin, R. K. (2003). *Case study research. Design and methods*. California: Sage Publications.

---

# Constructing concepts about electricity in early childhood education through inquiry-based activities

Nuria Calo Mosquera, Isabel García-Rodeja Gayoso, Vanessa Sesto Varela  
Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidade de Santiago de Compostela,  
Santiago de Compostela, A Coruña, España  
nuriacalotrazo@gmail.com, isabel.garcia-rodeja@usc.es, vanessa.sesto@usc.es

There is a growing consensus that science can be a particularly important domain in early childhood education. Some of the benefits of introducing science to noticeably young children are the construction of ideas that facilitate the understanding of scientific concepts that will be drawn upon more fully in later educational stages, the development of general skills linked to research design, and the generation of positive attitudes towards science. The topic of electricity and electrical circuits gives young children opportunities to reflect on ideas that are present in children's everyday life. This paper aims to describe the implementation of a teaching sequence where preschool children construct concepts and generalizations through empirical experience and dialogue with other when they engage in inquiry-based activities about electrical circuits.

The participants were seventeen children aged between 4 and 5 who took part in a teaching intervention about electrical circuits. This intervention was designed following a POE (Predict-Observe-Explain) strategy in which children are encouraged to make predictions about a phenomenon that they will then test through experimentation. The teaching intervention included three activities. During the first activity the teacher asked the children several questions about electricity to activate their ideas. During the second activity the children were given the opportunity to explore the elements of an electrical circuit. They also manipulated the circuits to turn up the light bulb. During the third activity the children were asked what would happen if a circuit were interrupted by placing different objects. This activity was aimed at promoting the construction of empirical references about the idea of conductive and non-conductive materials. Data collection included observation diaries and recordings of naturally occurring talk-in-interaction.

The findings point out that, in general, the children recognized that electricity is «something» that allows devices such as television or computer to work. They had no difficulty in identifying electrical and electronic devices. The idea that electricity is an entity generated by storms and windmills also emerge during children's interactions. However, children in this study hardly ever use the idea of electricity as something that flows through wires.

Regarding the evolution of ideas throughout the teaching intervention, we can point out that, at first, children explain their predictions and observations using ideas like the light bulb is not turned up because the object does not have electricity or is not well connected. However, as the children experiment with different objects, they begin to activate ideas related to the nature of the material from which the object is made. It is observed that children reach an inductive generalization according to which metals objects conduct electricity. Moreover, children show more difficulties in applying these ideas when they make predictions that when they justify their observations.

These findings suggest the need of conducting inquiry-based activities in early childhood education to give young children opportunities to develop thinking skills and generate empirical referents about scientific concepts. When designing teaching interventions, it is important to carry out prediction activities prior to the observation and give children the opportunity to justify both predictions and observations



# «Expliquem l'Albufera»: transformar una salida de campo en un proyecto interdisciplinar

## «We explain the Albufera»: transforming a field trip into an interdisciplinary project

Enric Ortega-Torres  
*Unitat d'Educació, Florida Universitària, Catarroja (València)*  
ortega@florida-uni.es

Vicent Moncholí Pons  
*Departament de ciències, Florida Secundària, Catarroja (València)*  
vmoncholi@florida-uni.es

**RESUMEN** • Se expone el proceso seguido por un equipo de docentes de secundaria con el objetivo de cambiar la metodología de trabajo en el aula mediante el diseño y aplicación de una secuencia de aprendizaje definida a partir del aprendizaje basado en retos que integre de manera interdisciplinar los contenidos de Biología y Geografía en segundo de la ESO. Mediante la reflexión didáctica compartida, organizada y continuada se transforma una salida de campo tradicional en un nuevo proyecto de trabajo que se desarrolla a lo largo de un trimestre completo. Los resultados muestran la nueva secuencia de actividades creada, la percepción de los estudiantes y familias y los beneficios en la implicación del alumnado. La conclusión pone de manifiesto el potencial transformador del trabajo en equipo del cuerpo docente.

**PALABRAS CLAVE:** ABP; Educación Secundaria; Salidas; Codocencia; Interdisciplinariedad.

**ABSTRACT** • The article explains the process followed by a team of secondary school teachers with the objective of changing the methodology of science learning through the design and application of a learning sequence defined from challenge-based learning that integrates in an interdisciplinary way the contents of biology and geography in the second year of secondary education. Through shared, organized, and continuous didactic reflection, a traditional field trip is transformed into a new interdisciplinary work project that takes place over a full term. The results show the new sequence of activities created, the perception of the students and families and the benefits in the involvement of the students. The conclusion highlights the transformative potential of teachers' teamwork.

**KEYWORDS:** PBL; Secondary School; Field trip; Co-teaching; Interdisciplinarity.

Recepción: febrero 2020 • Aceptación: febrero 2021 • Publicación: junio 2021

Ortega-Torres, E. y Moncholí Pons, V. (2021). «Expliquem l'Albufera»: transformar una salida de campo en un proyecto interdisciplinar. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(2), 241-252.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3241>

## INTRODUCCIÓN

La reflexión sobre la práctica es una acción cotidiana que la profesión docente requiere con el fin de encontrar mejoras que pueden integrarse en las actuaciones de aula (Zavala, 2006). Si esta reflexión puede llevarse a cabo en equipo, su potencial transformador crece sustancialmente. Facilitar que un equipo de docentes pueda definir desde la propia reflexión el conjunto de cambios que van a estructurar una actuación didáctica es una de las recomendaciones antiguas que forman parte de las prácticas de codocencia descritas por Cook y Friend (1995) entre otros. En este sentido, entendemos por práctica de codocencia los modos de enseñanza cooperativa desarrollados por dos o más docentes, tal y como la definen Beamish, Bryer y Davies (2006). En este sentido, la actuación que se describe en este artículo se enmarca en una experiencia de investigación-acción donde la coenseñanza está presente en la fase de coordinación, consenso de objetivos y ejecución en paralelo en diferentes grupos de la misma secuencia didáctica, aspectos vertebradores de la codocencia, según autores como Chanmugam y Gerlach (2013) o Conderman y Hedin (2012).

A partir de una reflexión compartida por un equipo de cuatro docentes de secundaria, dos de Ciencias Naturales y otros dos de Ciencias Sociales, estructurada a partir de reuniones de una hora integradas en el horario de todos ellos, fue cómo se ideó, planificó y ejecutó la primera edición del proyecto «Expliquem l'Albufera», que a día de hoy ya cuenta con seis ediciones de éxito.

La necesidad de cambio en las metodologías de enseñanza de las ciencias es una prioridad en las aulas de secundaria; el informe ENCIENDE (COSCE, 2011) expone la importancia de transformar metodologías de enseñanza transmisivas en nuevas metodologías más reflexivas y participativas. Esta necesidad propició la decisión del claustro del centro educativo de diseñar espacios de cuatro horas semanales, en el horario de segundo de la ESO, que a partir de la metodología de aprendizaje basado en proyectos pudieran trabajar de modo interdisciplinar los objetivos de aprendizaje del currículo de Ciencias Naturales y de Ciencias Sociales. Esta intención planteó la necesidad de repensar de nuevo las programaciones de dichas disciplinas.

Entre las diferentes decisiones que había que tomar, el equipo de docentes planteó la importancia de mantener lo que ya funcionaba bien en la trayectoria de las programaciones de las asignaturas implicadas y trataron de integrarlo en los nuevos proyectos pendientes de diseñar. El equipo de docentes coincidió en considerar la «tradicional» salida de campo al Parque Natural de la Albufera como una de las acciones que mejor resultado mostraba en el interés del alumnado. No debía perderse el papel didáctico que ofrecía dicha salida de campo y su potencial favorecedor de actitudes y valores hacia la ciencia (Pedrinaci, 2012). Desde la intención de mantener esta salida como elemento clave en la asimilación de contenidos científicos, se inició un proceso de adaptación para convertirla en un proceso de aprendizaje basado en problemas/retos, tal y como Pedrinaci (2012) propone.

El enfoque que facilitaba el nexo entre los requisitos del currículo de Biología y Geografía e Historia para el diseño del nuevo proyecto se basó en la mirada CTSA y el aprendizaje fuera del aula como elementos clave (Cantó, Hurtado y Vilches, 2013) en el diseño de la nueva secuencia didáctica.

## SECUENCIA DIDÁCTICA

A partir del conocimiento sobre la situación global respecto a las dificultades para generar interés en el alumnado de secundaria en el aprendizaje de las ciencias, se estableció como prioritario plantear actuaciones que involucrasen al alumnado en actividades que promovieran una indagación real dentro y fuera del aula de ciencias (Britner y Pajares, 2006). Además, se inició la transformación buscando sostener la práctica sobre el aprendizaje social que promueve el trabajo colaborativo siguiendo las sugerencias planteadas por Schunk y Pajares (2002) para el aprendizaje de las ciencias.

El resultado de la secuencia didáctica diseñada se estructuró siguiendo las bases de la metodología de aprendizaje basado en retos. Se partió de la idea fundamental que comparten todas las versiones que secuencian el conjunto de actividades que configura un proyecto: aprendizaje vinculado a un propósito (Domènech-Casal, 2019) que promueve una participación activa del alumnado a través de la necesidad de uso de habilidades cognitivas de nivel alto (HOTS) para alcanzar mayor profundidad en el aprendizaje (Trujillo, 2016). Siguiendo con la descripción de las características esenciales de las secuencias de ABP descrita por el Buck Institut for Educations (Larmer, Mergendoller y Boss, 2015), podemos describir esta secuencia del siguiente modo (tabla 1):

Tabla 1.  
Elementos clave del proyecto

<i>Elementos clave del diseño de proyectos (Buck Institut for Educations, 2015)</i>	
Problema o pregunta inicial	El reto planteado es el de construir un centro de interpretación del Parque Natural de la Albufera en el centro educativo para ayudar al alumnado de primaria de las escuelas de la localidad a estudiar sus características.
Indagación sostenida en el tiempo	El diseño del proyecto se estructura en fases diferenciadas y conectadas entre sí y facilita la indagación iterada que permite profundizar en el tema. No puede iniciarse un paso sin haber finalizado el anterior.
Nivel de autenticidad	La propuesta de reto se presenta por los propios alumnos de primaria en un encuentro inicial donde estos solicitan al alumnado de secundaria que se les ayude a estudiar la Albufera. La proximidad del municipio al parque natural y la posibilidad de diseñar desde el inicio el centro de interpretación y el formato de visitas guiadas potencian la autenticidad del proceso y los productos intelectuales generados en el proyecto.
Empoderamiento del alumnado	El alumnado se convierte en diseñador, constructor y guía del centro de interpretación. Transforman su rol, que pasa de ser el de estudiantes de ciencias a expertos en el parque natural, lo que ayuda a otros a mejorar su conocimiento.
Reflexión	La conexión existente entre una acción y la siguiente potencia la necesidad de reflexionar sobre lo aprendido en cada momento. La necesidad de sintetizar la información con el fin de mostrarla y organizarla para que pueda ser entendida por los futuros visitantes promueve la reflexión metacognitiva.
Evaluación formativa	Cada etapa del proyecto conlleva un tipo de producto entregable que requiere <i>feedback</i> del resto de compañeros y del equipo de docentes. Esta retroalimentación para la mejora permite al alumnado mejorar sus producciones gracias a la información recibida.
Producto público	El centro de interpretación elaborado queda abierto al público para las visitas de los estudiantes de los centros de primaria que se realizan con el acompañamiento de los estudiantes-guías durante el mes siguiente a la inauguración. Además, el centro sigue abierto durante la visita de los estudiantes de intercambio y para la reunión de familias del trimestre.

Con estas características la secuencia ocupaba el segundo trimestre del curso (10 semanas/40 sesiones) y quedaba estructurada siguiendo la siguiente cronología de sesiones:

1. *Disparador del proyecto*: Visita de los representantes (delegados y tutores) de los grupos de tercero de Primaria de los centros de primaria del municipio para solicitar ayuda al alumnado de segundo de la ESO con el fin de estudiar la Albufera.
2. *Inicio del trabajo en grupos base*: A partir de la configuración de los grupos de trabajo (grupos heterogéneos propuestos por el equipo de tutores) el equipo de docentes diseña un dossier de investigación cooperativo para conocer los cimientos temáticos del proyecto desde las disciplinas implicadas. Las actividades que integran el dossier se muestran en la tabla 2.

Tabla 2.  
Actividades que componen el *dossier* de investigación y sus objetivos didácticos

<i>Actividad</i>	<i>Objetivos didácticos</i>
Espacios naturales en Europa	Conocer el significado de <i>espacio natural</i> Conocer ejemplos de espacios naturales en Europa
Parque natural... ¿protegido?	Estudiar la evolución histórica de la Albufera Investigar las necesidades de protección del Parque Natural de la Albufera
El territorio protegido	Comparar las dimensiones de los diferentes espacios protegidos en la Comunidad Valenciana
Poema: ruta gastronómica	Comprender el texto de un poema sobre la Albufera Mostrar relación entre literatura y entorno geográfico
Laguna, marjal, albufera. ¿Qué sabes?	Diferenciar conceptos geográficos
Flora y fauna de la Albufera de Valencia	Conocer la flora y fauna característica de la Albufera Promover interés por la diversidad del parque natural
«Pirates de la Marjal»	Comprensión e interpretación de un relato sobre la Albufera Valorar las conexiones literarias con el entorno natural
Qué es un centro de interpretación	Investigar acerca de centros de interpretación

3. *Trabajo en grupos de expertos*: Siguiendo la técnica cooperativa del puzle de Aronson (Aronson y Bridgeman, 1996), a cada uno de los alumnos pertenecientes al grupo base inicial se le asigna un rol diferente para que formen cinco grupos de expertos según sus afinidades e intereses. En este momento del proyecto se realizan tareas específicas del rol de experto escogido. La descripción de la tipología de actividades de cada rol se expone en la tabla 3.

Tabla 3.  
Tipología de actividades según el grupo de expertos

<i>Grupo de expertos</i>	<i>Objetivos de la tipología de actividades</i>
Cañas y Barro	Investigar sobre la flora característica del parque natural. Especial atención a la paja del arroz y sus usos
Samarucs	Investigar la fauna característica del parque natural
Agua	Investigar las tradiciones de pesca del parque natural
Tierra	Investigar la evolución del parque en cuanto a sus dimensiones y las dificultades de sostenibilidad del entorno
Tourist-Info	Conocer las actividades culturales que se realizan en el parque natural

Dentro de esta fase, además de las actividades propias de cada grupo de expertos, se invita a profesionales externos conocedores del parque natural (biólogos, agricultores, restauradores...) al centro para que realicen encuentros con los diferentes grupos de expertos para propiciar el interés y mostrar referentes cercanos que se vinculen al rol asignado, siguiendo la estrategia propuesta por Zimmerman (2000) para mejorar la autoeficacia del alumnado mediante el acercamiento a modelos referentes.

4. *Salida al Parque Natural de la Albufera*: En este momento es cuando se organiza un itinerario didáctico para visitar el parque natural. La salida de campo que ya se realizaba se transforma y adapta a la secuencia didáctica diseñada para el proyecto. En esta ocasión el alumnado realiza una modalidad de salida diferente según el grupo de expertos en el que esté trabajando, cada uno hace una ruta y unas actividades diferentes resumidas en la tabla 4.

Tabla 4.  
Tipología de actividades según el grupo de expertos

Cañas y Barro	Ruta por la Devesa. Identificación de flora
Samarucs	Visita a la piscifactoría y avistamiento de aves
Agua	Visita a la lonja de pescadores y a la Comunidad de Pescadores de El Palmar
Tierra	Itinerario centrado en construcciones, paisaje y riego y cultivo del arroz. Explicación y visita al Tancat de la Pípa a pie del campo
Tourist-Info	Encuentro con profesionales que organizan actividades dentro del parque. Restauración (Restaurante Casa Pepe) y Empresa Visit Albufera, atención al visitante, paseos en barca, alquiler de bicicletas...

Para finalizar la salida, con un objetivo más lúdico se reúnen de nuevo todos los grupos y se realiza un paseo en barca por la Albufera con un guía local.



Fig. 1. Momento del paseo en barca.

5. *Speed dating entre expertos*: Tras la salida de campo realizada al parque natural se organiza una dinámica en el aula para propiciar el cruce de aprendizajes generado a través de las diferentes modalidades de expertos. La dinámica consiste en estructurar las dos horas de sesión de proyecto de modo que cada alumno debe encontrar al menos dos alumnos de cada grupo de expertos diferentes al propio y realizar una entrevista recíproca. Se ha diseñado previamente una hoja de recogida de información para que cada estudiante pueda ordenar toda la información compartida. Cada 15 minutos debe cambiarse de «pareja» y realizar una nueva entrevista.
6. *Preparación del centro de interpretación*: El alumnado vuelve a la configuración inicial de grupos base y cada experto explica al resto de compañeros en qué ha consistido su trabajo. En este momento se inicia la planificación del producto final del proyecto. El objetivo es preparar un producto expositivo (mural, póster, tríptico, vídeo, experimentos, juegos) que se complemente con el resto de los grupos y forme parte del centro de interpretación de la Albufera. En este proceso de diseño el alumnado de segundo de la ESO debe tener en cuenta que el centro de interpretación va dirigido al alumnado de tercero de Primaria, por lo tanto, debe adaptarse a su realidad.

En esta etapa del proyecto se realizan sesiones de intercambio de información entre grupos para que todo el alumnado sea consciente del conjunto de productos que van a formar el centro de interpretación y para que proporcionen *feedback* unos a otros con el fin de mejorar la calidad final de los productos expositivos.

El centro de interpretación formado ocupa diferentes espacios del centro educativo:

- *Laboratorio de ciencias*: para aportar una mirada científico-experimental de la Albufera, en el laboratorio se estudia el estado del agua, curiosidades sobre el tipo de arroz y el almidón que cada variedad contiene. Además de otros experimentos sobre el suelo y la vegetación.
- *Exposición principal*: ocupa el *hall* principal del centro y mediante paneles explicativos y un recorrido didáctico se explica la fauna existente en la Albufera, su flora, así como también la interacción humana y cómo afecta esta a los seres vivos.
- *Jardín de paja*: situado en la entrada principal del centro, en el patio se ha elaborado un pequeño jardín-laberinto con balas de paja de arroz. El alumnado conoce la problemática de la quema de la paja del arroz y otras posibilidades de uso.



Fig. 2. Visita al jardín de paja del alumnado de primaria.

7. *Inauguración del centro y visitas*. Una vez finalizado el montaje del centro se invita a los diferentes centros de primaria para que puedan realizar sus visitas guiadas. Cada grupo base se convierte en un equipo guía de los grupos clase de tercero de Primaria y a lo largo de cada visita explica el contenido de la exposición y responde a las preguntas planteadas.

Las visitas finalizan el día de la reunión de final de trimestre con las familias (aproximadamente 300 personas). A lo largo de esa tarde el alumnado también ejerce de guía para explicar el centro de interpretación a las familias.



Fig. 3. Explicación de los guías al alumnado de primaria visitante.

## EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN DEL PROYECTO

La evaluación del proyecto se establece desde el inicio como un instrumento de mejora del proceso de aprendizaje siguiendo los principios de la evaluación formadora definidos por Neus Sanmartí (2010). Se establecen momentos de recapitulación y de *feedback* entre alumnos y por parte de los docentes, con el fin de retroalimentar de un modo constructivo el proceso de aprendizaje que sigue cada alumno (Wiggins, 2012). Se trata de asegurar que en cada etapa del proyecto sea posible situarse dentro del itinerario completo. El alumnado debe poder responder a las preguntas: ¿Qué he aprendido hasta ahora? ¿Por dónde voy? ¿Qué me queda por aprender? Con este fin se establecen rúbricas de coevaluación para los productos expositivos que se evalúan de modo cruzado entre los diferentes grupos de expertos. También se evalúa el dossier de investigación y el dossier de experimentación del grupo de expertos con una rúbrica de autoevaluación revisada posteriormente por el equipo docente. El documento para recoger la información de la dinámica *speed dating* es un entregable individual que sirve como un instrumento más de evaluación. También se tiene en consideración para la evaluación la participación como guías de la exposición. Todos estos instrumentos tienen un peso específico para la calificación del alumnado en el proyecto.

Las asignaturas involucradas en el proyecto, Biología y Geografía, asignan un peso específico a la calificación del proyecto dentro de los instrumentos de calificación de la propia asignatura para cada alumno.

Tabla 5.  
Instrumentos de calificación y momentos de evaluación

<i>Instrumento de calificación*</i>	<i>Modalidad</i>	<i>Momento de evaluación</i>
IG1	Dossier investigación grupal Autoevaluación con rúbrica revisada por la/el docente	Al final de la fase de trabajo en grupos base
II2	Dossier experimentación expertos Autoevaluación con rúbrica revisada por la/el docente	Al final de la fase de expertos
II3	Entregable resultado del <i>speed dating</i> Evaluación por parte del/ de la docente	Después de la dinámica de <i>speed dating</i>
IG4	Productos expositivos Coevaluación entre grupos	Tras el montaje definitivo del centro de interpretación
II5	Guía de exposición Evaluación por parte del/de la docente	Tras la visita de los centros de primaria

\*II- Instrumento individual - IG-Instrumento grupal

## RESULTADOS

Podemos diferenciar distintos tipos de resultados relacionados con la realización del proyecto expuesto:

- Respecto al cambio de metodología: se ha realizado la programación de cuatro horas semanales de todo un trimestre para segundo de la ESO en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales a partir de una secuencia de actividades basada en los fundamentos del aprendizaje basado en retos.
- Respecto a la reflexión y trabajo en equipo del profesorado implicado: se ha creado un equipo estable de cuatro docentes que han diseñado, ejecutado y evaluado una secuencia didáctica en equipo.
- Respecto al alumnado: se diseñó una encuesta exprofeso para conocer la percepción del alumnado sobre el cambio producido. La encuesta se pasó a los tres grupos de segundo de la ESO (96 alumnos) al finalizar el proyecto y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6.  
Resultados de las encuestas pasadas al alumnado participante

El 61,3 % de los alumnos considera que ha trabajado todo lo que podía en el proyecto.	El 19 % del alumnado considera que podría haber trabajado más.
El 34 % de los alumnos considera que han sido los compañeros de grupo quienes más les han ayudado.	El 31 % del alumnado considera que quien más le ha ayudado ha sido el docente.
La parte del proyecto que más ha gustado al alumnado ha sido: al 62,7 %, la salida a la Albufera; al 16,2 %, el trabajo en rol de expertos; al 12,8 %, el trabajo de investigación en grupos base, y al 10,5 %, la sesión del <i>speed dating</i> .	

Se realizó también una encuesta en línea a las familias del alumnado con un índice de respuestas del 57 % (tras tres envíos recordatorios durante las dos últimas semanas del proyecto), con los siguientes resultados destacados:

Tabla 7.  
Resultados de las encuestas pasadas a las familias

El 81,4 % de las familias considera que su hijo/a ha realizado una buena valoración del proyecto.
El 82,6 % de las familias considera interesante (37,2 %) o muy interesante (45,4 %) que sus hijos aprendan ciencias naturales y sociales en la modalidad de proyecto.
El 87 % de las familias afirma que sus hijos han compartido más información sobre el proyecto en casa que respecto a otras actividades del centro.

## CONCLUSIONES

Retomando los objetivos que propiciaron la transformación de la «tradicional» salida de campo en un proyecto interdisciplinar que integrase el currículo de Biología y Geografía e Historia de segundo de la ESO, podemos constatar que dicha transformación fue llevada a cabo gracias a la coordinación y el trabajo en equipo de los docentes participantes. Es necesario destacar en este proceso la importancia de conocer las valoraciones previas sobre el trabajo desarrollado en las asignaturas implicadas para facilitar un impulso hacia el cambio a partir de actuaciones previas de éxito, en este caso la salida «tradicional». Es desde el propio conocimiento de la realidad del aula como pueden diseñarse mejoras que pivoten sobre las prácticas de éxito y no pretendan transformar completamente desde cero las actuaciones

didácticas. El trabajo cotidiano de la profesión docente conlleva un ritmo de toma de decisiones y resolución de conflictos que dificulta la posibilidad de repensar las prácticas completamente. Si la transformación parte de una actuación valorada en positivo por parte del/ de la docente que la ejecuta, esta puede convertirse en la palanca que transmita la fuerza para generar el cambio.

En segundo lugar, cabe poner en valor la importancia del trabajo colaborativo del profesorado. Esta modalidad de codocencia ha generado un proceso de retroalimentación constante para el profesorado implicado, al compartir su experiencia y conocimientos durante el desarrollo de las clases diseñadas conjuntamente, siguiendo la línea de investigación de Rodríguez (2014). Y este hecho pone de manifiesto la relevancia de hacer posible la reflexión conjunta sobre la acción docente y de integrar diversas visiones al proceso de diseño y ejecución de una intervención didáctica. El codiseño de las secuencias didácticas conlleva un beneficio compartido para todo el equipo de docentes participantes en esta co-creación. Además, mejora en la calidad de la intervención didáctica y, por tanto, favorece el aprendizaje del alumnado.

La previsión de integrar en el horario de los docentes implicados un espacio para el encuentro programado para el curso completo es un elemento facilitador que permite generar sinergias de un modo estructurado. La reflexión didáctica compartida no puede realizarse como un extra añadido al quehacer diario del cuerpo docente, sino en momentos específicos reservados para ello. Este hábito fomenta la colaboración, potencia la calidad de las actuaciones didácticas y propicia sinergias para la codocencia.

Los resultados, en cuanto a la percepción de los estudiantes sobre la transformación realizada, van en la línea de actuación que pretende mejorar lo que ponen de manifiesto diferentes estudios, como los de Solbes, Montserrat y Furió (2007), entre otros, sobre el bajo interés hacia las ciencias de los estudiantes de secundaria. Este cambio de actitud alcanzado es una evidencia de la necesidad de poner en práctica este tipo de planteamientos didácticos en el campo de la enseñanza de las ciencias (Osborne y Dillon, 2008). Además, esta valoración en positivo por parte del alumnado supone una buena predisposición, *a priori*, hacia nuevas actuaciones de estructura semejante que produzcan un efecto facilitador para que se den nuevos intentos.

Uno de los factores que dificultan los cambios en la metodología de trabajo en el aula suele ser la consideración de la necesidad de una mayor formación previa que asegure el éxito (Monereo, 2010); esta formación es necesaria, pero para conocer si un cambio está bien planteado es necesario ponerlo en práctica, evaluarlo y reflexionar sobre ello conjuntamente. Se debe comprobar que la resistencia es menor por parte del alumnado, la acogida es positiva por parte de las familias y la ejecución es formadora para el profesorado que la realiza en el desarrollo de nuevos roles docentes, como muestra el estudio de Valdés-Sánchez (2017).

Todos estos factores ayudan a reducir la percepción de dificultad para el cambio. Es desde la investigación-acción como puede mejorarse la realidad del aprendizaje de ciencias en el aula. Como ha evidenciado la ciencia a lo largo de su historia, cada paso es un avance.

Para concluir, es importante poner en evidencia las limitaciones de la actuación descrita: el contexto de cada centro es diferente y supone unas dificultades y/o facilidades intrínsecas para poder realizar diferentes tipos de intervenciones didácticas. Cada práctica debe surgir del conocimiento del propio contexto y desarrollarse a partir de los equipos docentes que vayan a ejecutarla. Con el fin de consolidar los beneficios encontrados en esta intervención, sería interesante analizar la evaluación del propio proyecto descrito a lo largo de otros cursos con nuevo alumnado y profesorado, así como transferir el proceso a un contexto diferente (otro centro educativo) y comprobar y comparar los resultados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aronson, E. y Bridgeman, D. (1996). The Jigsaw Technique. En Philip Banyard y Andrew Grayson, *Introducing Psychological Research* (pp. 65-68).  
[https://doi.org/10.1007/978-1-349-24483-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-349-24483-6_10)
- Beamish, W., Bryer, F. y Davies, M. (2006). Teacher Reflections on Co-Teaching a Unit of Work. *International Journal of Whole Schooling*, 2(2), 3-19.
- Britner, S. L. y Pajares, F. (2006). Sources of science self-efficacy beliefs of middle school students. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 43(5), 485-499.  
<https://doi.org/10.1002/tea.20131>
- Cantó, J., Hurtado, A. y Vilches, A. (2013). Educación científica más allá del aula. Una herramienta para la formación del profesorado en sostenibilidad. *Alambique*, 74, 76-82.
- Chanmugam, A. y Gerlach, B. (2013). A Co-Teaching Model for Developing Future Educators' Teaching Effectiveness. *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education*, 25(1), 110-117.
- Conderman, G. y Hedin, L. (2012). Purposeful assessment practices for co-teachers. *Teaching Exceptional Children*, 44(4), 18-27.  
<https://doi.org/10.1177%2F004005991204400402>
- Cook, L. y Friend, M. (1995). Co-teaching: Guidelines for creating effective practices. *Focus on Exceptional Children*, 28.  
<https://doi.org/10.17161/fec.v28i3.6852>
- Couso, D., Jiménez, M. P., López-Ruiz, J., Mans, C., Rodríguez, C., Rodríguez, J. M. y Sanmartí, N. (2011). *Informe ENCIENDE: Enseñanza de las Ciencias en la Didáctica Escolar para Edades Tempranas en España*. Madrid: COSCE.
- Domenech-Casal, J. D. (2019). *Aprenentatge basat en projectes, treballs pràctics i controvèrsies: 28 propostes i reflexions per ensenyar ciències*. Rosa Sensat.
- Echevarría, T. Z., Alonso, J. S., González, G. M., Alonso, M. D. F. y Ugarte, I. E. (2014). Acercar la geodiversidad a través de las salidas de campo en la ESO. Una investigación con el profesorado de ciencias de Bizkaia. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 32(3), 443-467.  
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1282>
- Larmer, J., Mergendoller, J. R. y Boss, S. (2015). Gold standard PBL: Essential project design elements. *Buck Institute for Education*, 1-4.
- Monereo Font, C. (2010). *¡Saquen el libro de texto! Resistencia, obstáculos y alternativas en la formación de los docentes para el cambio educativo*.
- Osborne, J. y Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections* (vol. 13). Londres: The Nuffield Foundation.
- Pedrinaci, E. (2012). Alfabetización en Ciencias de la Tierra, una propuesta necesaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20(2), 133.
- Pérez, A., De Pro, A. y Ato, M. (2005). *Evaluación nacional de actitudes y valores hacia la ciencia en entornos educativos*. Madrid: FECYT.
- Rodríguez, F. (2014). La co-enseñanza una estrategia para el mejoramiento educativo y la inclusión. *Revista Latinoamericana de Inclusión Educativa*, 8(2), pp. 219-233.
- Sanmartí, N. (2010). *Avaluar per aprendre. L'avaluació per millorar els aprenentatges de l'alumnat en el marc del currículum per competències*. Generalitat de Catalunya, Departament d'Educació, Direcció General de l'Educació Bàsica i el Batxillerat.

- Schunk, D. H. y Pajares, F. (2002). The development of academic self-efficacy. En *Development of achievement motivation* (pp. 15-31). Academic Press.  
<https://doi.org/10.1016/B978-012750053-9/50003-6>
- Solbes, J., Montserrat, R. y Furió, C. (2007). Desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 21, 91-117.
- Stuckey, M., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R. y Eilks, I. (2013). The meaning of 'relevance' in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education*, 49(1), 1-34.  
<https://doi.org/10.1080/03057267.2013.802463>
- Trujillo, F. (2016). *ABP: Aprendizaje Basado en Proyectos (Secundaria y Bachillerato)*. Curso online de formación del profesorado. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte/Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado.
- Valdés-Sánchez, L. (2017). La docencia compartida como herramienta de formación permanente de los maestros que integran ciencias e inglés. *Enseñanza de las Ciencias*, n.º extra, 4943-4948.
- Wiggins, G. (2012). Seven keys to effective feedback. *Feedback*, 70(1), 10-16.
- Zavala, V. A. (2006). *La práctica educativa. Como enseñar*. México: Graó.
- Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. En *Handbook of self-regulation* (pp. 13-39). Academic Press.  
<https://doi.org/10.1016/B978-012109890-2/50031-7>

---

# «We explain the Albufera»: transforming a field trip into an interdisciplinary project

Enric Ortega-Torres

Unitat d'Educació, Florida Universitària, Catarroja (València)

eortega@florida-uni.es

Vicent Moncholí Pons

Departament de ciències, Florida Secundària, Catarroja (València)

vmoncholi@florida-uni.es

The teamwork shared by 4 secondary school teachers, two from natural sciences and two from social sciences, structured around one-hour meetings integrated into the schedule, planned and executed the project called «We explain the Albufera» that to date already has 6 successful editions.

The result of the didactic sequence which was designed was structured following the bases of the challenge-based learning methodology. Learning linked to a purpose that promotes the active participation of students through the need to use cognitive skills high level (HOTS) to achieve greater depth in learning.

The evaluation of the project is defined from the beginning as an instrument to improve the learning process following the principles of the formative evaluation. The aim is to ensure that at each stage of the project it is possible for students to answer the questions: What have I learned so far? Where am I going? What is left for me to learn?

There are different types of results:

- Regarding the change in methodology: the new four-hour-per-week sessions were planned in natural and social sciences defining a sequence of activities based on the fundamentals of challenge-based learning.
- Regarding the reflection and teacher's teamwork: a stable team of four teachers from different departments has been formed to design, execute, and evaluate a new learning sequence.
- Regarding the students: the perception of 96 students about the change produced was evaluated by means of a questionnaire.

The conclusions show the importance of collaborative work. The co-teaching modality exposed has generated a constant feedback process for the teachers involved, by sharing their experience and knowledge during the development of the project. This fact highlights the relevance of making possible joint reflection on teaching action and the importance of integrating different visions into the process of design and implementation of a didactic plan. The co-design of the didactic sequences entails a shared benefit for the entire team of teachers participating in this co-creation. In addition, it improves the quality of the didactic intervention and, therefore, the students' learning experience.