

---

# ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

REVISTA DE INVESTIGACION Y EXPERIENCIAS DIDACTICAS

vol. 42, n. 2, junio 2024

## CONSEJO DE REDACCIÓN

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

## DIRECCIÓ CIENTÍFICA (EDITORES)

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

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

## OTROS CONSEJEROS

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

## CONSEJO ASESOR

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

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

## EDICIÓ

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

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

## INDEXACIÓ

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

- Análisis semántico y cognitivo de secuencias didácticas para la modelización, *Sylvia Moraga-Toledo, Mariona Espinet-Blanch*..... 5
- Discusiones y argumentación en la enseñanza de las ciencias: prácticas y desafíos docentes, *Florencia Gómez Zaccarelli, Natalia Cándido Vendasco, Victoria Arriagada Jofré*.....25
- Enfoques académicos de las emociones hacia la Física en maestros en formación inicial, *Beatriz Pérez-Buen, María Ángeles de las Heras Pérez, Roque Jiménez-Pérez* ..... 45
- Las preguntas y estrategias dialógicas de la docente para guiar la indagación en primaria, *Lidia Caño Pérez, Josu Sanz Alonso, María Teresa Gómez Sagasti* .....67
- Reflexión crítica en formación inicial: caracterización trayectorias al diseñar secuencias, *Edith Herrera San Martín*.....87
- Laboratorios virtuales para la enseñanza de las ciencias: una revisión sistemática, *Gabriela Campos Mera, Alicia Benarroch Benarroch* ..... 109
- El razonamiento del profesorado de Biología sobre el obstáculo epistemológico teleológico, *Eduardo Ravanal Moreno, Camila Díaz Ramírez, Leonardo González Galli* ..... 131

## INNOVACIONES DIDÁCTICAS

- Construcción de modelos sobre respuestas biológicas de seres vivos frente a estímulos externos, *Nazira Píriz Giménez, Lydia Galagovsky*..... 153
- El impacto de los juegos epistémicos para aprender sobre naturaleza de la ciencia en primaria, *María Antonia Manassero-Mas, Ángel Vázquez-Alonso* ..... 173

## HISTORIA Y EPISTEMIOLOGÍA

- La noción de límite en libros de texto españoles de segunda enseñanza del siglo XIX, *Mónica Arnal-Palacián, Javier Claros-Mellado, Antonio M. Oller-Marcén*..... 197





# Análisis semántico y cognitivo de secuencias didácticas para la modelización

## Semantic and Cognitive Analysis of Didactic Sequences for Modeling

Sylvia Moraga-Toledo

*Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad de Playa Ancha Valparaíso, Chile.*  
sylvia.moraga@upla.cl

Mariona Espinet-Blanch

*Departamento de Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, España.*  
mariona.espinet@uab.cat

**RESUMEN** • Se analizan las secuencias de enseñanza-aprendizaje de Química (SEAg) diseñadas por los estudiantes del máster de Formación del Profesorado de Ciencias de Secundaria (PCFI). La pregunta del estudio es: ¿De qué manera las actividades presentes en las SEAg diseñadas por PCFI promueven la modelización? En base a la teoría del código de legitimación y la perspectiva de la actividad científica escolar, se propone una herramienta teórico-metodológica de naturaleza semántica y cognitiva para la caracterización de veinte SEAg a través del análisis de contenido. Las conclusiones apuntan a las dificultades que tienen los PCFI para diseñar SEAg que promuevan la modelización y al valor de la herramienta teórico-metodológica utilizada para iluminar dichas dificultades no solamente para la enseñanza de la química sino también de las ciencias.

**PALABRAS CLAVE:** Modelización; Actividad científica escolar; Teoría del código de legitimación; Onda Semántica; Diseño de secuencias de enseñanza y aprendizaje.

**ABSTRACT** • The Chemistry Teaching-Learning Sequences (SEAs) designed by the students of the Master of Secondary Science Teacher Training (PCFI) are analyzed. The question of the study is: In what way do the activities in the SEAs designed by PCFI students promote modeling? Based on the legitimation code theory and the perspective of the school scientific activity, a theoretical-methodological tool of a semantic and cognitive nature is proposed for the characterization of 20 SEAs through content analysis. The conclusions point to the difficulties that PCFI students have when designing SEAs that promote modeling, as well as to the value of the theoretical-methodological tool which was used to illuminate these difficulties for the teaching of both chemistry and science in general.

**KEYWORDS:** Modeling; School scientific activity; Legitimation code theory; Semantic wave; Design of teaching and learning sequences.

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

## INTRODUCCIÓN

Los docentes son uno de los principales agentes que pueden contribuir al cambio educativo (OCDE, 2023), ajustándose a un perfil profesional que les permita responder adecuadamente a los nuevos retos y demandas que surgen en una nueva sociedad del conocimiento y la información. Muchas reformas instruccionales en la enseñanza de las ciencias en todo el mundo abogan por involucrar a los estudiantes en ideas y prácticas disciplinares que vayan más allá de un compromiso cognitivo superficial (European Commission, 2015). La implementación de estas reformas requiere cambiar la manera en que se llevan a cabo las tareas y actividades de aprendizaje en las aulas de ciencias para que los estudiantes puedan desarrollar un pensamiento crítico que promueva la construcción del conocimiento (Tekkumru-Kisa et al., 2015; Couso y Márquez 2023). Varios estudios han demostrado el acceso limitado de los estudiantes a tareas de alto nivel cognitivo, como son evaluar, analizar o reflexionar, lo que indica que existe un problema de la práctica de los profesores de ciencias (Banilower et al., 2013). Una forma de abordar este reto es formar al profesorado de ciencias en ejercicio y en formación en el diseño de secuencias didácticas (European Commission, 2013; Flores, 2016; Jones y Leagon, 2014) como una valiosa oportunidad que promueve la dialéctica teoría-práctica reflexiva (Rodríguez y Blanco, 2021).

El diseño de una secuencia didáctica constituye una herramienta básica de aprendizaje para los PCFI. Existe un acuerdo basado en la investigación empírica sobre los componentes que deben aparecer en este diseño en la enseñanza de las ciencias (Couso, 2011; Karlström y Hamza, 2021). Estos componentes incluyen respuestas a preguntas importantes, tales como qué contenidos específicos enseñar, en qué contexto, a qué objetivos deben apuntar, en qué orden, qué actividades que permitan la reflexión y análisis deben seleccionarse, cómo se implementan y evalúan estas actividades, etc., además de los materiales y recursos que utilizar.

A pesar de la importancia de la buena planificación para la enseñanza de las ciencias, la investigación sobre cómo planifican los PCFI es escasa (John 2006). En un estudio reciente en el contexto de EE. UU., Whittington y Tekkumru-Kkisa (2020) indicaron que los PCFI mostraban una falta de habilidad para seleccionar tareas de aprendizaje de ciencias que ofrecieran oportunidades para el pensamiento crítico. En el contexto de España, algunas investigaciones se han centrado en las dificultades que tienen los PCFI con el diseño de SEA. Los resultados del estudio de Vilches y Perales (2017) muestran las dificultades que tiene este colectivo en cuanto al uso del contexto, la secuenciación de contenidos, la transversalidad, las tareas de aprendizaje y la metodología, entre otros.

En este estudio nos proponemos analizar las trayectorias de construcción de conocimiento que emergen de las SEA de química (SEAc) diseñadas por PCFI como tarea para sus prácticas en centros educativos. Más concretamente, queremos explorar el potencial de una lente teórica, la teoría del código de legitimación (TCL) (Maton, 2011), para iluminar las dificultades que enfrentan los PCFI a la hora de diseñar unos SEAc que promuevan la construcción de significado y conocimiento a través de la modelización científica en el aula de secundaria.

## MARCO TEÓRICO

### **Teoría de códigos de legitimación: una perspectiva semántica para la construcción del conocimiento**

La TCL es una teoría joven y de rápido crecimiento que permite explorar y dar forma a las prácticas de conocimiento. Las aportaciones teóricas de la TCL consisten en unos conceptos útiles para interpretar la dinámica de construcción de significados a través del lenguaje, y más concretamente del ámbito de la semántica (Martin et al., 2020).

Maton (2013b, 2014) introduce las ideas teóricas clave de la TCL que sustentaron su proyecto, tanto como estudio de investigación como también de intervención pedagógica. Su propuesta consiste en tres conceptos lingüísticos relativamente nuevos como gravedad semántica (GS), densidad semántica (DS) y ondas semánticas (OS), que actúan como un conjunto de principios organizativos subyacentes a la construcción del conocimiento. Mientras que la gravedad semántica (GS) se entiende como la dependencia o independencia del contexto de los significados construidos, la densidad semántica (DS) focaliza en la concentración de significado en un concepto, término, símbolo, gesto, etc. Cuantos más significados contenga un concepto, más semánticamente denso será.

La DS y la GS se pueden usar como herramientas analíticas por separado o juntas, y pueden variar en intensidad a lo largo de un continuo y en relación entre sí. Cuando se usan juntos, pueden conceptualizar el aprendizaje como ondas semánticas (OS) de formas diferentes. En una onda semántica genérica (figura 1), un docente podría comenzar una clase con una definición abstracta de reacciones de oxidación y reducción. En este caso, estaríamos frente a un escenario donde la gravedad semántica (GS-) es débil debido a que se presenta el concepto descontextualizado y la densidad semántica (DS+) es fuerte en virtud de todo el potencial de significados empaquetados en ese término. A medida que avanza la clase y se trabaja en contacto con los fenómenos, podría darse un proceso de desempaqueamiento mediante el cual se van desgranando los significados y se van conectando con contextos experimentales relevantes. El escenario evolucionaría hacia una gravedad semántica más fuerte (GS+) y una densidad semántica más débil (DS-). Al acercarse el final de la clase se podría producir un proceso de empaquetamiento de significados caracterizado por una gravedad semántica débil (GS-) y una densidad semántica fuerte (DS+).

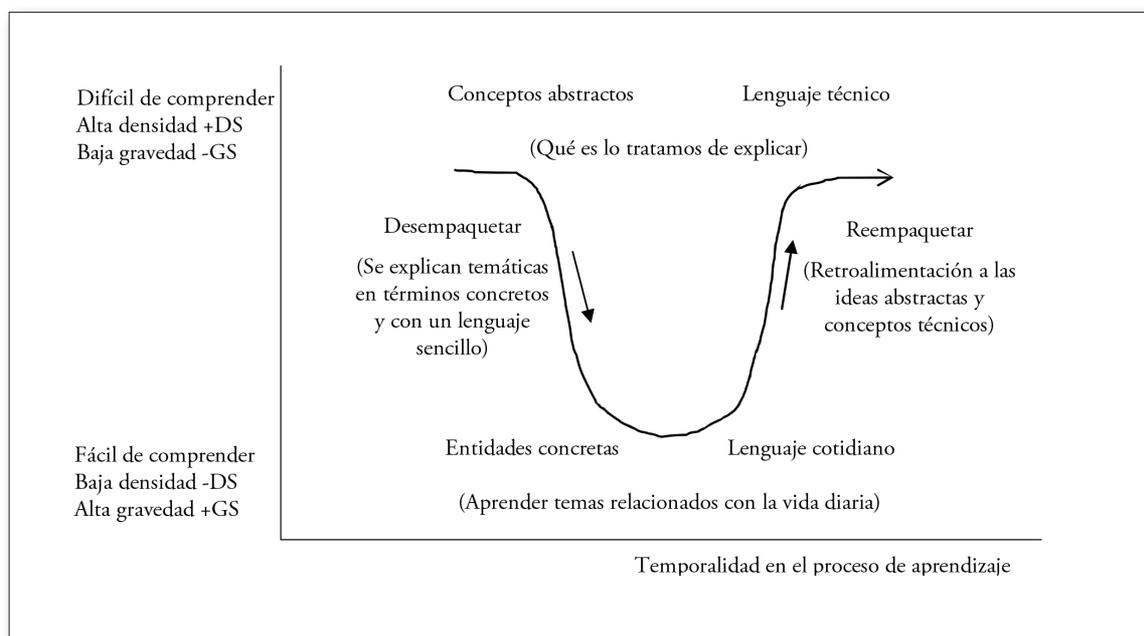


Fig. 1. Onda semántica genérica de Waite et al. (2019).

Por lo tanto, se propone la onda semántica como una manera de representar la transformación del conocimiento en el aula de la figura 1 entre significados condensados descontextualizado y significados simplificados dependientes del contexto. De este modo la práctica de acumulación de conocimiento en el aula se podría explicar a partir de la relación de estos principios organizativos en secuencias representadas en una onda semántica.

En esta línea, se han realizado diversos estudios haciendo uso de la TCL como herramienta teórico-metodológica. Mouton y Archer (2019) utilizaron la TCL para dilucidar por qué los estudiantes que se desempeñaron relativamente bien en biología en la escuela secundaria tuvieron dificultades con la materia en el primer año. Esta investigación reveló que el plan de estudios de biología de la escuela secundaria está en un nivel completamente diferente al plan de estudios universitario. En términos de la dimensión semántica de TCL, el plan de estudios de secundaria mostró poco movimiento desde los significados más simples dependientes del contexto hacia los significados complejos relativamente descontextualizados que se encuentran con frecuencia en el primer año de biología.

Por otra parte, Dankenbring (2021), en su investigación, hace uso del TCL como marco analítico para crear perfiles semánticos de una unidad STEM integrada y de la implementación de lecciones STEM integradas por parte de profesores de secundaria. Específicamente, se analiza la gravedad semántica, o el grado en que el significado está arraigado dentro del contexto en el que se adquiere, para mapear e identificar patrones semánticos que pueden promover o restringir la creación de significado. Los resultados de estos estudios indican que la TCL puede ser una herramienta útil para desarrollar y examinar materiales curriculares STEM integrados, evaluar el discurso del profesor durante la implementación de lecciones STEM integradas, determinar cómo los profesores están integrando múltiples discursos disciplinarios e identificar áreas en las que los profesores pueden beneficiarse de un apoyo adicional a medida que aprenden a implementar STEM integradas.

Finalmente, Cranwell y Whiteside (2020) compararon la complejidad de las explicaciones habladas sobre la sustitución aromática electrofílica dentro de los contextos universitarios y secundarios del Reino Unido a través de una exposición o una presentación. Los hallazgos mostraron que, en todos los niveles de estudio investigados, la densidad semántica era más fuerte y se observaba en el lenguaje específico y abstracto utilizado por los siete participantes, independientemente de la audiencia.

En consecuencia, desde que se plantea la TCL como herramienta teórico-metodológica de naturaleza semántica para comprender cómo se construye el conocimiento a lo largo del tiempo, ha habido investigaciones que se han aplicado en una variedad de disciplinas como biología, química, historia, periodismo, enfermería, inglés y física (Blackie, 2014). Los focos de investigación de estos trabajos han sido diversos e incluyen, por ejemplo, el análisis de los discursos de docentes enseñando química, análisis de los informes de laboratorio escritos por los estudiantes de profesores o el análisis de las planificaciones de clase o lecciones de clase de docentes enseñando informática. Consideramos que aplicar esta herramienta teórico-metodológica para el análisis de las SEA diseñadas por los PCFI es una oportunidad para conocer qué tipo de lenguaje utilizan y cómo lo desarrollan en el diseño de sus actividades para promover la modelización en el proceso de enseñanza de la química.

### **Actividad científica escolar: una perspectiva cognitiva para la modelización**

Dada la gran diversidad de terminología y enfoques presentes, es importante situarnos con respecto a qué entenderemos por modelo y modelización en esta investigación. Por una parte, la idea de modelo que consideramos consiste en una construcción didáctica diseñada especialmente, teniendo en cuenta las finalidades educativas del currículo y las dificultades y capacidades de los estudiantes (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003; Gómez, 2005). Por otra parte, entendemos por modelización la acción de construir el significado de los fenómenos científicos. Esta actividad la llevan a cabo individuos en solitario o integrados en un grupo.

La modelización es importante para la enseñanza de las ciencias porque constituye un proceso que le permite al estudiante construir conocimiento científico útil para explicar los hechos o los fenómenos que le rodean. Pero, para que el estudiante elabore estas representaciones mentales, es fundamental que el docente, además de seleccionar, articular y organizar los saberes, elabore actividades en su SEA que

le permitan al estudiante construirlo. De esta manera, los modelos conceptuales se entienden como tramas de ideas abstractas organizadas y jerarquizadas que se construyen para comprender e intervenir en los fenómenos del mundo.

La construcción de este conocimiento desde la mirada de la TCL se realiza considerando dos ejes, la densidad y la gravedad semánticas, que se representan a través de la onda semántica. Para este estudio se consideran las bases teóricas de la TCL, pero adaptando las definiciones de gravedad y densidad semánticas a los dos conceptos de naturaleza cognitiva desarrollados para explicar la modelización científica: dimensiones cognitivas (Guidoni, 1985; Izquierdo, 2007) y niveles cognitivos de (Sensévy et al., 2008; Espinet et al., 2012). Creemos que estos dos conceptos constituyen los dos ejes que nos permitirán inferir el camino semántico que el PCFI ha planteado en su SEA.

### *El primer eje para la construcción del conocimiento: las dimensiones cognitivas*

Para adoptar una mirada de naturaleza cognitiva sobre la modelización en la enseñanza de las ciencias, nos basaremos en las dimensiones cognitivas desarrolladas por Izquierdo (2007) para estructurar la actividad científica escolar. La autora aplica los hallazgos de la ciencia cognitiva a la enseñanza de las ciencias e identifica tres dimensiones «independientes» del sistema cognitivo humano que conviene considerar de manera principal al enseñar para que se aprenda significativamente. Estas dimensiones incluyen, por un lado, pensar (mediante representaciones simbólicas o modelos mentales), actuar (adquirir experiencias significativas, personales sobre el mundo natural), y comunicar (utilizando convergentemente una diversidad de lenguajes o sistemas semióticos). Estas tres dimensiones cognitivas, si se trabajan de manera coordinada, permiten que se estructure una buena actividad científica escolar que se parece o es similar a la actividad de los científicos en su núcleo más irreducible y que correspondería a la capacidad de pensar el mundo con teorías.

Pero, para que un modelo sea perdurable, es necesario conectar las dimensiones cognitivas. Esto supone que las actividades han de promover transiciones entre las diferentes dimensiones. Estas transiciones cognitivas son de tres tipos (figura 2): a) la transición que conecta el pensamiento o representación mental con la acción (P-A); b) la transición que conecta la acción y el lenguaje (A-L) y finalmente c) la transición que conecta el lenguaje y el pensamiento (L-P). Sin embargo, en la conducta humana estas tres facetas no siempre se conectan adecuadamente y es necesario identificar las dificultades que puedan presentarse (Merino e Izquierdo, 2011).

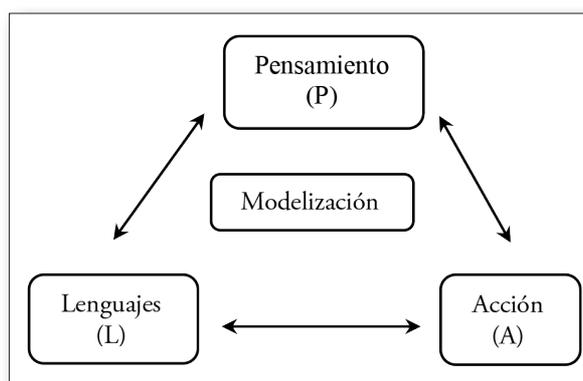


Fig. 2. Transiciones cognitivas entre el pensamiento, lenguaje y acción (adaptado de Merino e Izquierdo, 2011).

Cada aprendiz tiene diversas capacidades que se pueden presentar según las tres diferentes dimensiones cognitivas irreducibles una de la otra: el pensamiento, la acción y el lenguaje. Cuando la persona persigue una finalidad valiosa, se piensa sobre lo que se hace, se inventan los lenguajes adecuados a la nueva experiencia y se establece un consenso respecto a los que van a permitir comunicar, para continuar actuando, pensando, comunicando con éxito hasta alcanzar la meta. En caso contrario, cuando las preguntas no son las adecuadas, los lenguajes usados son aquellos que los científicos han inventado y que resultan ser desconocidos para los estudiantes, las teorías no tienen un significado experimental y los experimentos se llevan a cabo como si fueran una receta de cocina. Así, las tres dimensiones se vuelven absolutamente desconectadas.

En el presente trabajo nos proponemos enriquecer el concepto de densidad semántica a partir de la inclusión de las dimensiones cognitivas. En ambos conceptos se aborda la concentración de significados, pero desde la modelización consideramos que es necesario la interrelación entre estas dimensiones cognitivas para favorecer el aprendizaje. Así mismo, nos facilita la construcción de herramientas de análisis para identificar las acciones cognitivas que se promueven en las SEA diseñadas por los PCFI.

### *Segundo eje para la construcción del conocimiento: los niveles cognitivos*

La modelización según Sensevy et al. (2008) y Espinet et al. (2012) es planteada como una serie de relaciones sistemáticas que se desarrollan a través de la interacción entre dos mundos: a) el mundo de la experiencia, de los objetos y los acontecimientos del ámbito material (el experimental/concreto) y b) el mundo de los conceptos, los modelos y las teorías de las situaciones materiales estudiadas (el abstracto). Para el propósito de este estudio, entendemos la relación entre estos dos mundos como una transición entre los niveles cognitivos concreto y abstracto, que son los caracterizan una actividad que promueve la modelización diseñada por un PCFI. Este eje, que corresponde a los niveles cognitivos, se relaciona con el concepto propio de la TCL gravedad semántica, en cuanto a la dependencia o independencia del mundo concreto de la vida diaria con el mundo abstracto de los modelos teóricos. Como en el caso de las transiciones cognitivas asociadas a la densidad semántica, los niveles cognitivos nos aportan una concreción de la gravedad semántica al ámbito de la educación científica que promueve la modelización, de modo que enriquece el significado de dicho concepto semántico.

## **PREGUNTA Y OBJETIVOS**

La finalidad última de este trabajo consiste en la propuesta de una herramienta de naturaleza semántica y cognitiva para el análisis de las SEA de ciencias. Para ello se utilizarán los conceptos de naturaleza cognitiva como las dimensiones y los niveles cognitivos para representar los significados de modelización, así como también el concepto de onda semántica de naturaleza semántica para representar la evolución del conocimiento propuesto en una SEA. La pregunta de investigación de este trabajo es: ¿de qué manera las actividades de las SEAq diseñadas por el PCFI promueven la modelización? Los objetivos específicos que se abordan son los siguientes: a) caracterizar las actividades de las SEA mediante la identificación de las transiciones cognitivas que demandan y establecer perfiles de modelización y b) representar la trayectoria de construcción de significados de cada SEAq a través de las ondas semánticas e identificar los patrones semánticos comunes a todas ellas.

## METODOLOGÍA

El contexto de esta investigación lo constituye el máster de Formación del Profesorado de Educación Secundaria (MFPS) de la especialidad de Ciencias de Catalunya. Los documentos analizados están constituidos por las SEAQ en formato .pdf que diseñan los PCFI para posteriormente aplicarlas en los centros educativos en el contexto del prácticum. Las SEAQ fueron solicitadas a la persona coordinadora del prácticum de cada universidad, brindándonos el material sin la identidad de los y las autoras. Cinco son las universidades participantes que imparten el MFPS de Ciencias en la Catalunya: Universidad Autónoma de Barcelona, Universidad de Barcelona, Universidad de Girona, Universidad Pompeu Fabra y Universidad de Rovira y Virgili. La muestra quedó conformada por veinte SEAQ que corresponden al periodo comprendido entre 2015 y 2016 (tabla 1).

Tabla 1.  
Características de las veinte SEAQ de la muestra seleccionada

<i>Institución</i>	<i>N.º de SEAQ analizadas</i>	<i>Código de identificación</i>	<i>Nivel educativo</i>	<i>Tema</i>	<i>Título</i>
A	1	A1	3.º ESO	La materia	Conocer los elementos. Es elemental
B	6	B1	3.º ESO	Reacciones químicas	Química en acción
		B2	3.º ESO	Modelo atómico y radiactividad	El átomo
		B3	1.º Bachillerato	Reacciones químicas	Estudio de las reacciones químicas
		B4	4.º ESO	Modelo atómico	¿De qué está hecho todo?
		B5	2.º Bachillerato	Modelo atómico	Física nuclear
		B6	3.º ESO	La materia	Energía eléctrica
C	3	C1	3.º ESO	Reacciones químicas	Más allá de la química y de la física
		C2	3.º ESO	La materia	Sustancias puras y mezclas
		C3	1.º Bachillerato	La materia	Tabla periódica
D	5	D1	1.º ESO	Clasificación de la materia	La materia
		D2	3.º ESO	La materia	Sustancias puras y dilución
		D3	3.º ESO	Reacciones químicas	No mezcles eso
		D4	1.º Bachillerato	Leyes de los gases	Motos a gas
		D5	1.º Bachillerato	Modelo atómico	Los átomos
E	5	E1	2.º Bachillerato	Disoluciones	Clasificación de la materia. Las sustancias puras.
		E2	2.º Bachillerato	Reacciones químicas	Los cambios de energía en las reacciones químicas
		E3	3.º ESO	La materia	Los estados físicos
		E4	1.º Bachillerato	La materia	Enlace químico
		E5	3.º ESO	Reacciones químicas	Reacciones químicas

Se realizó un análisis de contenido (Krippendorff, 1990) de las SEAQ considerando la actividad como unidad de análisis. El primer análisis se centró en conocer las transiciones cognitivas de modelización que promueven cada una de las actividades de las veinte SEAQ de acuerdo con el sistema de categorías mostrado en la tabla 2.

Tabla 2.  
Transiciones cognitivas de modelización (adaptado de Merino e Izquierdo 2011).

<i>Transiciones cognitivas</i>	<i>Codificación</i>	<i>Supuesto teórico</i>
TC1 Pensamiento→Lenguaje	P→L	El docente en formación coloca al estudiante en situación para que, a partir de sus recursos, sus ideas y su modelo teórico, elabore una respuesta utilizando diferentes modalidades de lenguaje.
TC2 Lenguaje→Acción	L→A	El docente en formación diseña actividades donde utiliza un lenguaje científico, que le permita al estudiante diseñar algún proceso donde aplique lo aprendido y le permita introducirse y trabajar con el fenómeno en cuestión.
TC3 Acción→Pensamiento	A→P	El docente en formación coloca al estudiante en situación para que interactúe con los fenómenos y en paralelo ponga en práctica sus modelos teóricos escolares aprendidos.
TC4 Acción→Lenguaje	A→L	El docente en formación diseña, crea y elabora una actividad que selecciona aspectos de evocación para sondear los modelos explicativos de sus estudiantes. Entonces, la demanda de la tarea implica que el estudiante vaya desde el la acción (observación del fenómeno) al lenguaje, para dar a conocer qué sabe o lo que ha aprendido sobre los fenómenos evocados.
TC5 Pensamiento→Acción	P→A	El docente en formación plantea una actividad que utiliza el modelo teórico escolar para elaborar una acción.
TC6 Lenguaje→Pensamiento	L→P	El docente en formación diseña una actividad en la que, a partir de una narrativa, explica una situación o problema en particular. El estudiante buscará o pensará, a partir de sus modelos teóricos iniciales, una determinada respuesta.

Una vez identificadas las transiciones cognitivas presentes en cada actividad de las SEAQ se contabilizó la frecuencia que presentaba cada transición cognitiva y se representó en el triángulo de las transiciones cognitivas (TTC). La figura 3 muestra un ejemplo de TTC para el caso concreto de la SEA D1. Una vez contruidos los veinte TTC correspondientes a cada una de las SEAQ de la muestra, se procedió a agruparlos para obtener los perfiles de modelización. Para ello se tuvieron en cuenta dos criterios: grado de presencia de las dimensiones cognitivas conectadas y grado de bidireccionalidad de las transiciones cognitivas presentes en cada TTC.

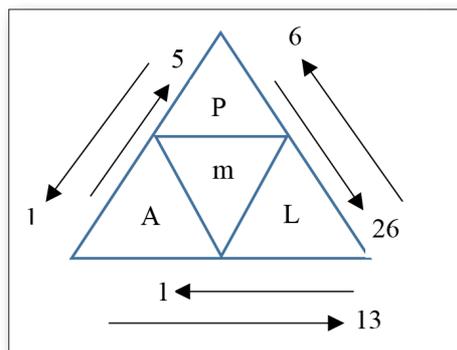


Fig. 3. Triángulo de transiciones cognitivas de modelización de la SEA D1. Clasificación de la materia.

El segundo análisis se centró, en primer lugar, en identificar los niveles cognitivos que proponen las actividades presentes en las SEAQ. El sistema de categorías utilizado incluye 5 niveles que conectan el

tránsito entre el mundo concreto [Cotidiano (N1) y Empírico (N2)] y el mundo abstracto [Conceptual (N3), Matemático (N4) y Teórico (N5)] que presentan las actividades (tabla 3).

Tabla 3.  
Niveles cognitivos de modelización (Moraga 2018)

Densidad Semántica	Nivel cognitivo		Definición	Ejemplos																							
<p style="text-align: center;">Alta</p> <p style="text-align: center;">Baja</p>	Nivel abstracto	Teórico (T)	5	<p>En este nivel, las actividades solicitan el uso de los <i>modelos teóricos</i> escolares para explicar los fenómenos a nivel microscópico.</p> <p>a) Tras calcular las densidades de cada líquido haz una predicción de lo que ocurrirá si los mezclamos. ¿Por qué crees que pasará esto? b) Si mezclamos los tres líquidos en un vaso de precipitados. Crees tú que el agua y el alcohol al tener densidades diferentes puede ser que se mezclen si los juntas muy bruscamente. Argumenta tu respuesta.</p>																							
		Matemático (M)	4	<p>Las actividades que se clasifican bajo este nivel son aquellas en las que se deben aplicar las expresiones matemáticas, leyes para obtener un dato que permita explicar un hecho.</p>	<p>Se hacen grupos de 3-4 alumnos. Cada grupo calcula la densidad de un líquido y, posteriormente, se ponen en común los resultados:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Propiedades</th> <th>Masa</th> <th>Volumen</th> <th>Densidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aceite</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Agua</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Alcohol</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Propiedades	Masa	Volumen	Densidad	Aceite				Agua				Alcohol									
		Propiedades	Masa	Volumen	Densidad																						
	Aceite																										
	Agua																										
	Alcohol																										
Conceptual (Cp)	3	<p>Se identifica cuando la actividad solicita la explicación de un proceso, en la cual el estudiante responde con un lenguaje técnico, pero a nivel macroscópico.</p>	<p>Los sólidos, los líquidos y los gases tienen varias características que los definen y los diferencian. Completa la siguiente tabla según las propiedades correspondientes a los sólidos, líquidos o gases:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Propiedades</th> <th>Sólido</th> <th>Líquido</th> <th>Gas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Volumen</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Forma</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Compresibilidad</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fácil de fluir</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Densidad</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Propiedades	Sólido	Líquido	Gas	Volumen				Forma				Compresibilidad				Fácil de fluir				Densidad			
Propiedades	Sólido	Líquido	Gas																								
Volumen																											
Forma																											
Compresibilidad																											
Fácil de fluir																											
Densidad																											
Nivel concreto	Empírico (E)	2	<p>Corresponde a aquella actividad experimental o práctica, en la cual el estudiante debe buscar una respuesta a partir de un proceso empírico.</p>	<p>En clase dispones de un conjunto de materiales que puedes utilizar para responder la siguiente tabla. Los materiales disponibles son los siguientes: piedra, agua, recipientes de formas diferentes, 3 jeringas</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Propiedades</th> <th>Sólido</th> <th>Líquido</th> <th>Gas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fácil de derramar</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fácil de aplastar</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Forma fija</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumen fijo</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Propiedades	Sólido	Líquido	Gas	Fácil de derramar				Fácil de aplastar				Forma fija				Volumen fijo						
	Propiedades	Sólido	Líquido	Gas																							
Fácil de derramar																											
Fácil de aplastar																											
Forma fija																											
Volumen fijo																											
Cotidiano (Cr)	1	<p>Se identifica cuando las preguntas de una actividad son más bien de corte general, familiar, acerca de un proceso de la naturaleza, un fenómeno particular.</p>	<p>Describe qué está pasando en cada una de las siguientes imágenes</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> </div>																								

Al identificar las transiciones cognitivas y al distribuirlas a través de los niveles cognitivos de acuerdo con lo que la actividad nos señala, logramos construir una matriz de modelización, que nos permitió vaciar los datos obtenidos y visualizar la propuesta de construcción del conocimiento. La tabla 4 nos muestra un ejemplo de la matriz de modelización de la SEAg D1, que se construye a partir de la relación entre los niveles y las transiciones cognitivas distribuidas secuencialmente. Esta SEAg tiene por título «La materia», está dirigida a estudiantes de educación secundaria de catorce años y su diseño incluye diecisiete actividades organizadas según el ciclo de aprendizaje de Jorba y Sanmartí (1996).

Tabla 4.  
Ejemplo de matriz de modelización correspondiente a la SEAg D1. Clasificación de la materia.

Actividades		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	
Fases ciclo aprendizaje		Exploración	Introducción												Síntesis	Aplicación			
Modelización	Abstracto	Teórico				P-L	L-P P-L		A-L P-L	P-L	P-L	P-L A-L	P-L	P-L	P-L		P-A P-A A-L L-A	A-L P-L	
		Matemático					L-P P-L											L-P A-L P-L	
		Conceptual			P-L	P-L	L-P P-L				A-L	A-L		P-L A-P	A-P P-L		P-L A-L		
	Concreto	Empírico			P-L A-P		A-P A-L							A-P	A-L P-L		A-L	P-L L-P	
Cotidiano		P-L	L-P P-L					P-L									A-L P-L		

A partir de esta tabla se pudo construir la onda semántica basada en la propuesta de Maton (2011) al relacionar los niveles y las transiciones cognitivas de cada actividad de la SEAg, lo que a su vez permitió visualizar la evolución teórica de la modelización propuesta por los PCFI. Los niveles cognitivos –concreto, empírico, conceptual, matemático y teórico– se han representado con los numerales 1, 2, 3, 4 y 5 en el eje vertical del gráfico. El eje horizontal del gráfico lo constituye la secuencia de las actividades tal como fueron sugeridas en la SEA atendiendo a las fases del ciclo de aprendizaje (1.ª Fase de exploración, 2.ª Fase de introducción, 3.ª Fase de síntesis y 4.ª Fase de aplicación). Las diferentes transiciones cognitivas se representan con un punto y con un color característico.

Una vez las ondas semánticas de todas las SEAg fueron representadas se procedió a identificar patrones semánticos comunes a todas ellas. Entendemos por patrón semántico un segmento de la

onda semántica que delimita un proceso de modelización y que está constituido por unas transiciones cognitivas en una forma determinada. La figura 4 muestra la onda y los patrones semánticos correspondientes a la SEAq D1.

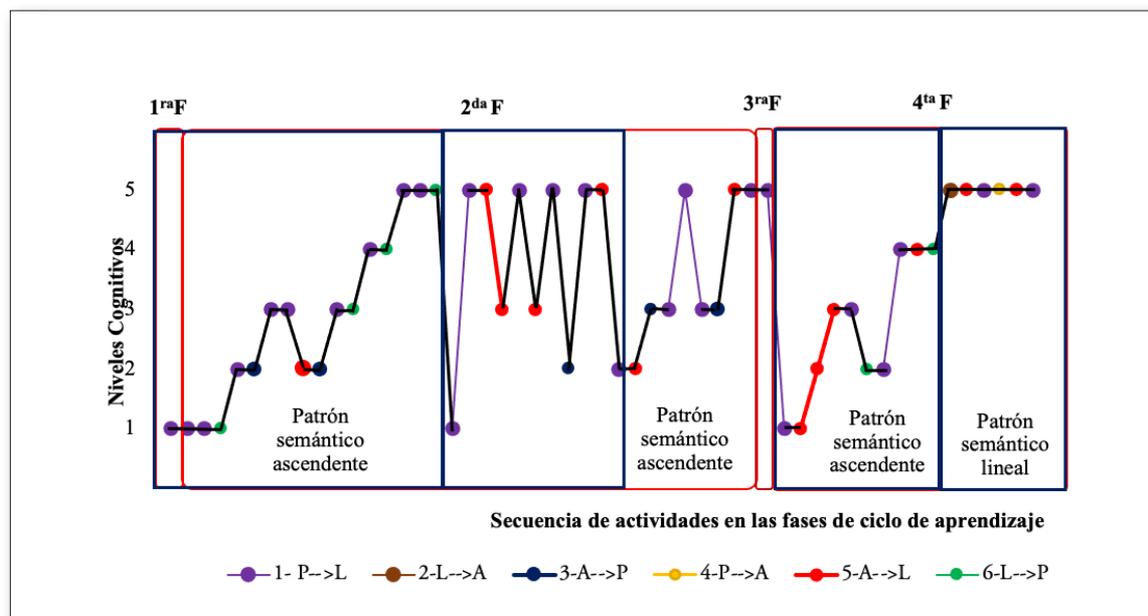


Fig. 4. Onda y patrones semánticos de la SEAq D1. Clasificación de la materia.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Transiciones cognitivas y perfiles de modelización de las secuencias didácticas

A partir de la agrupación de los veinte TTC según los criterios de presencia de dimensiones cognitivas conectadas y bidireccionalidad de las transiciones cognitivas se han podido identificar tres perfiles de modelización, representados en la tabla 5. Estos perfiles pueden considerarse como niveles de modelización de una SEA en tanto que como más dimensiones cognitivas estén conectadas y más bidireccionales sean las transiciones, mayor serán las oportunidades que una SEA ofrece al estudiantado para la construcción de MTE.

El primer nivel corresponde al perfil de modelización parcializado y lo constituyen el 25 % (n=5) de las SEAq analizadas y presentan actividades que no conectan algunas de las dimensiones cognitivas, especialmente las relacionadas con la acción. Ello significa que los PCFI generan demandas cognitivas en donde solo se limitan a que el estudiante recuerde y responda a preguntas, ya sea desde sus conocimientos previos o de los conocimientos adquiridos en el aula. Este tipo de actividades, de acuerdo con García y Moreno (2019), en muchas ocasiones se abordan desde la teoría y poco desde la práctica, de modo que se deja de lado la experimentación y, con ello, el desarrollo de las destrezas procedimentales necesarias para la comprensión y el abordaje de las ciencias naturales.

Tabla 5.  
Perfiles de modelización de las veinte SEAQ

	<i>Perfil de modelización parcializado</i>	<i>Perfil de modelización unidireccional</i>	<i>Perfil de modelización bidireccional</i>
Descripción del perfil de modelización	Este perfil está compuesto por aquellas SEA que consideran entre uno y cuatro tipos de TC diferentes que no conectan todas las dimensiones cognitivas al diseñar sus actividades. En el ejemplo se han identificado las TC del tipo [P-L y L-P] y A-P.	Este perfil está conformado por aquellas SEA donde se consideran entre tres y cuatro tipos diferentes de TC y se conectan las tres dimensiones cognitivas. Ello supone que las TC son mayoritariamente unidireccionales. En el ejemplo se han identificado transiciones cognitivas del tipo [P-L y L-P]; L-A y A-P.	Este perfil lo constituyen aquellas SEA donde se activan de cinco a seis tipos diferentes de TC mayoritariamente bidireccionales. En el ejemplo se han identificado TC del tipo [P-L y L-P], [A-L y L-A] y [A-P y P-A].
Ejemplo	<p>Perfil de Modelización Parcializado (4.º ESO, SEA B4)</p>	<p>Perfil de Modelización Unidireccional (3.º ESO, SEA B2)</p>	<p>Perfil de Modelización Bidireccional (1.º ESO, SEA D1)</p>
%	25 % (n=5)	30 % (n=6)	45 % (n=9)

El segundo nivel corresponde al perfil de modelización unidireccional, y lo constituyen el 30 % (n=6) de las SEAQ analizadas. Las SEAQ de este perfil incluyen actividades cuyas demandas cognitivas conectan la acción con el pensamiento y el lenguaje, pero de manera unidireccional en su mayoría. La única bidireccionalidad presente en estas SEAQ son las que relacionan el pensamiento con el lenguaje. Esto implica que los PCFI no trabajan de manera coordinada las seis transiciones cognitivas, lo que se infiere de que faltan acciones cognitivas para que el estudiante pueda construir un modelo desarrollando sus habilidades científicas.

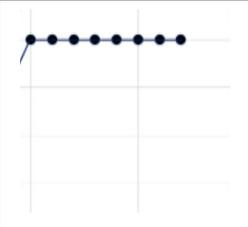
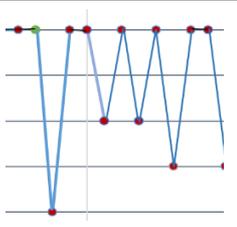
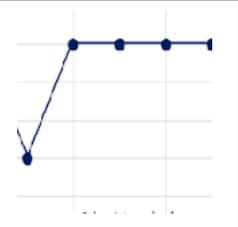
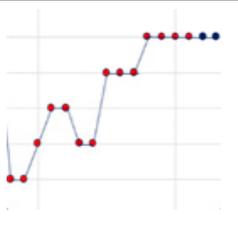
El tercer nivel corresponde al perfil de modelización bidireccional, y lo constituyen el 45 % (n=9) de las SEAQ analizadas. En este nivel los PCFI están diseñando actividades donde hay una conexión entre las dimensiones cognitivas que permiten al estudiante pensar, realizar una acción y finalmente comunicar sus hallazgos a través del lenguaje. De acuerdo con García (2009), los PCFI aportan elementos al estudiante para estar en constante reflexión sobre el fenómeno abordado a través del experimento. Toda actividad en la cual se pida vincular el pensar, el hacer y el comunicar apoyará al estudiante a construir explicaciones sobre un sistema de hechos, construyendo su MTE (Izquierdo 2007).

Si consideramos el nivel parcial y el nivel unidireccional, nos encontramos que un 55 % (n=11) de los PCFI incluyen demandas cognitivas o actividades que no tienden a la promoción de la modelización de manera completa. Esto nos lleva a coincidir con lo que señalan Banilower et al. (2013) y Whittington y Tekkumru-Kkisa (2020) cuando indican que los PCFI muestran una falta de habilidad para seleccionar tareas de aprendizaje o demandas que ofrezcan oportunidades ricas para promover en los estudiantes el análisis, la reflexión, o el pensamiento crítico conectado con la intervención ante los fenómenos naturales.

## Ondas y patrones semánticos de las SEA diseñadas por los profesores de ciencias en formación inicial

Los resultados correspondientes al segundo objetivo, representar la trayectoria de construcción de significado de cada SEAq a través de las ondas semánticas e identificar los patrones semánticos comunes a todas ellas, se recogen en la tabla 6 y la tabla 7. A partir de la comparación de las ondas semánticas de las veinte SEAq ha sido posible identificar cuatro tipos de patrones semánticos: el lineal, el zigzag, el mixto y el ascendente (tabla 6). Los patrones más frecuentes del total de 152 instancias identificadas en la SEAq de la muestra son el zigzag y el lineal con una frecuencia de 44 (29 %) cada uno, prosiguiendo el patrón ascendente con una frecuencia de 36 (24 %) y finalizando con el patrón mixto con una frecuencia de 28 (18 %).

Tabla 6.  
Patrones semánticos (PS) identificados en las ondas semánticas de las veinte SEAq.

	<i>Patrón Lineal</i>	<i>Patrón Zigzag</i>	<i>Patrón Mixto</i>	<i>Patrón Ascendente</i>
Patrón semántico				
Definición de la onda	La secuencia de TC de este PS se mantiene en un nivel cognitivo determinado. Este PS se encuentra mayoritariamente situado al nivel cognitivo Abstracto (conceptual, matemático o teórico).	La secuencia de TC de este PS se caracteriza por conectar de manera continuada y sinusoidal los niveles cognitivos concretos y abstractos.	La secuencia de TC de este PS consiste en la transición de un nivel a otro. Se puede entender como la combinación resultante del ascendente y lineal.	La secuencia de TC de este PS evoluciona desde un nivel cognitivo concreto a un nivel abstracto, es decir, emigra desde el mundo real al mundo de las ideas.
Frecuencia % (N=152)	44 (29 %)	44 (29 %)	28 (18 %)	36 (24 %)

Al analizar los patrones semánticos de cada SEAq según la fase del ciclo de aprendizaje en la que se encuentran hemos podido identificar la frecuencia correspondiente a cada una de ellas (tabla 7).

Tabla 7.

Frecuencia de los patrones semánticos de las veinte SEAQ por cada fase del ciclo de aprendizaje.

<i>Patrón/Fases</i>	<i>Exploración</i>	<i>Introducción</i>	<i>Síntesis</i>	<i>Aplicación</i>	<i>Total</i>
P. Lineal	18 % (n=4)	21 % (n=18)	<b>39 % (n=7)</b>	54 % (n=15)	29 % (n=44)
P. Zigzag	23 % (n=5)	<b>36 % (n=30)</b>	28 % (n=5)	14 % (n=4)	29 % (n=44)
P. Mixto	<b>41 % (n=9)</b>	14 % (n=12)	28 % (n=5)	7 % (n=2)	18 % (n=28)
P. Ascendente	18 % (n=4)	29 % (n=24)	5 % (n=1)	25 % (n=7)	24 % (n=36)
Total	100 % (n=22)	100 % (n=84)	100 % (n=18)	100 % (n=28)	100 % (n=152)

### *Patrón semántico lineal*

Las actividades de las SEAQ diseñadas por los PCFI utilizan patrones semánticos de tipo lineal en todas las fases del ciclo de aprendizaje. Sin embargo, su utilización es mayoritaria en las fases de introducción (n=18) y de aplicación (n=15) del ciclo de aprendizaje (tabla 7). Este patrón se caracteriza por proponer transiciones cognitivas de un mismo nivel cognitivo y generalmente situadas en los niveles abstractos. Un ejemplo lo constituye la SEA D3 (p. 30) de 1.º de la ESO «No mezcles eso», donde se estudian las reacciones químicas. En la fase de aplicación:

Los alumnos se encontrarán sentados en sus lugares habituales y resolverán los problemas de forma individual, por ejemplo, *El carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3(s)$ , se calienta a altas temperaturas y se obtienen óxido de calcio,  $\text{CaO}(s)$  y dióxido de carbono. a. ¿Qué tipo de reacción es? b. Escribe la ecuación química y equilibrala, después lo comentarán por parejas y finalmente en grupos de 4-5 alumnos.*

Los estudiantes, durante la fase de aplicación, realizan ejercicios que carecen de conexión con el contexto de la SEAQ. Estos ejercicios se desarrollan a un nivel puramente teórico, aplicando los conceptos trabajados de manera aislada. En este sentido, el PCFI, diseña actividades que colocan al estudiante exclusivamente en el ámbito teórico a lo largo de toda la sesión, dando lugar a un patrón lineal.

### *Patrón semántico en zig-zag*

Se han podido identificar patrones semánticos de tipo zigzag en todas las fases del ciclo de aprendizaje de las SEAQ analizadas, pero su frecuencia es absolutamente mayoritaria en la fase de introducción (n=30) del ciclo de aprendizaje (tabla 7). Este patrón se caracteriza por transiciones alternadas entre los diferentes niveles cognitivos, generalmente asociados al mundo abstracto. Un ejemplo del patrón en zigzag se encuentra en la SEA B1 de 3.º de la ESO, denominada «Química en Acción», la cual aborda diversos tipos de reacciones químicas como redox, ácido-base, combustión y cinética química.

La SEAQ comienza en la página 17 con una imagen impactante de una bicicleta oxidada, seguida de la pregunta a los estudiantes sobre lo que le ocurrió a la bicicleta. El PCFI destaca que esta observación se realiza a nivel macroscópico, visible a simple vista, pero, al tratarse de una clase de química, se explorará y explicará el fenómeno a nivel submicroscópico (átomos y moléculas). A continuación, y ya en la fase de introducción, plantea otra pregunta clave: *¿de dónde proviene el oxígeno que causó la oxidación de la bicicleta?* El PCFI procede a explicar, utilizando un lenguaje teórico, el comportamiento del hierro y el oxígeno en la reacción química (p. 18). Luego, refuerza la comprensión mediante la presentación de un video que ilustra el fenómeno de la reacción de los metales alcalinos con el agua, seguido de la escritura de las ecuaciones correspondientes en la pizarra.

Esta demanda cognitiva diseñada por el PCFI implica situar a los estudiantes en un nivel concreto cada vez que inicia la explicación de un proceso, para evaluar su conocimiento previo y, a partir de ahí,

guiarlos hacia el nivel teórico. Este patrón se repite de manera consistente en la fase de introducción, generando un proceso de enseñanza que se asemeja a un patrón zigzagueante, donde se alternan niveles concretos y teóricos para potenciar la comprensión y el aprendizaje de los estudiantes.

### *Patrón semántico mixto*

Este patrón, como ocurre con los otros tipos, se encuentra presente en todas las fases del ciclo de aprendizaje de las SEAQ que constituye la muestra, aunque es más frecuente en las fases de exploración (n=9) e introducción (n=12) del ciclo de aprendizaje (tabla 7). El patrón semántico mixto se caracteriza por conectar dos niveles diferentes y proponer así un salto sin pasar por todos los niveles cognitivos. Aunque las actividades plantean situaciones concretas, estas sirven de pretexto para trabajar de manera regular en cuestiones de naturaleza abstracta, sean conceptuales, matemáticas o teóricas.

Un ejemplo claro de este enfoque se encuentra en la SEAQ E3 de 3.º ESO, titulada «Los estados físicos», que se centra en el estudio de la materia. El PCFI inicia la clase con una sesión de puesta en común, explorando los conocimientos previos de los alumnos sobre el concepto de gas, su medición y su comportamiento en situaciones cotidianas. Posteriormente, se lleva a cabo una revisión de las unidades de medida de la temperatura y la presión, seguida de la realización de ejercicios prácticos que implican conversiones de unidades (p. 3).

El nivel cognitivo desarrollada por el PCFI se despliega de manera estratégica. En una primera etapa, sitúa al estudiante en un nivel concreto, brindándole la oportunidad de establecer una conexión con el fenómeno estudiado mediante la exploración de sus conocimientos previos. Posteriormente, el enfoque se desplaza hacia la consideración de las variables discutidas en clase, lo que facilita la realización de ejercicios fundamentados en la ley de los gases a un nivel teórico. No obstante, este proceso dibuja un patrón mixto, ya que parte inicialmente desde un nivel concreto para luego realizar un salto abrupto hacia el ámbito matemático y mantenerse en ese nivel en todo lo que dura la sesión.

### *Patrón semántico ascendente*

Se han podido identificar patrones semánticos de tipo ascendente en todas las fases del ciclo de aprendizaje de las SEAQ analizadas, pero su frecuencia es absolutamente mayoritaria en la fase de introducción (n=24) del ciclo de aprendizaje (tabla 7). El patrón semántico ascendente se caracteriza por conectar el mundo de lo concreto con el mundo de la abstracción a través de diferentes niveles cognitivos. Las actividades promueven trayectorias de construcción del conocimiento a partir de situaciones o conceptos de naturaleza cotidiana, para luego descontextualizarlas gradualmente y llegar al nivel más abstracto. Estas transiciones entre el mundo concreto y el abstracto, de acuerdo con lo que señala Aragón-Méndez y Oliva (2020), permiten que los estudiantes se impliquen en la reconstrucción de sus modelos. Para ello se plantean el modelo inicial, luego hacen su revisión y validación mediante su aplicación a diversas situaciones y la formulación del modelo consensuado y validado. Entendemos que, de esta forma, se pone en situación a los estudiantes y las estudiantes para construir modelos, trabajar sobre ellos y aprender acerca de su naturaleza.

Un caso ilustrativo es la SEA D2 de 3.º ESO, titulada «Sustancias puras y dilución». El PCFI plantea una interrogante a sus estudiantes (p. 19)

*Si al ducharte o lavar los platos utilizas agua caliente, ¿qué sucederá con las sustancias que se disuelven? ¿Crees que la temperatura afectará su solubilidad? Reflexiona sobre esto durante el fin de semana y elabora tu hipótesis o posible solución a la pregunta de investigación. El lunes nos dirigiremos al laboratorio para que compruebes tu hipótesis, donde los estudiantes deben diseñar su propuesta y luego presentar un informe que abarque los aspectos clave: objetivo, hipótesis, materiales, procedimiento, resultados y conclusiones, gra-*

*ficando el comportamiento de la solubilidad de un sólido versus temperatura* (p 21), como se explica en el dossier proporcionado por el PCFI.

Después de realizar el experimento, surge una nueva pregunta (p. 22): «Si tenemos una bebida gaseosa, donde el soluto es un gas en lugar de un sólido, ¿ocurrirá lo mismo al aumentar la temperatura? ¿Por qué? (p. 22). ¿Cómo será el nuevo gráfico?».

El PCFI diseña demandas cognitivas que guían al estudiante desde un nivel concreto, situándolo en el fenómeno y explorando sus ideas previas, hasta plantear un desafío que implica diseñar un protocolo experimental para resolver el problema. Los estudiantes obtienen datos que luego plasman en gráficos, argumentando sus respuestas y relacionándolas con el modelo teórico. Este proceso hace que el estudiante transite por cada eslabón del mundo concreto (cotidiano y empírico) al mundo abstracto (conceptual, matemático y teórico). La presentación de una nueva interrogante hace que el estudiante recorra nuevamente cada uno de estos niveles cognitivos, creando así un patrón ascendente cada vez que inicie un nuevo proceso de enseñanza.

## CONCLUSIONES

El presente estudio se planteó responder a la pregunta: ¿de qué manera las actividades presentes en las SEAQ diseñadas por PCFI promueven la modelización? Esta pregunta orientó un proceso de análisis de contenido de textos didácticos con la finalidad de identificar las dificultades a las que se enfrentan los PCFI al diseñar trayectorias de aprendizaje. La mirada utilizada para este análisis ha supuesto la utilización de dos referentes teóricos diferentes pero complementarios. Por un lado, la teoría de los códigos de legitimización nos ha permitido imaginar una SEA como una trayectoria de construcción de conocimiento (onda semántica) que pivota entre la concreción y la abstracción. El potencial más importante para este estudio ha sido la idea de los patrones semánticos que han dotado de nuevo significado la secuencia de actividades. Sin embargo, ha sido necesario completar esta mirada con las contribuciones del marco teórico de la actividad científica escolar a través de los conceptos de dimensiones, transiciones y niveles cognitivos propios de la modelización en ciencias. El resultado ha sido la creación de una herramienta teórico-metodológica que puede utilizarse tanto en investigación como en formación de profesores de ciencias para analizar SEA, tanto de química como de ciencias en general. El hecho de que la investigación no se haya centrado en una SEA que trabaja un MTE concreto de química facilita la transferencia de la herramienta generada.

Los resultados relacionados con cada uno de los dos objetivos de esta investigación nos permiten apuntar a algunas dificultades que muestran tener los PCFI al diseñar SEAQ que potencien la modelización científica. En relación con el primer objetivo hemos podido identificar que las actividades que componen las SEAQ diseñadas por los PCFI proponen movilizar las transiciones entre las tres dimensiones cognitivas propias de la modelización como el pensamiento (P), el lenguaje (L) y la acción (A). Sin embargo, sus propuestas privilegian en exceso el pensamiento y el lenguaje en detrimento de la acción, y las transiciones cognitivas son poco bidireccionales. El análisis de las maneras diferentes de conectar estas dimensiones por parte de los PCFI nos ha permitido identificar tres perfiles de modelización concebidos como niveles de modelización de una secuencia didáctica entendidos como una progresión.

En relación con el segundo objetivo hemos podido articular una mirada global y a la vez micro de como representar la tensión entre el mundo concreto y el abstracto que subyace en las SEAQ diseñadas por los PCFI. Las secuencias didácticas pueden así considerarse como agrupaciones secuenciadas de patrones semánticos (lineal, mixto, zigzag, ascendente) que actúan como unidades básicas de significado proponiendo la conexión entre el mundo concreto y abstracto en la construcción del conocimiento.

Los PCFI diseñan SEAr que privilegian los niveles cognitivos abstractos en exceso, y evidencian tener dificultades para introducir patrones semánticos que conecten de forma más gradual el mundo concreto con el abstracto propios de la modelización.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación se ha financiado parcialmente por el Ministerio de Ciencia e Innovación (PID2022-138166NB-C22b) y se ha realizado dentro del grupo de investigación SGR ACELEC, ref.2021 SGR 00647 como también al proyecto UPA 19101 de la Universidad de Playa Ancha-Chile.

## REFERENCIAS

- Aragón-Méndez, M. M. y Oliva, J. M. (2020). Relación entre la competencia de pensamiento analógico y la competencia de modelización en torno al cambio químico. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 15(1), 83-100.  
<http://doi.org/10.14483/23464712.14441>
- Banilower, E. R., Smith, P. S., Weiss, I. R., Malzahn, K. A., Campbell, K. M. y Weis, A. M. (2013). *Report of the 2012 national survey of science and mathematics education*. Horizon Research, Inc.
- Blackie, M. A. (2014). Creating semantic waves: Using Legitimation Code Theory as a tool to aid the teaching of chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 462-469.  
<https://doi.org/10.1039/C4RP00147H>
- Cranwell, P. B. y Whiteside, K. L. (2020). Investigation into the semantic density and semantic gravity wave profile of teachers when discussing electrophilic aromatic substitution (SEAr). *Journal of chemical education*, 97(10), 3540-3550.  
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c0057>
- Dankenbring, C. A. (2021). Legitimation Code Theory as an Analytical Tool for Examining Discourse Within Integrated STEM Education [Tesis doctoral, Universidad de Purdue].  
<https://doi.org/10.25394/pgs.15082461.v1>
- Couso, D. (2011). Las secuencias didácticas en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias: Modelos para su diseño y validación. En A. Caamaño (Coord.), *Didáctica de la física y química* (pp. 57-74). Graó.
- Couso, D., Márquez, C. (2023) (Eds.). *Pensar críticament a l'aula de ciències: Activitats competencials per a estudiants de secundària*. Graó.
- Espinet, M., Izquierdo, M., Bonil, J., y Ramos de Robles, L. (2012). The role of language in modeling the natural world: Perspectives in science education. En B. Fraser, K. Tobin, C. McRobbie (Eds.), *Second international handbook of science education*, V24 (pp.1385-1403). Springer Dordrecht.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7\\_89](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_89)
- European Commission (2013). *Supporting Teacher Competence Development for Better Learning Outcomes*. European Commission Education and Training UE.
- European Commission (2015). *Science education for responsible citizens*. European Union.  
<https://doi.org/10.2777/12626>
- Flores, M. A. (2016). Teacher Education Curriculum. En J. Loughran y M. L. Hamilton (Eds.), *International Handbook of Teacher Education* (pp.187-230). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-10-0366-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-10-0366-0_5)
- García, E. (2009). *Historia de las ciencias en textos para la enseñanza*. Editorial Universidad del Valle.

- Gómez, A. A. (2005). La construcción de un modelo de ser vivo en la escuela primaria: una visión escolar [Tesis Doctoral. Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona]. Bellaterra.
- Guidoni, P. (1985). On natural thinking. *European Journal of Science Education*, 7(2), 133-140. <https://doi.org/10.1080/0140528850070204>
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las ciencias sociales*, 6, 125-138.
- Izquierdo, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Science & Education*, 12, 27-43.
- Jorba, J. y Sanmartí, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua: Propuestas didácticas para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas*. Ministerio de Educación.
- Jones, M. G. y Leagon, M. (2014). Science teacher attitudes and beliefs. En N. G. Lederman y S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education* (Vol. II, pp. 830-847). Routledge.
- John, P. (2006). Lesson planning and the student teacher: Re-thinking the dominant model. *Journal of Curriculum Studies*, 38(4), 483-498. <https://doi.org/10.1080/00220270500363620>
- Jorba, J. y Sanmartí, N. (1996). Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua: Propuestas didácticas para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas. Ministerio de Educación.
- Karlström, M. y Hamza, K. (2021) How Do We Teach Planning to Preservice Teachers. A Tentative Model. *Journal of Science Teacher Education*, 32(6), 664-685. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2021.1875163>
- Krippendorff, K. (1990). *Metodología de análisis de contenido. Teoría y Práctica*. Paidós.
- Martin, J. R.; Maton, K. y Doran, Y. J. (Eds.). (2020). *Accessing Academic Discourse: Systemic Functional Linguistics and Legitimation Code Theory*. Routledge.
- Maton, K. (2011). *Theories and things: The semantics of disciplinarily*. En F. Christie y K. Maton (Eds.), *Disciplinarily: Functional linguistic and sociological perspectives* (pp. 62-89). Continuum.
- Maton, K. (2013b). Making semantic waves: a key to cumulative knowledge-building, *Linguistics and Education*, 24(1), 8-22. <https://doi.org/10.1016/j.linged.2012.11.005>
- Maton, K. (2014). *Knowledge and knowers: towards a realist sociology of education*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203885734>
- Merino, C. y Izquierdo, M. (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación Química*. 22(3), 212-223. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30137-X](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30137-X)
- Moraga, S. (2018). El contexto y la modelización en la enseñanza de la química: Análisis de las secuencias de enseñanza y aprendizaje diseñadas por el profesorado de ciencias de educación secundaria en formación inicial [Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona].
- Mouton, M. y Archer, E. (2019). Legitimation code theory to facilitate transition from high school to first-year biology. *Journal of Biological Education*, 53(1), 2-20. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1420681>
- OCDE (2011a): Organisation for European Economic Cooperation. [http://www.oecd.org/document/t/48/0,3343,en\\_2649\\_201185\\_1876912\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/t/48/0,3343,en_2649_201185_1876912_1_1_1_1,00.html)
- Rodríguez Mora, F. y Blanco López, A. (2021). Diseño de una secuencia de enseñanza aprendizaje para el desarrollo de competencias científicas en el contexto del consumo de agua envasada. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1803. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2021.v18.i1.1803](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1803)

- Sensévy G., Tiberghien A., Santini J., Laubé S. y Griggs P. (2008). An epistemological approach to modeling: Cases Study and implications for science teaching. *Science Education*, 92(3), 424-446.  
<https://doi.org/10.1002/sce.20268>
- Tekkumru-Kisa, M., Stein, M. K., y Schunn, C. (2015). A framework for analyzing cognitive demand and content-practices integration: Task analysis guide in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(5), 659-685.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21208>
- Toma, R. B., Greca, I. M., y Meneses-Villagrà, J. A. (2017). Dificultades de maestros en formación inicial para diseñar unidades didácticas usando la metodología de indagación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 442-457. <http://hdl.handle.net/10498/19228>  
[https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2017.v14.i2.11](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.11)
- Vílchez González, J. M. y Perales Palacios, F. J. (2017). El diseño de unidades didácticas en la formación inicial de profesores de ciencias: validación de una rúbrica. *Perspectiva Educacional*, 57(1), 70-98.  
<http://dx.doi.org/10.4151/07189729-vol.57-iss.1-art.642>
- Waite, J., Maton, K., Curzon, P. y Tuttiett, L. (2019). Unplugged computing and semantic waves: Analysing crazy characters. En, *Proceedings of the 2019 Conference on United Kingdom & Ireland Computing Education Research* (pp. 1-7).  
<https://doi.org/10.1145/3351287.3351291>
- Whittington, K. y Tekkumru-Kisa, M. (2020): Pre-service Science Teachers as Curriculum Designers: Learning Opportunities Afforded in Task Selection, *Journal of Science Teacher Education*, 31(5), 537-555.  
<https://doi.org/10.1080/1046560X.2020.1728952>

---

# Semantic and Cognitive Analysis of Didactic Sequences for Modeling

Sylvia Moraga-Toledo

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad de Playa Ancha Valparaíso, Chile.

sylvia.moraga@upla.cl

Mariona Espinet-Blanch

Departamento de Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales.

Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, España.

mariona.espinet@uab.cat

Teachers are key actors in educational change, and it is imperative that they respond to the new challenges and requirements of the knowledge society through their participation in the educational reforms which promote the development of critical thinking and the construction of scientific literacy among students. One way to confront these challenges is by providing training to pre-service science teachers (PSSTs) in the design of teaching and learning sequences (TLSs), since this task represents a valuable opportunity for theoretical-practical reflection.

The research presented here tried to address the following question: How do the activities within the TLSs designed by PSSTs promote modeling? To answer this, the trajectories of knowledge construction emerging from 20 chemistry teaching and learning sequences (TLScs) designed by PSSTs as part of their practicum in secondary schools from five universities in Catalonia were analyzed. The analysis was oriented by two complementary theoretical frameworks: the legitimation code theory and the school scientific activity, more specifically, in relation to the dimensions, cognitive transitions, and cognitive levels associated with modeling in science learning.

In particular, we aimed to explore the potential of a theoretical lens, the legitimation code theory (LCT) (Maton, 2011), to shed light on the difficulties that PSSTs face when designing TLCs, the type of language they use, and how they promote the construction of meaning and knowledge through scientific modeling in the secondary school classroom.

From the perspective of LCT, knowledge building is carried out considering two axes, semantic density and semantic gravity, which are represented through the semantic wave. In this sense, it is proposed to enrich semantic density with the cognitive dimensions of thought (mental representations), action (meaningful experiences), and communication (languages) coming from the perspective of SSA, as both theories deal with the concentration of meanings. Likewise, we suggest relating concrete and abstract cognitive levels to semantic gravity. This would provide concreteness to these theoretical concepts for the analysis of modeling in science teaching. We believe that these two concepts, semantic density and semantic gravity, constitute the two axes that will allow us to infer the semantic path that PSSTs have proposed in their TLSs.

The combination of these two approaches led to the creation of a theoretical-methodological tool, applicable both in research and in the training of science teachers, which allows the analysis of TLSs, both in chemistry and in general science.

The results of this research revealed certain difficulties experienced by PSSTs in the design of TLSs, especially regarding the promotion of scientific modeling. The activities proposed by PSSTs tend to emphasize thought and language over action, and cognitive transitions are mostly unidirectional. The analysis led to the identification of three modeling profiles, conceived as levels of modeling didactic sequences, which help make progress in understanding the development of modeling within a didactic sequence.

Additionally, it was observed that TLSs designed by PSSTs tend to privilege abstract cognitive levels to the detriment of the gradual connection between the concrete and abstract world, an essential characteristic of scientific modeling. Didactic sequences were conceptualized as sequenced sets of semantic patterns (linear, mixed, zigzag, ascending), which act as basic units of meaning, facilitating the connection between both realms. However, it was evidenced that PSSTs face difficulties when introducing semantic patterns that facilitate this gradual transition.



# Discusiones y argumentación en la enseñanza de las ciencias: prácticas y desafíos docentes

## Discussions and Argumentation in Science Teaching: Teaching Practices and Challenges

Florencia Gómez Zaccarelli, Natalia Cándido Vendrasco, Victoria Arriagada Jofré  
*Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.*  
fgomezz@uc.cl, natalia.candido@uc.cl, vparriagada@uc.cl

**RESUMEN** • Las discusiones científicas en aulas escolares a escala global son recientes y escasas, donde la enseñanza presenta patrones poco productivos de interrogación-respuesta-evaluación. Saber qué puede facilitar discusiones y argumentación en las aulas de ciencias es de alta relevancia. Este estudio revisa sistemáticamente la literatura y encuentra que dichas prácticas tienen propósitos dialógicos/interactivos, asignan papeles y especifican estructuras de participación, discursos y prácticas docentes. Los estudios también identifican desafíos para la facilitación de discusiones científicas en el currículo, la formación y las creencias docentes. Se sugieren, entre otras, implicaciones para la formación docente, inicial y continua, como la inclusión explícita de la argumentación científica y fortalecimiento dicitplinar en ciencias, trabajando también sobre sus creencias.

**PALABRAS CLAVE:** Argumentación; Educación en ciencias; Desarrollo profesional; Prácticas docentes.

**ABSTRACT** • Scientific discussions in school classrooms are recent and scarce globally, with teaching characterized by unproductive patterns of interrogation-response-evaluation. Hence, knowing what can facilitate productive and argumentative discussions in science classrooms is critical. This study systematically reviews the literature and finds that such practices have dialogic/interactive purposes, assign roles, and specify participation structures, discourses, and teaching practices. The works reviewed also identify challenges in the curriculum, teacher education, and teacher beliefs in facilitating scientific discussions. Implications address pre-service and in-service teacher education, suggesting the inclusion of scientific argumentation, reinforcing scientific knowledge, and working on teacher beliefs about argumentation.

**KEYWORDS:** Argumentation; Science education; Professional development; Teacher practices.

Recepción: mayo 2023 • Aceptación: febrero 2024 • Publicación: junio 2024

## INTRODUCCIÓN

La argumentación y la discusión de ideas son actividades comunes y necesarias en el quehacer científico (Osborne, 2010). En contextos escolares, construir significados en ciencias depende de la apropiación de un lenguaje disciplinar adquirido al proporcionar al estudiantado<sup>1</sup> oportunidades para discutir y argumentar (Sanmartí, 2007; Gomez Zaccarelli et al., 2018). Quienes ofrecen estas oportunidades son los docentes, por lo que sus competencias son clave para potenciar la comprensión y el desarrollo de la argumentación en los estudiantes, utilizando diversas formas de discusión y prácticas efectivas (Wess et al., 2023; Pimentel y McNeill, 2013). Es relevante, entonces, comprender y sistematizar las prácticas de enseñanza utilizadas por docentes para facilitar discusiones productivas y argumentativas en ciencias, así como los desafíos que enfrentan al promover un enfoque dialógico y argumentativo en el aula, presentes en la literatura. Diversas investigaciones han conceptualizado las prácticas de facilitación de la argumentación (por ejemplo, González-Howard y McNeill, 2019; Pimentel y McNeill, 2013) y del diálogo en ciencias (por ejemplo, Alexander, 2018) en aulas escolares lideradas por docentes en ejercicio, si bien estos aportes aparecen fragmentados y requieren ser conectados. Concurrentemente, la investigación aborda los desafíos de implementar la argumentación en ciencias, en contextos que valoran un papel docente autoritario y otorgan escaso espacio a las visiones del estudiantado (por ejemplo, Larraín, 2009; Larraín et al., 2014), si bien también se hace necesario conectar esos hallazgos, integrándolos para poder iluminar estrategias de mejora en la formación docente. Así, el objetivo de este estudio es identificar, caracterizar y sistematizar las prácticas de enseñanza utilizadas por docentes de ciencias para facilitar discusiones productivas y argumentativas en aulas escolares, y los desafíos que enfrentan al desarrollar estas prácticas. En este estudio, abordamos este objetivo a través de una revisión crítica de la literatura empírica sobre facilitación de discusiones y argumentación por docentes en aula.

### Antecedentes teóricos

Desde una perspectiva socioconstructivista, la enseñanza dialógica se define como un enfoque que favorece el diálogo entre estudiantes y que es informada por orientaciones pedagógicas, relacionales y epistemológicas (Alexander, 2018). Este enfoque ha sido conceptualizado por diferentes investigadores que a su vez siguen diferentes comprensiones sobre el significado del diálogo. Lefstein y Snell (2014) identifican seis concepciones generales de diálogo: como juego de voces, como crítica, como pensamiento en conjunto, como relación, como empoderamiento y como forma de interacción. Estos autores superponen estas concepciones con diferentes modelos de enseñanza dialógica, identificando la instrucción dialógicamente organizada de Nystrand et al. (1997), la conversación exploratoria de Mercer et al. (2007), la conversación responsable de Resnick et al. (2010) y la enseñanza dialógica de Alexander (2020). Estos modelos permiten identificar las influencias teóricas en la enseñanza dialógica, así como la postura epistemológica sobre el diálogo en la enseñanza escolar. El presente estudio se orienta fundamentalmente por las ideas de Alexander (2020) sobre pedagogía dialógica y dialéctica que están influyendo en las prácticas de aula –entendidas como la acción docente que orquesta comprensiones, habilidades, relaciones e identidad para desarrollar una actividad instruccional en un contexto particular (Grossman et al., 2009)–, tensionando patrones tradicionales de enseñanza para que emerjan las ideas del estudiantado y que sean exploradas, mejorando progresivamente (Alexander, 2020).

Entendiendo que existen diversas conceptualizaciones de argumentación científica, en este estudio consideramos que es «un proceso complejo que involucra construir y/o criticar vínculos entre evidencia y

1. Cuando es posible privilegiamos el uso de lenguaje inclusivo de género. En ocasiones, usamos el masculino genérico, aceptado en la lengua española siguiendo el principio de economía del lenguaje y como representativo de la clase (Real Academia Española).

afirmación, basándose en conocimiento disciplinar» (Osborne et al., 2016), donde construir argumentos científicos es una habilidad clave para el aprendizaje de las ciencias (Driver et al., 2000; Osborne, 2010). Debido a su relevancia, la habilidad de argumentar está contemplada como una de las ocho competencias científicas recomendadas por la Unión Europea y por los Next Generation Science Standards (NGSS) de Estados Unidos. Es también uno de los ejes del Programa de Evaluación Internacional de Estudiantes (PISA), por lo que constituye un importante objeto de estudio para la mejora del proceso de enseñanza y aprendizaje globalmente (Fishman et al., 2017). Asimismo, recientemente se ha dado más énfasis a la conversación y al diálogo en el aula, lo que en educación científica se ha traducido en mayores oportunidades para que los estudiantes argumenten a partir de evidencia (Erduran y Jiménez-Aleixandre, 2008; Osborne, 2010). La argumentación escolar está asociada al diálogo en el aula, y corresponde entonces a un tipo de interacción discursiva que puede reconocerse en la enseñanza y aprendizaje dialógico (Alexander, 2015).

El profesorado cumple un papel esencial en fomentar diversas formas de discutir y promover la argumentación, ya que establece cómo interactúan los estudiantes en las actividades de aprendizaje (Pimentel y McNeill, 2013). En este sentido, las acciones docentes, los patrones de discurso que establecen, así como las prácticas o movimientos pedagógicos que emplean, influyen en gran medida en las discusiones productivas y prácticas argumentativas en el aula (Mortimer y Scott, 2003; Pimentel y McNeill, 2013). Estudios realizados en el área ilustran que entre las funciones del profesorado de ciencias en el desarrollo de la argumentación se incluyen prácticas docentes de modelar y guiar la puesta en acto de la habilidad de argumentar (Jiménez-Aleixandre y Erduran, 2008; McNeill y Pimentel 2010), fomentar que sus estudiantes justifiquen opiniones con evidencia (Simon et al., 2006), desafiar la validez de las informaciones entregadas por ellos (Mork, 2005), realizar preguntas abiertas que promuevan las justificaciones (Jiménez-Aleixandre y Pereiro-Muñoz, 2005; Simon et al., 2006) y proponer criterios para la construcción y evaluación de argumentos (Osborne et al., 2004).

Sin embargo, en la educación científica formal, las actividades de argumentación y debate o bien están ausentes en la mayoría de las clases (Osborne, 2010; NRC, 2012; Larrain et al., 2014), o bien están organizadas de una forma autoritaria, reduciendo la participación efectiva de estudiantes (Scott et al., 2006; Larraín, 2009). Comúnmente, las clases de ciencias priorizan las explicaciones docentes más que las oportunidades para que los estudiantes hablen de ciencias (Fishman et al., 2017), en un patrón de interacción que ofrece pobres condiciones para el desarrollo de la argumentación (Larraín, 2009).

Si bien se reconoce la importancia del papel docente para desarrollar habilidades argumentativas en las clases de ciencias, no existen conceptualizaciones compartidas sobre cuáles son y cómo se caracterizan las prácticas de facilitación de discusiones productivas en ciencias (Park et al., 2017). Tampoco existe un marco teórico compartido sobre las estrategias pedagógicas que fomentan distintos niveles de argumentación científica (Evagorou y Dillon, 2011; Faize et al, 2017). Además, parece clave contar con una comprensión más profunda de los desafíos del profesorado para desarrollar estas prácticas de discusión y argumentación en las clases de ciencias (Duschl, 2008; Pimentel, 2013; McNeill y Knight, 2013; Cofré et al., 2015).

Considerando lo anterior y con una mirada global, este estudio busca responder: 1) ¿Cuáles son las prácticas de enseñanza utilizadas por el profesorado para facilitar discusiones científicas productivas y argumentativas?, y 2) ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrenta el profesorado de ciencias en la facilitación de discusiones productivas y argumentativas con sus estudiantes?

## METODOLOGÍA

Realizamos una búsqueda en las bases de datos WOS y SCOPUS ingresando los siguientes términos en ambas plataformas: (Science Argumentation) AND (Pedagogical discourse OR dialogic teaching OR Teacher's facilitation). Esta búsqueda incluyó como criterios de base que los estudios fueran: empíricos,

del área de ciencias sociales, publicados entre los años 2012 y 2022 y escritos en idioma inglés, español o portugués. En julio de 2022 se encontraron 50 artículos en WoS y 85 artículos en SCOPUS, de los cuales 2 eran duplicados. De esta forma, revisamos los títulos y resúmenes de los 133 artículos encontrados y seleccionamos 35 artículos mediante el proceso mostrado en la figura siguiente (figura 1).

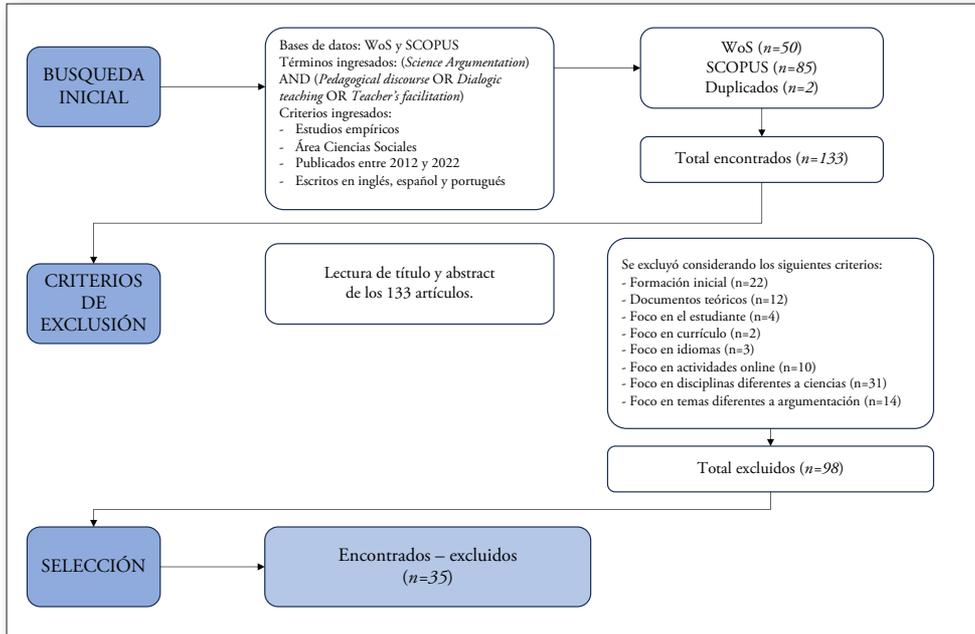


Fig. 1. Síntesis del proceso de búsqueda y selección de artículos. Fuente: elaboración propia

Tras la lectura de los estudios seleccionados, aplicamos criterios de exclusión para eliminar estudios no alineados con el objetivo de esta revisión. Los criterios de exclusión fueron: a) artículos enfocados en formación docente, dado que no aportaban evidencias empíricas de las prácticas en aula; b) artículos donde el único foco de la investigación recaía en el estudiantado, dado que solamente reportaban niveles y formas de argumentación de estudiantes sin reportar sobre intervenciones docentes; c) estudios teóricos en disciplinas distintas a la argumentación científica; d) estudios que incluyeran actividades online asincrónicas; y e) estudios en idiomas distintos al inglés, español o portugués.

Con la selección concluida, construimos una matriz de registro y análisis que incorporó: a) información general, b) aspectos metodológicos, c) aspectos asociados a las prácticas del profesorado, d) aspectos asociados a los desafíos y e) observaciones generales sobre cada artículo. A partir de la matriz, realizamos un análisis inductivo de los temas relacionados con las prácticas de los profesores en una revisión crítica de los artículos explorados, y levantamos dos grandes categorías (prácticas y desafíos). Dentro de cada una de ellas, se identifican subcategorías a partir del método comparativo constante (Bardin, 2006).

## RESULTADOS

Considerando los criterios de inclusión y exclusión ya mencionados, 35 artículos coinciden con la búsqueda. El artículo más antiguo incluido fue publicado en 2012 y el más reciente en 2022. En la figura 2, ofrecemos una síntesis de los artículos revisados respecto del enfoque metodológico, muestra e instrumentos de recolección de datos.

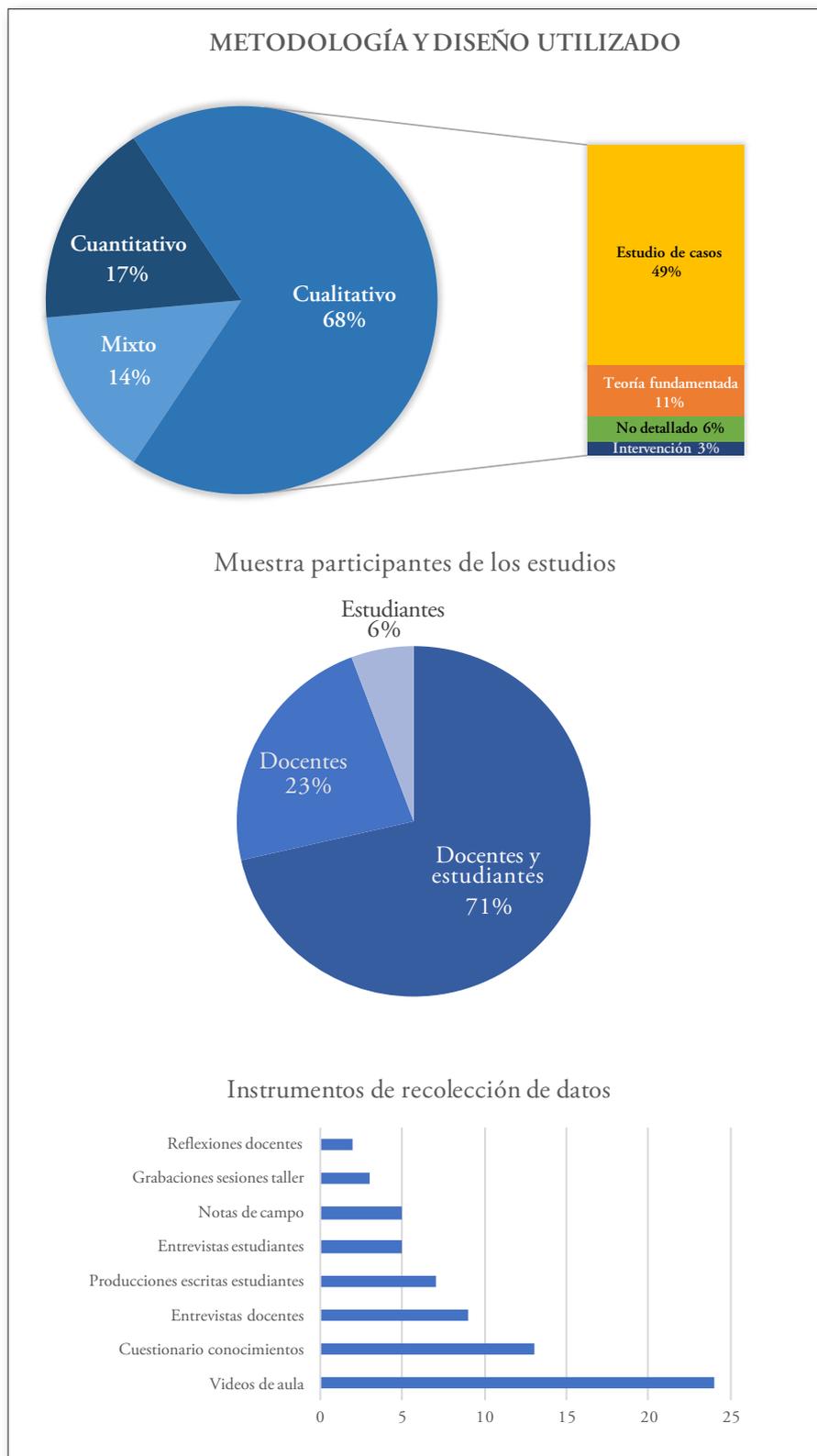


Fig. 2. Síntesis de la categorización de los artículos analizados. Fuente: elaboración propia

La mayor parte de los estudios analizados (n = 24) utilizan una metodología cualitativa, principalmente de estudio de caso único o múltiple y, en cantidad similar, metodologías cuantitativas (n = 6) donde predominan las investigaciones cuasiexperimentales y los estudios mixtos (n = 5). Al mismo tiempo, la mayoría de los estudios utilizan episodios de aula para respaldar sus resultados (n = 26), ya sea directamente usando videos, audio o la transcripción de los eventos. También utilizan entrevistas (n = 11), ya sea entrevistas estimuladas por vídeo, entrevistas tras una intervención o al finalizar procesos formativos. Además, las pruebas pretest y postest son altamente recurrentes, principalmente en los estudios cuantitativos y mixtos (n = 11), aunque también se presentan en estudios cualitativos. En relación con la muestra, la mayor parte de los estudios seleccionados (n = 26) analiza de forma articulada la promoción de discusiones productivas realizadas por los docentes participantes de los estudios y cómo los estudiantes responden a esta gestión.

A partir de la revisión sistemática de estos estudios, propusimos dos grandes categorías para analizar los artículos encontrados en la búsqueda: prácticas de enseñanza y desafíos pedagógicos, divididas en subcategorías.

### Prácticas de enseñanza

Esta categoría identifica y caracteriza las prácticas de facilitación de discusiones científicas productivas y argumentativas reportadas en investigaciones empíricas respecto de roles de docentes y estudiantes en las clases; estructuras que definen el tipo de discurso y la modalidad de participación, prácticas referidas a las «movidas discursivas»<sup>2</sup>, al tipo de preguntas realizadas por docentes y al tipo de actividades de aprendizaje implementadas (ver tabla 1).

Tabla 1.  
Características específicas del enfoque utilizado para promover la argumentación.  
*Fuente:* elaboración propia.

<i>Categorías</i>	<i>Subcategorías</i>	<i>Descripción/ejemplos</i>	<i>Artículos que lo reportan</i>
Funciones	Función docente	Función del docente adoptada durante discusiones dialógicas. Ejemplo: abrir espacio para las voces del estudiantado, guiar la discusión, modelar argumentos y formas de crítica/ <i>feedback</i> , promover la participación y escucha por parte de todos los estudiantes.	Borko et al. (2021), Campbell et al. (2012), Chen et al. (2016), Christodoulou et al. (2014), Chowning (2022), Felton et al. (2022), Gonzalez-Howard et al. (2017), Kim y Roth (2018), Larraín et al. (2021), Lehesvuori (2013), Mansour (2020), McNeill et al. (2017), Murphy et al. (2018), Onrubia et al. (2022), Soysal (2021), Watkins y Manz (2022).
	Función del estudiante	Función del estudiante adoptada durante discusiones dialógicas. Ejemplo: participar activamente con ideas y argumentos, capacidad de escuchar, cuestionar y criticar argumentos de los pares.	

2. En este trabajo utilizamos este término tomado del inglés *talk moves* para referirnos a una acción discursiva que tiene lugar en el aula y que es iniciada y guiada por docentes, pero está dirigida a estudiantes. Las movidas discursivas son formas de facilitar la progresión de una discusión, poniendo la conversación del estudiantado, sus ideas y aprendizaje en el centro (Michaels y O'Connor, 2012; Mineduc, 2023), y que limita el protagonismo docente en el aula.

<i>Categorías</i>	<i>Subcategorías</i>	<i>Descripción/ejemplos</i>	<i>Artículos que lo reportan</i>
Estructura	Tipo de discurso	Tipo de discurso adoptado por el profesorado. Ejemplos: flexible, utiliza contribuciones de los estudiantes para definir conceptos y focalizar discusiones, utiliza herramientas de facilitación de discurso, utiliza la contraargumentación para promover la participación.	Borko et al. (2021), Bosser y Lindahl (2021), Chen et al. (2016), Felton et al. (2022) Gillies (2020), Kutluca (2021), Larraín et al. (2018), Lehesvuori et al. (2017), Mansour (2020), McNeill et al. (2017), Polo et al. (2017), Schindler et al. (2015), Taylor et al. (2015), Watkins & Manz (2022).
	Modalidad de participación	Modalidad de participación estudiante-estudiante. Ejemplo: grupos pequeños, grupo de curso, por parejas, individual.	
Prácticas	Tipo de preguntas	Tipo de preguntas apropiadas para promover el discurso dialógico. Ejemplos: preguntas abiertas, con foco en suscitar ideas en los estudiantes, preguntas clave para sostener discusión, preguntas de seguimiento.	Borko et al. (2021), Bosser y Lindahl (2021), Chen et al. (2016), Campbell et al. (2012), Christodoulou et al. (2014), Dohrn et al. (2018), Erduran et al. (2020), Felton et al. (2022), González-Howard et al. (2017), Kim et al. (2018), Kutluca (2021), Larrain et al. (2019), Lehesvuori et al. (2017), Mansour (2020), McNeill et al. (2017), Onrubia et al. (2022), Pekel (2019), Watkins y Manz (2022), Zafrani (2022).
	Movidas discursivas	Acciones específicas. Ejemplo: movidas discursivas productivas, movidas de seguimiento, retroalimentación de apoyo (co-construir/criticar)	
	Actividades	Actividades apropiadas para promover la argumentación. Ejemplo: Uso de modelos, resolución de problemas sociocientíficos, debates y juegos de roles, actividades experimentales, actividades indagatorias o de investigación, actividades para estimular discusión (método Jigsaw, ubicarse entre dos extremos de una discusión, historietas con conceptos, etc.).	

### *Roles y funciones*

Sobre el papel del estudiantado, los autores plantean que una clase dialógica de alta calidad involucra que estos participen activamente de las discusiones (Campbell et al., 2012), cuestionen los argumentos producidos por sus pares, escuchando y construyendo a partir de las ideas de otros (Chen et al., 2016; González-Howard et al., 2017; Felton et al., 2022), y también criticando constructivamente las propuestas de los demás (Felton et al., 2022; Onrubia et al., 2022). Asimismo, se destaca que en una clase dialógica tanto el estudiantado como sus docentes tienen la función de hacer preguntas, a diferencia de otros enfoques en que el profesorado es el responsable de preguntar y el estudiantado de responder (Chen et al., 2016; Soysal, 2021). Cabe destacar que Murphy et al. (2018) identifican que el patrón de participación depende de las características de cada estudiante, y su mayor o menor propensión a expresar ideas y cuestionar las de los demás.

En torno al papel del docente, algunos estudios proponen que este, en un enfoque dialógico bien logrado, es modelar diferentes formas de cuestionamiento y utilizar técnicas de andamiaje para apoyar a sus estudiantes en intercambios que implican cuestionar, escuchar y responder a diferentes ideas (Chen et al., 2016; Christodoulou y Osborne, 2014; González-Howard et al., 2017; Lehesvuori et al., 2013; Onrubia et al., 2022). En la misma línea, otros estudios definen que su función es la de modelar argumentos y formas de crítica o *feedback* y promover la participación, el posicionamiento de sus propias ideas y la escucha por parte del estudiantado (Chen et al., 2016; González-Howard et al., 2017; Lehesvuori, 2017), promoviendo su independencia en el diálogo y la escritura argumentativa (Chowning, 2022; Felton et al., 2022; Watkins y Manz, 2022), y analizando y evaluando la calidad de

los argumentos del estudiantado en interacciones dialógicas que se basan en afirmaciones de los demás y las critican o retroalimentan (McNeill et al., 2017).

Asimismo, se releva que el profesorado debe tomar en cuenta todas las ideas de los estudiantes y considerar sus diferentes perspectivas en la construcción de la narrativa de la clase (Mansour, 2020). Por esto, el enfoque dialógico no puede ocurrir si un docente mantiene un papel de «autoridad científica» o si mantiene una estructura fija predeterminada para la clase (Borko et al., 2021; Chowning, 2022; Larraín et al., 2021; Lehesvuori, 2013; Kim y Roth, 2018).

### *Estructura*

Esta subcategoría incluye los tipos de discurso del profesorado y las modalidades de trabajo que influyen la estructura del aula, con enfoque interactivo-dialógico. Los artículos analizados mencionan que desde este enfoque el discurso es flexible y auténtico, y que los estudiantes influyen el curso del diálogo según sus ideas, preguntas y experiencias previas (Mansour, 2020; Felton et al., 2022). Asimismo, el discurso es interactivo porque docentes y estudiantes tienen turnos de participación, y es dialógico porque el profesor invita a diferentes voces de estudiantes a compartir sus ideas y visiones (Bossér-Lindahl, 2020; Mansour, 2020). Además, indican que los docentes pueden utilizar la contribución de estudiantes de dos formas diferentes, ya sea para introducir terminologías y conceptos científicos o para construir su discurso en torno a contribuciones del estudiantado, enfocando las discusiones en estas ideas (Bossér-Lindahl, 2020; Borko et al., 2021; Lehesvuori et al., 2017).

Por otra parte, según Lehesvuori et al. (2013), desde un enfoque dialógico, el profesorado valida las respuestas de los estudiantes mediante el reconocimiento, en lugar de la retroalimentación evaluativa, e invita a seguir participando a partir de la contraargumentación. Consideran que en el enfoque dialógico el profesor no busca llegar a un punto de vista en específico, sino que elucidar las visiones del estudiantado y promover discusiones desde visiones contradictorias y contraargumentos. No obstante, algunos estudios destacan que el tipo de discurso y lenguaje utilizado por los docentes cambia dependiendo de sus propios objetivos y de la etapa de la clase, pudiendo ser más o menos autoritario en algunos momentos (Kutluca, 2021; Polo et al., 2017; Schindler et al., 2015).

Sobre la modalidad de trabajo, McNeill et al. (2017) mencionan que un enfoque dialógico debe permitir la interacción estudiante-estudiante, además de las interacciones con el profesor. En este sentido, los estudios indican que la organización de las actividades puede variar entre el trabajo con el curso completo o en grupos pequeños (Bossér y Lindahl, 2021; Chen et al., 2016; Felton et al., 2022; Larraín et al., 2018). Además, cada una de estas modalidades de trabajo tendrían diferentes objetivos y beneficios en el desarrollo de la argumentación. Por ejemplo, en el diálogo entre pares, los estudiantes pueden sentirse más cómodos y utilizar de forma más natural las estrategias de diálogo argumentativo (Larraín et al., 2018) y que esto conduzca tanto al desarrollo de la habilidad de argumentación como a un mejor manejo conceptual (Gillies, 2020; Watkins y Manz, 2022).

### *Prácticas*

En esta subcategoría definimos tres aspectos principales de las prácticas o acciones docentes durante las clases con enfoque dialógico; los tipos de preguntas utilizados, las movidas discursivas que permiten facilitar o potenciar discusiones productivas y argumentativas, y el tipo de actividades desarrolladas con estudiantes. Respecto a los tipos de preguntas, los estudios plantean que las preguntas son un componente fundamental de las prácticas de facilitación dialógicas, y que deben ser de tipo abierto para promover el discurso y la argumentación (Borko et al., 2021; Lehesvuori et al., 2013). Se reportan varios tipos de preguntas abiertas según su enfoque: aquellas que indagan en el pensamiento de

los estudiantes (Felton et al., 2022), de tipo aclaratorias, para razonar y explicar (Chen et al., 2016; McNeill et al., 2017; Larraín et al., 2019), para suscitar afirmaciones contradictorias, para justificar afirmaciones y establecer argumentos contrapuestos (Larraín et al., 2019), y preguntas para construir sobre las ideas de los demás.

Considerando las movidas discursivas, se observa que el profesorado utiliza una gran variedad de ellas y con distintos propósitos. Algunos autores mencionan que en el enfoque dialógico e interactivo los profesores utilizan «movidas de seguimiento», como, por ejemplo, pedir otras observaciones o explicaciones, para promover una discusión productiva y también solicitar la elaboración o reformulación de ideas (Campbell et al., 2012; Lehesvuori et al., 2017). A su vez, Dohrn et al. (2018) y Osborne et al. (2019) expanden lo anterior, presentando «movidas productivas» que pueden apoyar discusiones argumentativas en las clases de ciencias. Por su parte, Bosser y Lindahl (2021) proponen una división de los movimientos discursivos en niveles de menos a más complejos cognitivamente, tanto para docentes como para estudiantes. Finalmente, Zafrani y Yarden (2022) describen las frecuencias en que las movidas discursivas son utilizadas para facilitar procesos discursivos y se observa que las movidas discursivas de menor nivel cognitivo son las más utilizadas. Por ejemplo, confirmar, aceptar o rechazar la contribución de uno o varios participantes y pedir información. Mientras que las movidas discursivas de mayor complejidad como conceptualizar, reelaborar, argumentar mediante un concepto, noción o idea teórica y presentar un nuevo problema se utilizan menos.

Acerca de las actividades de aprendizaje, pareciera ser que no existe un tipo específico de actividades utilizadas en el marco de enfoques dialógicos y que varios acercamientos permitirían desarrollar y promover prácticas de argumentación. Entre los estudios revisados, se describen actividades como la resolución de problemas (Felton et al., 2022; Larrain et al., 2018; Kim y Roth, 2018), el uso de modelos para fomentar la argumentación (Campbell et al., 2012; Chen et al., 2016), actividades experimentales, uso de laboratorios y actividades de tipo indagatorias o de investigación científica (Campbell et al., 2012; Chowning, 2022, Felton et al., 2022; Kutluca, 2021), la promoción de debates y juegos de roles en torno a temáticas sociocientíficas (Dohrn et al., 2018; Erduran et al., 2022; Gonzalez-Howard et al., 2017; Onrubia et al., 2022; Watkins y Manz, 2022) y uso de *historietas de conceptos* para promover el aprendizaje conceptual y la argumentación (Pekel, 2019).

## Desafíos pedagógicos

Proponemos que los desafíos se dividen en dos grandes subcategorías: los desafíos externos o institucionales y los desafíos propios del profesorado (tabla 2).

Tabla 2.  
Desafíos pedagógicos que enfrentan docentes de ciencias al incorporar discusiones y argumentación en su práctica. *Fuente:* elaboración propia.

<i>Categorías</i>	<i>Subcategorías</i>	<i>Descripción/Ejemplos reportados</i>	<i>Artículos que lo reportan</i>
Desafíos externos o institucionales	Currículum	El currículum es un desafío para incorporar prácticas dialógicas y estrategias de argumentación en clases de ciencia desde diferentes perspectivas. Ejemplo: extensión de programas curriculares, extensión de actividades, falta de material adecuado.	Chowning (2022), Mansour (2020), González-Howard et al. (2017), McNeill et al. (2017), Kim y Roth (2018), Larrain et al. (2019), Watkins y Manz (2022), Zafrani y Yarden (2022), Nunez-Oviedo y Clement (2019).
	Diversidad en estudiantes	Grupos de curso diversos pueden dificultar la incorporación de prácticas dialógicas. Ejemplo: diversas lenguas maternas, multiculturalidad, intereses particulares, decisiones basadas en la desigualdad.	Mansour (2020), González-Howard et al. (2017), Watkins y Manz (2022), Zafrani y Yarden (2022), Osborne et al. (2019).
	Otros factores	Se reportan en menor medida otros factores. Ejemplo: falta de apoyo a través de procesos formativos extensos, reflexión y retroalimentación de la práctica entre pares, límites impuestos por los propios docentes, adhesión a estándares de medición externos.	Chowning (2022), Watkins y Manz (2022), Zafrani y Yarden (2022), Tasker y Herrenkohl (2016), Schindler et al. (2015), Osborne et al. (2019).
Desafíos internos o propios del profesorado	Conocimientos docentes	El conocimiento/preparación del profesorado al promover prácticas discursivas es un desafío. Ejemplo: conocimientos disciplinares docentes, conocimientos argumentativos docentes.	Chowning (2022), McNeil et al. (2016), McNeill et al. (2017), McNeill y Knight (2013), Ruiz et al. (2014), Rapanta (2021), Kutluca (2021), Borko et al. (2021), Larrain et al. (2019), Osborne et al. (2019), Murphy et al. (2018).
	Creencias y posturas epistemológicas docentes	Las creencias y posturas epistemológicas docentes son un desafío. Ejemplo: bajas expectativas de sus estudiantes, bajas expectativas del propio desempeño, conflicto entre creencias culturales y evidencia científica, resistencia para implementar actividades argumentativas.	Chowning (2022), Mansour (2020), Erduran et al. (2020), McNeill et al. (2017); McNeill y Knight (2013); Ruiz et al. (2014); Rapanta (2021); Larrain et al. (2019); Zafrani y Yarden (2022); Osborne et al. (2019).

### *Desafíos externos o institucionales*

Diversos autores plantean que el currículum representa un desafío para incorporar prácticas dialógicas y estrategias de argumentación en las clases de ciencia. Un grupo de estudios indican que la cobertura curricular es un desafío, ya sea porque los programas curriculares son muy extensos (Mansour, 2020; Zafrani y Yarden, 2022; Nunez-Oviedo y Clement, 2019), o porque las tareas para promover la discusión y argumentación en el aula toman mucho tiempo (Chowning, 2022; Kim y Roth, 2018). Por ejemplo, Mansour (2020) indica que los profesores usan el currículum de forma poco reflexiva, y consideran que los estudiantes deben cumplir con todas las demandas del plan de estudios, comprendiendo el fenómeno científico como figura en el plan de estudios, para poder aprobar los exámenes. Este uso deja poco espacio a la flexibilización y al uso de enfoques dialógicos.

Con respecto a los materiales para fortalecer las discusiones en el aula, diversos autores indican que una dificultad para abordar el currículum es la falta de material adecuado para ese propósito (González-Howard et al., 2017; McNeill et al., 2017; Larrain et al., 2017; Larrain et al., 2019). McNeill et al. (2017) sugieren la importancia de que el currículum sea utilizado de una forma crítica y reflexiva para que facilite las interacciones dialógicas, y destacan la dificultad de comprensión de la argumentación por parte del profesorado cuando esta se encuentra solo en materiales escritos. Por otra parte, los resultados del estudio de Larrain et al. (2017) sugieren que los materiales curriculares no son necesariamente eficaces para promover una mayor argumentación en aula, aunque discuten la posibilidad de que apoyen diálogos argumentativos menos frecuentes, pero de mayor calidad.

Otro desafío que se destaca en algunos de los estudios es que cursos con gran diversidad de estudiantes pueden dificultar la incorporación de prácticas dialógicas. Algunos de los factores a los que hacen referencia son la lengua materna (González-Howard et al., 2017), los intereses de los estudiantes (Watkins y Manz, 2022) o la multiculturalidad (Mansour, 2020). En este último estudio Mansour (2020) observa que, en cursos con gran diversidad cultural, los profesores utilizan mecanismos para evitar tratar con la diversidad de estudiantes y sus ideas o preocupaciones. Indica también que en algunos momentos los profesores utilizan la evidencia científica como una herramienta para alcanzar una verdad que los estudiantes no puedan discutir, lo cual disminuye la posibilidad de un enfoque dialógico en la docencia, ya que no se valora el discurso y las ideas diversas del estudiantado. En otro sentido, el estudio de Zafrani y Yarden (2022) indica que los docentes podrían dejarse llevar por características propias de sus cursos y tomar decisiones pedagógicas desiguales, contribuyendo a la inequidad en el aprendizaje, con oportunidades de participación argumentativa contaminada por prejuicios.

### *Desafíos internos o propios docentes*

Diversos estudios indican que un aspecto para seguir mejorando es el conocimiento o preparación del docente al promover prácticas discursivas, lo que se explica a través de distintos aspectos. Un gran grupo de estudios indican que para los docentes es una dificultad implementar discusiones argumentativas (Chowning, 2022; McNeill y Knight, 2013; McNeil et al., 2016; McNeill et al., 2017; Rapanta, 2021; Larrain et al., 2019; Osborne et al., 2019) debido a que se requiere de una preparación formativa diferente. Por ejemplo, la investigación de Rapanta (2021) indica que el hecho de centrarse en la argumentación entre iguales requiere de un tipo de entrenamiento docente diferente al requerido para mediar debates en aula escolar. Por otra parte, el profesorado debe conocer no solamente la estructura de un argumento, sino que también debe tener una comprensión profunda de la argumentación como una práctica epistémica, para que sus intervenciones y evaluaciones no se centren solamente en el lenguaje de argumentación (aseveraciones, evidencias), sino que abarquen todo el proceso discursivo de la construcción de argumentos y contraargumentos (McNeill et al., 2016).

En sintonía con ello, los conocimientos disciplinares docentes también emergen como una barrera importante para el uso del enfoque dialógico y de prácticas argumentativas (Murphy et al., 2018; Osborne et al., 2019; Kutluca, 2021; Borko et al., 2021). En primer lugar, los profesores deben tener un conocimiento profundo del tema involucrado en la discusión para que su retroalimentación favorezca clases interactivas y dialógicas. Sin embargo, muchas veces los profesores tienen miedo a promover discusiones cuando no manejan el contenido (Osborne et al., 2019), o incluso, tienden a desalentar la conversación en ciencias cuando el contenido no les es familiar (Borko et al., 2021), por lo que resulta esencial que estén apropiados del conocimiento disciplinar para implementar prácticas argumentativas en el aula (Murphy et al., 2018).

Tanto el conocimiento disciplinar como propiamente de la argumentación se evidencian en el estudio de McNeill y Knight (2013), quienes de manera específica indican diversos desafíos para los

docentes participantes como: diferenciar evidencia de razonamiento, diseñar preguntas para ofrecer oportunidades argumentativas y contar con mayor apoyo en el momento de diseñar e implementar y analizar concepciones dialógicas de sus estudiantes.

Las creencias y posturas epistemológicas de los profesores son un desafío en la promoción del diálogo y la argumentación. Erduran et al. (2020), en su estudio comparativo con docentes de ciencias y educación religiosa, indican que, si bien todos los docentes consideran la argumentación como una habilidad importante de promover, fueron los docentes de educación religiosa quienes implementaron estrategias discursivas con mayor frecuencia. El debate, la valoración de las diferentes posturas y la anticipación de los estudiantes a los contraargumentos fueron subutilizadas por docentes de ciencias en comparación con los de educación religiosa. Otros estudios realizados con docentes de ciencias hacen referencia a que el desafío de implementar actividades discursivas recae en las bajas expectativas que tienen los docentes sobre sus estudiantes (Chowning, 2022; McNeill y Knight, 2013; Zafrani y Yarden, 2022). McNeill y Knight (2013) observaron diferencias en la implementación de argumentación según el nivel escolar, donde los docentes de primaria vincularon la argumentación en ciencias con otras disciplinas, mientras que los de secundaria lo hicieron en torno al contenido específico de la argumentación para fortalecer el contenido científico.

Otro aspecto encontrado en varios estudios se corresponde con la resistencia por parte del profesorado a llevar la argumentación a las aulas de ciencias, manteniendo actividades tradicionales, autoritarias y correctivas centradas en el docente (McNeill et al., 2017; Larrain et al., 2019; Osborne et al., 2019). Por ejemplo, Osborne et al. (2019) resaltan que las creencias docentes sobre los conocimientos previos de sus estudiantes afectan a la forma en que implementan el discurso dialógico, es decir, los profesores prefieren utilizar un discurso autoritario o expositivo cuando piensan que sus estudiantes no tienen los suficientes conocimientos o habilidades para participar en una discusión o que solo unos pocos podrán hacerlo. En esta línea, Larrain et al. (2019) indican que los docentes manifiestan una necesidad de que sus estudiantes aprendan las «respuestas correctas», por lo que no se fomenta la discusión grupal extendida. Además, los docentes presentan creencias relacionadas con sus propias experiencias previas, por lo que utilizan un acercamiento instruccional centrado en su papel (McNeill et al., 2017). Estos antecedentes evidencian una disyuntiva permanente entre las creencias docentes y lo que profesionalmente los programas de estudio indican que deben realizar para que sus estudiantes aprendan.

## CONCLUSIONES E IMPLICANCIAS

El análisis realizado permitió identificar las principales categorías y subcategorías que reporta la literatura para caracterizar las prácticas de facilitación de discusiones productivas y argumentativas en ciencias escolares. Con relación a las prácticas de enseñanza, se destaca la importancia del papel activo y protagónico del estudiantado en las discusiones y construcción de ideas, y el papel del docente en el modelamiento y andamiaje de las discusiones productivas. Asimismo, la promoción de las discusiones productivas depende de una estructura de aula flexible y auténtica, en que todas las ideas y puntos de vista son abordados, y en que exista interacción entre estudiantes, no solamente con el docente. Además, se releva la importancia de las preguntas abiertas, de las movidas discursivas que permiten la profundización en las ideas de los estudiantes y la interacción entre diferentes ideas.

Llama la atención que el currículum aparece como un desafío en gran parte de los estudios, independiente del origen nacional. De la misma manera, se destacan los desafíos relacionados con los conocimientos y formación de los profesores, quienes no se sienten preparados en la disciplina científica ni en el manejo de discusiones argumentativas. Lo anterior se vincula también al desafío de las creencias docentes, particularmente en torno a las bajas expectativas que pueden tener de sus estudiantes. En estos resultados identificamos importantes implicancias para el profesorado y la formación docente

inicial y continua. Asimismo, se podrían proyectar implicancias para las políticas educativas y la investigación.

Con respecto a los profesores, esta revisión buscó realizar un análisis reflexivo y crítico de sus prácticas asociadas a la promoción de discusiones argumentativas en ciencias, entendiendo que sus decisiones sobre el papel de estudiantes en el aula, el tipo de preguntas que realizan y las interacciones que promueven podrían fomentar de mejor manera las discusiones y, así, potenciar las habilidades de argumentación. Asimismo, el reconocer las limitaciones de sus propios conocimientos y creencias podría influenciar cambios y búsqueda de formación continua.

Para la formación inicial de docentes que enseñarán ciencias en la escuela, sugerimos que esta incluya de forma explícita la argumentación científica en los cursos didáctico-pedagógicos y que consideren diversas instancias de reflexión sobre prácticas efectivas para promover discusiones argumentativas en ciencias. Asimismo, los desafíos levantados en esta revisión apuntan a fortalecer los aprendizajes disciplinares de la ciencia para que los profesores se sientan capaces de promover discusiones en torno a diversas temáticas del currículum. También parece relevante considerar las potenciales contradicciones entre las posturas epistemológicas y las creencias docentes sobre la relevancia, el aprendizaje e la implementación de prácticas discursivas y de argumentación en ciencias. Esto es, que además de que nuevos docentes puedan recibir formación disciplinar en ciencias de alta calidad, trabajen en las creencias que sostienen sobre las capacidades de los estudiantes, así como en sus visiones epistemológicas sobre la ciencia. Con esto, se sugiere que la formación considere el aprendizaje del currículum nacional como una herramienta que puede ser utilizada de forma crítica y flexible, que no represente un obstáculo para la promoción de la argumentación en el aula.

Respecto a las políticas educativas, y conectado a lo anterior, las evidencias de esta revisión de literatura muestran el currículum como un desafío transversal, independiente del contexto del estudio. Por esto, parece relevante considerar la percepción de los profesores en el desarrollo de políticas públicas relacionadas con el currículum. En este marco, algunas consideraciones deberían relacionarse con la libertad de enseñanza y flexibilidad del currículum, a la diversidad e inclusión dentro de los marcos curriculares y a la promoción explícita de habilidades de pensamiento científico, como la argumentación.

Finalmente, en términos de proyecciones para la investigación, es importante considerar que la mayor parte de los estudios encontrados eran cualitativos y de profundización, por lo que podría ser relevante realizar estudios más amplios de carácter cuantitativo. Asimismo, se hace necesario realizar investigaciones en torno a las diferentes maneras de superar los desafíos levantados, tanto desde la formación del profesorado, como desde iniciativas institucionales en las escuelas y políticas curriculares de las naciones.

## AGRADECIMIENTOS

Este artículo es parte de una investigación financiada por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo del Gobierno de Chile con el proyecto FONDECYT N.º 11190469.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, R. (2020). *A Dialogic Teaching Companion*. Taylor & Francis.
- Alexander, R. (2018). Developing dialogic teaching: Genesis, process, trial. *Research Papers in Education*, 33(5), 561-598.  
<https://doi.org/10.1080/02671522.2018.1481140>

- Alexander, R. (2015). Dialogic Pedagogy at Scale: Oblique Perspectives. En L. B. Resnick, C. S. C. Asterhan y S. N. Clarke (Eds.), *Socializing Intelligence Through Academic Talk and Dialogue* (pp. 429-439). American Educational Research Association.  
[https://doi.org/10.3102/978-0-935302-43-1\\_33](https://doi.org/10.3102/978-0-935302-43-1_33)
- Bardin, L. (2006). *Análise de Conteúdo* (3.<sup>a</sup> ed.). [Análisis de contenido]. Edicoes 70.
- Belland, B. R., Burdo, R. y Gu, J. (2015). A blended professional development program to help a teacher learn to provide one-to-one scaffolding. *Journal of Science Teacher Education*, 26, 263-289.  
<https://doi.org/10.1007/s10972-015-9419-2>
- Bossér, U. y Lindahl, M. (2021). Teachers' coordination of dialogic and authoritative discourses promoting specific goals in socioscientific issue-based teaching. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 19, 461-482.  
<https://doi.org/10.1007/s10763-020-10061-1>
- Borko, H., Gomez Zaccarelli, F., Reigh, E. y Osborne, J. (2021). Teacher Facilitation of Elementary Science Discourse after a Professional Development Initiative. *The Elementary School Journal*, 121(4), 561-585.  
<https://doi.org/10.1086/714082>
- Campbell, T., Seok Oh, P. y Neilson, D (2012). Discursive Modes and Their Pedagogical Functions in Model-Based Inquiry (MBI) Classrooms. *International Journal of Science Education*, 34(15), 2393-2419.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2012.704552>
- Chen, Y. C., Benus, M. J. y Yarker, M. B. (2016). Using models to support argumentation in the science classroom. *The American Biology Teacher*, 78(7), 549-559.  
<https://doi.org/549-559>. 10.1525/abt.2016.78.7.549
- Chowning, J. T. (2022). Science teachers in research labs: Expanding conceptions of social dialogic dimensions of scientific argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 1-28.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21760>
- Christodoulou, A. y Osborne, J. (2014). The science classroom as a site of epistemic talk: A case study of a teacher's attempts to teach science based on argument. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(10).  
<https://doi.org/1275-1300>. 10.1002/tea.21166
- Cofré, H., González-Weil, C., Vergara, C., Santibáñez, D., Ahumada, G., Furman, M., Podesta, M. E., Camacho, J., Gallego, R. y Pérez, R. (2015). Science Teacher Education in South America: The Case of Argentina, Colombia and Chile. *Journal of Science Teacher Education*, 26(1), 45-63.  
<https://doi.org/10.1007/s10972-015-9420-9>
- Dohrn, S. W. y Dohn, N. B. (2018). The role of teacher questions in the chemistry classroom. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(1), 352-363.  
<https://doi.org/10.1039/C7RP00196G>
- Driver, R., Newton, P. y Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312.  
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<287::AID-SCE1>3.0.CO;2-A)
- Duschl, R. (2008). Science Education in Three-Part Harmony: Balancing Conceptual, Epistemic, and Social Learning Goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268-291.  
<https://doi.org/10.3102/0091732X07309371>
- Erduran, S. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2008). *Argumentation in science education. Perspectives from classroom-Based Research*. Springer.
- Erduran, S., Guilfoyle, L. y Park, W. (2020). Science and religious education teachers' views of argumentation and its teaching. *Research in Science Education*, 1-19.  
<https://doi.org/10.1007/s11165-020-09966-2>

- Evagorou, M. y Dillon, J. (2011). Argumentation in the Teaching of Science. En D. Corrigan, J. Dillon y R. Gunstone (Eds.), *The Professional Knowledge Base of Science Teaching* (pp. 189-203). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-90-481-3927-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-90-481-3927-9_11)
- Faize, F. A., Husain, W. y Nisar, F. (2017). A critical review of scientific argumentation in science education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(1), 475-483.  
<https://doi.org/10.12973/ejmste/80353>
- Felton, M., Levin, D. M., De La Paz, S. y Butler, C. (2022). Scientific argumentation and responsive teaching: Using dialog to teach science in three middle-school classrooms. *Science Education*, 1-21.  
<https://doi.org/10.1002/sce.21740>
- Fishman, E. J., Borko, H., Osborne, J., Gomez, F., Rafanelli, S., Reigh, E., Tseng, A., Million, S. y Berson, E. (2017). A Practice-Based Professional Development Program to Support Scientific Argumentation From Evidence in the Elementary Classroom. *Journal of Science Teacher Education*, 28(3), 222-249.  
<https://doi.org/10.1080/1046560X.2017.1302727>
- Gillies, R. M. (2020). Dialogic teaching during cooperative inquiry-based science: A case study of a year 6 classroom. *Education Sciences*, 10(11), 328.  
<https://doi.org/10.3390/educsci10110328>
- Gomez Zaccarelli, F., Schindler, A.-K., Borko, H. y Osborne, J. (2018). Learning from professional development: A case study of the challenges of enacting productive science discourse in the classroom. *Professional Development in Education*, 44(5), 721-737.  
<https://doi.org/10.1080/19415257.2017.1423368>
- González-Howard, M. y McNeill, K. L. (2019). Teachers' framing of argumentation goals: Working together to develop individual versus communal understanding. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(6), 821-844.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21530>
- González-Howard, M., McNeill, K. L., Marco-Bujosa, L. M. y Proctor, C. P. (2017). 'Does it answer the question or is it French fries?': an exploration of language supports for scientific argumentation. *International Journal of Science Education*, 39(5), 528-547.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1294785>
- Grossman, P. L., Compton, C., Igra, D., Ronfeldt, M., Shahan, E. y Williamson, P. (2009). Teaching practice: A cross-professional perspective. *Teachers College Record*, 111(9), 2055-2100.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Erduran, S. (2008). Argumentation in science education: An overview. En M. P. Jiménez-Aleixandre y S. Erduran (Eds.), *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research* (pp. 47-70). Springer.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Pereiro-Muñoz, C. (2005). Argument Construction and Change while Working on a Real Environment Problem. En K. Boersma, M. Goedhart, O. de Jong y H. Eijkelhof (Eds.), *Research and the Quality of Science Education* (pp. 419-431). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/1-4020-3673-6\\_33](https://doi.org/10.1007/1-4020-3673-6_33)
- Kim, M. y Roth, W. M. (2018). Dialogical argumentation in elementary science classrooms. *Cultural Studies of Science Education*, 13, 1061-1085.  
<https://doi.org/10.1007/s11422-017-9846-9>
- Kutluca, A. Y. (2021). An investigation of elementary teachers' pedagogical content knowledge for socioscientific argumentation: The effect of a learning and teaching experience. *Science Education*, 105, 743-775.  
<https://doi.org/10.1002/sce.21624>

- Larrain, A. (2009). El rol de la argumentación en la alfabetización científica. *Estudios Públicos*, 116, 167-193. <https://www.estudiospublicos.cl/index.php/cep/article/view/417>
- Larrain, A., Freire, P. y Howe, C. (2014). Science teaching and argumentation: One-sided versus dialectical argumentation in Chilean middle-school science lessons. *International Journal of Science Education*, 36(6), 1017-1036.  
<http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2013.832005>
- Larrain, A., Freire, P., López, P. y Grau, V. (2019). Counter-arguing during curriculum-supported peer interaction facilitates middle-school students' science content knowledge. *Cognition and Instruction*, 37(4), 453-482.  
<https://doi.org/10.1080/07370008.2019.1627360>
- Larrain, A., Howe, C. y Freire, P. (2018). 'More is not necessarily better': Curriculum materials support the impact of classroom argumentative dialogue in science teaching on content knowledge. *Research in Science & Technological Education*, 36(3), 282-301.  
<https://doi.org/10.1080/02635143.2017.1408581>
- Larraín, A., Moreno, C., Grau, V., Freire, P., Salvat, I., López, P. y Silva, M. (2017). Curriculum materials support teachers in the promotion of argumentation in science teaching: A case study. *Teaching and Teacher Education*, 67, 522-537.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tate.2017.07.018>
- Larrain, A., Singer, V., Strasser, K., Howe, C., López, P., Pinochet, J. et al, (2021). Argumentation skills mediate the effect of peer argumentation on content knowledge in middle-school students. *Journal of Educational Psychology*, 113(4), 736.  
<http://dx.doi.org/10.1037/edu0000619>
- Lefstein, A. y Snell, J. (2013). *Better Than Best Practice: Developing Teaching and Learning Through Dialogue*. Taylor & Francis.
- Lehesvuori, S., Viiri, J., Rasku-Puttonen, H., Moate, J. y Helaakoski, J. (2013). Visualizing communication structures in science classrooms: Tracing cumulativity in teacher-led whole class discussions. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(8), 912-939.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21100>
- Lehesvuori, S., Chan, K. K. H., Ramnarain, U., Viiri, J. (2017). In Search of Dialogicity: A Comparison of Curricular Documents and Classroom Interactions from Finland and Hong Kong. *Educ. Sci.*, 7, 76.  
<https://doi.org/10.3390/educsci7040076>
- Mansour, N. (2020). The dissonance between scientific evidence, diversity and dialogic pedagogy in the science classroom. *International Journal of Science Education*, 42(2), 190-217.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1706114>
- McNeill, K. L. y Knight, A. M. (2013). Teachers' pedagogical content knowledge of scientific argumentation: The impact of professional development on K-12 teachers. *Science Education*, 97(6), 936-972.  
<https://doi.org/10.1002/sce.21081>
- McNeill, K. L. y Pimentel, D. S. (2010). Scientific discourse in three urban classrooms: The role of the teacher in engaging high school students in argumentation. *Science Education*, 94(2), 203-229.  
<https://doi.org/10.1002/sce.20364>
- McNeill, K. L., González-Howard, M., Katsh-Singer, R. y Loper, S. (2016). Pedagogical content knowledge of argumentation: Using classroom contexts to assess high-quality PCK rather than pseudoargumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(2), 261-290.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21252>

- McNeill, K. L., González-Howard, M., Katsh-Singer, R. y Loper, S. (2017). Moving beyond pseudoargumentation: Teachers' enactments of an educative science curriculum focused on argumentation. *Science Education*, 101(3), 426-457.  
<https://doi.org/10.1002/sce.21274>
- Mercer, N. y Littleton, K. (2007). *Dialogue and the development of children's thinking: A sociocultural approach*. Routledge.
- Mork, S. M. (2005). Argumentation in science lessons: Focusing on the teacher's role. *Nordic Studies in Science Education*, 1(1), 17-30.  
<https://doi.org/10.5617/nordina.463>
- Mortimer, E. y Scott, P. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. McGraw-Hill Education.
- Murphy, P. K., Greene, J. A., Allen, E., Baszczewski, S., Swearingen, A., Wei, L. y Butler, A. M. (2018). Fostering high school students' conceptual understanding and argumentation performance in science through Quality Talk discussions. *Science Education*, 102(6), 1239-1264.  
<https://doi.org/10.1002/sce.21471>
- Nystrand, M. y Gamoran, A. (1991). Instructional Discourse, Student Engagement, and Literature Achievement. *Research in the Teaching of English*, 25(3), 261-290.  
<https://www.jstor.org/stable/40171413>
- Nunez-Oviedo M. C. y Clement, J. J. (2019). Large Scale Scientific Modeling Practices That Can Organize Science Instruction at the Unit and Lesson Levels. *Front. Educ.*, 4(68).  
<https://doi.org/10.3389/educ.2019.00068>
- Onrubia, J., Roca, B. y Minguela, M. (2022). Assisting teacher collaborative discourse in professional development: An analysis of a facilitator's discourse strategies. *Teaching and Teacher Education*, 113, 103667.  
<https://doi.org/10.1016/j.tate.2022.103667>
- Osborne, J. (2010). Arguing to learn in science: The role of collaborative, critical discourse. *Science*, 328(5977), 463-466.  
<https://doi.org/10.1126/science.1183944>
- Osborne, J., Borko, H., Fishman, E., Gomez Zaccarelli, F., Berson, E., Busch, K. C., Reigh, E. y Tseng, A. (2019). Impacts of a Practice-Based Professional Development Program on Elementary Teachers' Facilitation of and Student Engagement With Scientific Argumentation. *American Educational Research Journal*, 56(4), 1067-1112.  
<https://doi.org/10.3102/0002831218812059>
- Osborne, J., Erduran, S. y Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020.  
<https://doi.org/10.1002/tea.20035>
- Osborne, J., Henderson, J. B., MacPherson, A., Szu, E., Wild, A. y Yao, S. (2016). The development and validation of a learning progression for argumentation in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(6), 821-846.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21316>
- Park, J., Michaels, S., Affolter, R. y O'Connor, C. (2017). Traditions, Research, and Practice Supporting Academically Productive Classroom Discourse. En *Oxford Research Encyclopedia of Education*.
- Pekel, F. O. (2019). Effectiveness of argumentation-based concept cartoons on teaching global warming, ozone layer depletion, and acid rain. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(2), 945-953.
- Pimentel, D. S. y McNeill, K. L. (2013). Conducting talk in secondary science classrooms: Investigating instructional moves and teachers' beliefs. *Science Education*, 97(3), 367-394.  
<https://doi.org/10.1002/sce.21061>

- Polo, C., Plantin, C., Lund, K. y Niccolai, G. P. (2017). Emotional positioning as a cognitive resource for arguing: Lessons from the study of Mexican students debating about drinking water management. *Pragmatics and Society*, 8(3), 323-354.  
<https://doi.org/10.1075/ps.8.3.01pol>
- Rapanta, C. (2021). Can teachers implement a student-centered dialogical argumentation method across the curriculum? *Teaching and Teacher Education*, 105, 103404.  
<https://doi.org/10.1016/j.tate.2021.103404>
- Resnick, L. B., Michaels, S. y O'Connor, M. C. (2010). How (well-structured) talk builds the mind. En R. Sternberg y D. Preiss (Eds.), *Innovations in educational psychology: Perspectives on learning, teaching and human development* (pp. 163-194). Springer.
- Ruiz Ortega, F. J., Márquez, C. y Tamayo Alzate, Ó. E. (2014). Cambio en las concepciones de los docentes sobre la argumentación y su desarrollo en clase de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 0053-70.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.985>
- Sanmartí, N. (2007). Hablar, leer y escribir para aprender ciencia. En T. Á. Angulo y M. P. F. Martínez (Eds.), *La competencia en comunicación lingüística en las áreas del currículo* (pp. 103-128). Ministerio de Educación.
- Schindler, A. K., Gröschner, A. y Seidel, T. (2018). Teaching science effectively: a case study on student verbal engagement in classroom dialogue. *Orbis Scholae*, 9(2) 9-34.  
<https://doi.org/10.14712/23363177.2015.78>
- Scott, P., Mortimer, E. y Aguiar, O. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90, 605-631.  
<https://doi.org/10.1002/sce.20131>
- Simon, S., Erduran, S. y Osborne, J. (2006). Learning to Teach Argumentation: Research and development in the science classroom. *International Journal of Science Education*, 28(2), 235.  
<https://doi.org/10.1080/09500690500336957>
- Soysal, Y. (2021). An exploration of the determinants of middle school students' argument quality by classroom discourse analysis. *Research in Science & Technological Education*, 1-29.  
<https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1908981>
- Tasker, T. Q. y Herrenkohl, L. R. (2016). Using peer feedback to improve students' scientific inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 27, 35-59.  
<https://doi.org/10.1007/s10972-016-9454-7>
- Watkins, J. y Manz, E. (2022). Characterizing pedagogical decision points in sense-making conversations motivated by scientific uncertainty. *Science Education*, 1-34.  
<https://doi.org/10.1002/sce.21747>
- Wess, R., Priemer, B. y Parchmann, I. (2023). Professional development programs to improve science teachers' skills in the facilitation of argumentation in science classroom –A systematic review. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 5(1), 9.  
<https://doi.org/10.1186/s43031-023-00076-3>
- Zafrani, E. y Yarden, A. (2022). Dialog-constraining institutional logics and their interactional manifestation in the science classroom. *Science Education*, 106, 142-171.  
<https://doi.org/10.1002/sce.21687>

---

# Discussions and Argumentation in Science Teaching: Teaching Practices and Challenges

Florencia Gómez Zaccarelli, Natalia Cándido Vendasco, Victoria Arriagada Jofré  
Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.  
fgomezz@uc.cl, natalia.candido@uc.cl, vparriagada@uc.cl

This study aims to identify and describe teachers' practices when facilitating productive and argumentative scientific discussions with students in elementary classrooms and the challenges teachers face in such facilitation. Argumentation and discussion of ideas are shared and necessary activities in scientific work (Osborne, 2010). In school contexts, the construction of meanings in science involves appropriating a disciplinary language to be acquired by providing students with opportunities to discuss and argue (Sanmartí, 2007; Gómez Zaccarelli et al., 2018). Teachers can offer these opportunities to students, so their skills are vital to enhance the understanding and development of argumentation among students through mediation and support, using various forms of discussion and effective pedagogical practices (Wess et al., 2023; Pimentel & McNeill, 2013). It is relevant, therefore, to understand and systematize teachers' teaching practices to facilitate productive and argumentative discussions in science and the challenges they face when promoting a dialogic and argumentative approach in the classroom, as present in the literature. Some research has conceptualized the practice of argumentation facilitation (e. g., González-Howard & McNeill, 2019; Pimentel & McNeill, 2013) and dialogue in science (e.g., Alexander, 2018) that takes place in school classrooms under the guidance of teachers, although these contributions appear fragmented, and their integration addresses the need to connect them. Concurrently, research deals with the challenges of implementing argumentation in science in contexts which value an authoritarian teaching role and give little space to the views of students (for example, Larraín, 2009; Larraín et al., 2014). However, it is necessary to connect these findings, integrating them to illuminate improvement strategies in teacher training.

Even though researchers have emphasized the benefits of developing science discourse abilities as a prominent feature in school (Alexander, 2005; Mercer & Dowe, 2014), specific conditions are required to achieve such benefits. To create these conditions is highly challenging for teachers, as it involves complex teaching practices. Therefore, teachers require support to achieve those conditions by implementing specific classroom practices (Pimentel & McNeill, 2013) and teacher professional development. While there is knowledge about teaching and learning practices that favor scientific discussions and argumentation (e. g., Michaels & O'Connor, 2015, 2012), knowing what specific practices can facilitate productive and argumentative discussions in science classrooms is highly relevant and necessary. Consequently, this study sought to answer the following questions: 1) What are the teaching practices used by teachers to facilitate productive and argumentative scientific discussions? 2) What are the main challenges that science teachers face when facilitating productive and argumentative discussions with their students?

This study systematically reviewed the literature and found that practices that are helpful to facilitate productive and argumentative discussions in science classrooms have dialogic/interactive purposes, assign roles to both students and teachers, and specify participation structures (e. g., whole or small group discussion), discourses (e. g., student-led conceptual definitions, discourse facilitation tools), and teaching practices (e. g., different types of questions, teacher moves and instructional activities to promote discussion and argumentation). The research reviewed also identified challenges in the curriculum, teacher education, and teacher beliefs in facilitating scientific talk. Implications address pre-service and in-service teacher education, suggesting the inclusion of scientific argumentation in teacher preparation programs, reinforcing scientific knowledge, and working on teacher beliefs about argumentation that might affect how they design and implement instruction in science classrooms.





# Enfoques académicos de las emociones hacia la Física en maestros en formación inicial

## Academic Approaches of the Emotions towards Physics in Teachers in Training

Beatriz Pérez-Bueno

*Área de Ciencias Experimentales y Matemáticas. Centro de Estudios Universitarios Cardenal Spínola CEU, Sevilla, España*  
bperez@ceu.es

María Ángeles de las Heras Pérez, Roque Jiménez-Pérez

*Departamento de Didácticas Integradas. Facultad de Educación, Psicología y Ciencias del Deporte. Universidad de Huelva, España*  
angeles.delasheras@ddcc.uhu.es, rjimenez@ddcc.uhu.es

**RESUMEN** • El objetivo principal de este trabajo es categorizar un listado de diez emociones hacia la Física según los enfoques temático, de logro, epistémico y social, con la finalidad de conocer lo que las origina. Para ello, se realiza un análisis cualitativo de las justificaciones recogidas de un grupo de 104 estudiantes para maestros de Educación Primaria a través de un cuestionario abierto sobre la intensidad con la que recuerdan haber experimentado las diez emociones. Los dos enfoques más frecuentemente manifestados fueron el temático y el de logro. El primero, a través del interés, entusiasmo, diversión, aburrimiento y rechazo; el segundo, mediante la frustración, satisfacción, preocupación y nerviosismo. Los resultados permitieron entender el entorno educativo en que se generaban las emociones para poder considerar abordajes diferenciados según sus causas subyacentes.

**PALABRAS CLAVE:** Emociones académicas; Enfoques; Formación inicial de maestros; Educación Primaria; Física.

**ABSTRACT** • The main objective of this work is to categorize a list of emotions towards Physics in terms of topic, achievement, epistemic and social emotions to understand the origin of the latter. A qualitative analysis was conducted on answers which were collected from a group of 104 teachers in initial training. The instrument used was an open questionnaire about the intensity with which they recall experiencing the emotions. The two most frequently manifested approaches were topic and achievement. The first one was expressed as interest, enthusiasm, fun, boredom, and rejection, while the second one was expressed as frustration, satisfaction, concern, and nervousness. The results enabled us to understand in more depth the educational environment in which the emotions were generated, which made it possible to consider differentiated approaches according to their underlying causes.

**KEYWORDS:** Academic emotions; Approaches; Initial teacher training; Primary education; Physics.

Recepción: julio 2023 • Aceptación: abril 2024 • Publicación: junio 2024

Pérez-Bueno, B., de las Heras Pérez, M. Á. y Jiménez-Pérez, R. (2024). Enfoques académicos de las emociones hacia la Física en maestros en formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(2), 45-66.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6011>

## INTRODUCCIÓN

Que las emociones forman parte de la agenda de investigación educativa es un hecho. Su estudio e influencia en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias se ha ido abriendo paso y cada vez son más frecuentes las investigaciones sobre este tema (Bravo et al., 2022; Davis y Bellocchi, 2018; Li et al., 2020). Si atendemos a las que se han interesado en analizar las emociones hacia el aprendizaje de las ciencias en la formación inicial de maestros de primaria, podemos encontrar distintos encauces. Unas exploran la intensidad con la que experimentaban determinadas emociones durante su formación académica previa o sobre la enseñanza de estas materias (Brígido et al., 2009, 2013; Mellado et al., 2009). Otras vinculan este componente emocional con otros constructos como la autorregulación, la autoeficacia y el autoconcepto (Arana-Cuenca et al., 2023; Brígido y Borrachero, 2011; Dávila-Acedo y Reis, 2022). Más recientemente se están estudiando las emociones relacionadas con los procesos de indagación y metodologías activas (Davis y Bellocchi, 2018; Marcos-Merino, 2019; Retana-Alvarado et al., 2023). Muchas de estas investigaciones utilizan estudios cuantitativos, centrándose en examinar las emociones que se experimentan en el aula con el objetivo de incrementar las positivas y reducir las negativas. Estos estudios son un gran punto de partida, pero identificar las emociones solo en función de su valencia nos da una información limitada.

Un argumento a favor de esto son los resultados de estudios que tienen en cuenta otra dimensión emocional: la activación o desactivación que producen las emociones en el aprendizaje (Pekrun y Linnenbrink-Garcia, 2014; Shuman y Scherer, 2014). No todas las emociones positivas son activadoras, por ejemplo, sentir confianza ante el dominio de la materia no asegura que el estudiante se implique en el aprendizaje; ni todas las negativas son desactivadoras, como experimentar nerviosismo ante la novedad de una tarea, emoción que bien gestionada puede estimular la implicación en la actividad (Agen y Ezquerro, 2021). Esto pone de manifiesto que se debe dar un paso más allá en la dicotomía emocional positiva-negativa y centrarnos en potenciar aquellas emociones que estimulen un mayor interés hacia el aprendizaje.

Otro aspecto que tener en cuenta es que las emociones no ocurren en abstracto. Para que se produzca una respuesta emocional es necesario previamente que la persona valore subjetivamente el estímulo que la provoca (Arnold, 1960) y esto hace que ante situaciones similares las personas respondan con emociones diferentes (Roseman, 1984; Sherer, 1984). Llevándolo al ámbito de la educación, Pekrun (2006) denominó como académicas a todas las emociones cuyo origen son las valoraciones que hacen los estudiantes sobre cualquier situación, evento o acción que ocurra en el aula. Estos acontecimientos académicos hacia donde van dirigidas las emociones los llamó enfoques y permiten contextualizarlas.

En resumen, la valencia, la activación y el enfoque son tres dimensiones que caracterizan la emoción y su estudio debe integrarlas para conseguir una visión más holística de la emoción (Pekrun y Linnenbrink-Garcia, 2014), lo que permite conocer cómo evolucionan, se transforman e influyen en el aprendizaje y en el compromiso del alumnado (D'Mello y Graesser, 2012).

Esta reflexión nos llevó a plantear una investigación sobre las emociones académicas hacia la Física teniendo en cuenta la integración de estas tres dimensiones. Este artículo, como parte de esa investigación, se centra en estudiar el enfoque académico que antecede a la emoción con la finalidad de conocer aquello que la origina. Estudiar las emociones de los maestros en formación inicial del grado de Educación Primaria, en adelante (MFI), dentro del contexto que las provoca nos permitirá tener un diagnóstico emocional inicial que nos ayude a tomar conciencia de las causas del compromiso emocional hacia la Física.

## MARCO TEÓRICO

### Jerarquización de las emociones académicas: enfoques académicos

Centrándonos en el ámbito académico, el alumnado se puede focalizar en diferentes aspectos a la hora de referirse a una emoción. Esto llevó a Pekrun y Linnenbrink-Garcia (2012) a considerar cuatro grupos distintos de emociones dentro de las académicas: 1) de logro, relacionadas con resultados y actividades académicas; 2) epistémicas, asociadas habilidades cognitivas; 3) sociales, vinculadas a las relaciones dentro de un colectivo; y 4) temáticas, las cuales se manifiestan según el contenido didáctico con el que se esté trabajando. Cada uno de estos enfoques académicos puede presentar otros enfoques más específicos en los que se pueden categorizar las emociones (figura 1).

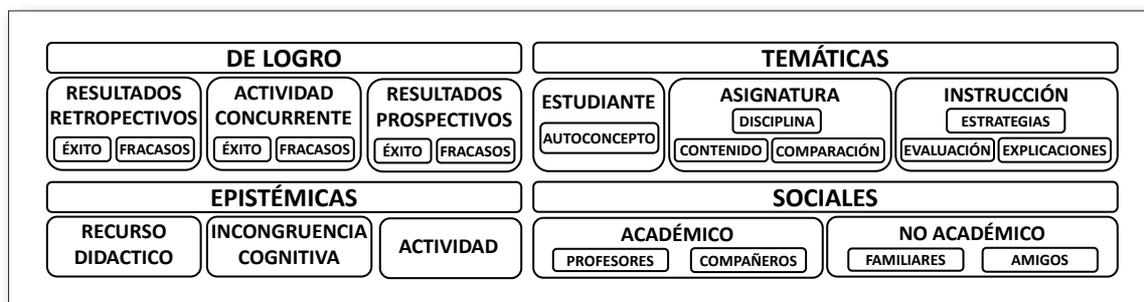


Fig. 1. Jerarquización de los enfoques académicos en los que se pueden agrupar las emociones experimentadas en el aula.

### Los logros del alumnado como motor de sus emociones. Emociones de logro

Uno de los principales acontecimientos en los que se suele enfocar el alumnado a la hora de referirse a sus emociones en el aula son los logros académicos (Schutz y Pekrun, 2007). Esto es, una emoción puede manifestarse paralelamente a la realización de una actividad, a través del recuerdo de resultados ya obtenidos o según las expectativas que tenga antes de conocerlos. Así, las emociones de logro se pueden categorizar, a su vez, en estos tres enfoques temporales: concurrentes, retrospectivas y prospectivas (Pekrun, 2006; Pekrun y Linnenbrink-Garcia, 2014; Pekrun et al., 2023)

Las emociones de logro también se pueden agrupar en términos de éxito o fracaso. Cuando se enfocan en la consecución del aprobado u obtención de buenas calificaciones, se movilizan emociones como preocupación o frustración ante el suspenso y satisfacción o alivio en caso contrario (Pekrun, 2014). Cuando lo hacen hacia el desarrollo de competencias personales (Ames, 1992; Ranellucci et al., 2015), experimentan emociones como interés o disfrute hacia el aprendizaje o aburrimiento y rechazo ante la falta de control de la materia (Daniels et al., 2009).

### La curiosidad epistémica y el estímulo cognitivo como precursor de emociones. Emociones epistémicas

Dentro de las emociones académicas, Pekrun y Linnenbrink-Garcia (2014) agrupan en epistémicas aquellas cuyo origen es la adquisición de conocimiento y se activan ante la valoración de los procesos cognitivos que se desarrollan durante el aprendizaje. Algunos ejemplos son sorpresa, frustración o entusiasmo (Bisquerra, 2022).

Estas se relacionan fuertemente con el tipo de actividad que se desarrolla en el aula. De este modo, previo a una emoción epistémica, el estudiante valorará aspectos como el control cognitivo sobre la ac-

tividad, la novedad y la complejidad (Muis et al., 2018; Ruiz Ortega, 2022). Así, una misma actividad puede generar una emoción de logro, si el foco de atención está en el resultado, o como epistémica, si se centra en el estímulo cognitivo que le implica la resolución del problema (Pekrun, 2014).

Otro antecedente de una emoción epistémica son las incongruencias cognitivas (Nerantzaki et al., 2021), que implican discrepancias o conflictos entre conocimientos previos, creencias o expectativas del estudiante y el conocimiento que se va a adquirir. Este grupo de emociones le motivan para restablecer sus conocimientos (Santamaría y Espitia, 2022).

Por último, autores como Chevrier et al. (2019) reconocen que materiales didácticos estimulantes también pueden ser potenciadores de emociones epistémicas, pues generan entornos de aprendizaje más creativos y efectivos.

### **El entorno social del alumnado como ecosistema emocional. Emociones sociales**

El aprendizaje escolar constituye un constructo individual, pero también social. Dentro del entorno académico, los estudiantes aprenden junto a sus profesores e iguales mediante una permanente interacción. Aunque también influyen otros ámbitos sociales no académicos, como los amigos o el acompañamiento familiar (Ames, 1992; Pekrun, 2014).

Cuando un estudiante expresa sus emociones académicas, puede que lo haga enfocándose en su relación con el entorno y sus valoraciones estarán influenciadas por su contexto sociocultural, por la influencia que este ejerza sobre él o por cómo se perciban a sí mismos dentro de ese grupo social (Anderman y Patrick, 2012). Algunas emociones sociales son vergüenza, frustración, gratitud, interés, etc. (Cavalera y Pepe, 2014; Hachem, 2022; Pekrun, 2014).

### **La ciencia como marco de las emociones. Emociones temáticas**

Las emociones del alumnado varían según la asignatura en la que se enfoquen y la valoración que tengan de esta. Cualquier emoción, ya sea de logro, epistémica o social, estará influenciada por las creencias que tengan sobre la asignatura. Por tanto, se ve necesario reflexionar sobre las emociones enmarcándolas en contenidos didácticos concretos (Goetz et al., 2006).

Si nos centramos en las asignaturas de ciencias, diversas investigaciones indican cómo los estudiantes, a medida que avanzan en sus estudios, no solo modifican la imagen que tienen de esta, describiéndola como aburrida, difícil o poco útil (Solbes, 2011; Vázquez y Manassero, 2008), sino también su propia imagen como estudiante, perdiendo confianza en su capacidad de aprender ciencia (Del Rosal et al., 2020).

No obstante, en la etapa de secundaria se experimentan con más frecuencia emociones como interés o curiosidad hacia la Biología y la Geología que hacia la Física y Química, donde las más destacadas están relacionadas con el miedo o la ansiedad (Borrachero, 2015; Bravo et al., 2022; Mellado et al., 2014), siendo la Física la que más emociones negativas moviliza (Dávila-Acedo et al., 2021).

Estas emociones hacia la Física suelen surgir ante valoraciones de la instrucción recibida, como aburrimiento ante metodologías tradicionales. También se enfocan en el contenido de la asignatura al referirse a emociones como rechazo cuando lo ven excesivamente teórico y difícil. Aspectos personales del propio alumno o alumna, como la percepción que tienen sobre su capacidad para entender o aprobar la asignatura, también influyen notablemente en sus emociones (Borrachero, 2015; Bravo et al., 2022; Dávila-Acedo et al., 2021; Dávila-Acedo et al., 2014).

## OBJETIVOS

Esta investigación surge de la necesidad de conocer las circunstancias más comunes que generan emociones hacia la Física con la finalidad de tener un diagnóstico emocional de nuestros MFI que ayude a comprender mejor la influencia que tienen sus emociones sobre su aprendizaje. Para ello, se estudia un listado de diez emociones mediante los siguientes objetivos específicos:

*Objetivo 1:* Identificar los enfoques académicos que emergen de las justificaciones de los MFI sobre sus emociones hacia la Física.

*Objetivo 2:* Establecer la frecuencia con la que se muestran los enfoques académicos que emergen de las justificaciones de los MFI sobre sus emociones hacia la Física.

*Objetivo 3:* Categorizar el listado de las diez emociones según el enfoque académico predominante mostrado por los MFI.

## METODOLOGÍA

Este estudio se caracteriza por ser descriptivo, exploratorio y no experimental. Hace uso de una metodología mixta con enfoque tanto cuantitativo como cualitativo, para poder comprender, completar y enriquecer la información recogida, posibilitando una imagen más completa del hecho estudiado, reduciendo sesgos y limitaciones propios de un único método.

### Contexto y sujetos

El estudio se realizó con una muestra no probabilística por conveniencia constituida por 104 maestros en formación inicial del grado de Educación Primaria pertenecientes a un centro de estudios universitario privado situado en Bormujos (Sevilla).

### Instrumento de recogida de datos

Se utilizó un cuestionario autoinforme y para su diseño (figura 2) se partió, como primera fase, de una revisión bibliográfica de la cual se hizo una recopilación de las emociones académicas más usadas y con mayor efecto sobre el aprendizaje (Pekrun et al., 2002) con el propósito de seleccionar las más reconocibles en el aula de ciencias (Bravo et al., 2022; Marcos-Merino et al., 2016; Mellado et al., 2014). Las diez emociones seleccionadas fueron: interés, confianza, entusiasmo, satisfacción, diversión, nerviosismo, aburrimiento, frustración, preocupación y rechazo. Coincidiendo con trabajos como los de Ochoa de Alda et al. (2019) y Marcos-Merino (2019), se diseñó un cuestionario donde debían señalar, a través de una escala ordinal Likert desde 1 «no experimentada» a 5 «intensamente experimentada», la intensidad con la que recordaban haber sentido cada una de estas durante su formación en Física. Además, y con la finalidad de determinar los enfoques académicos de la muestra, se les pidió que justificaran la causa que les generaba cada una de las emociones. En una segunda fase, un grupo de expertos examinó las instrucciones, la estructura y el contenido. La tercera fase consistió en la aplicación del cuestionario a un grupo piloto de 50 estudiantes cuyas respuestas permitieron analizar la adecuación del cuestionario y, como cuarta y última fase, su validación. Para la validez de la consistencia interna se midió la omega de McDonald, que dio una fiabilidad superior al 0.8 (McDonald, 2013). También se pudo comprobar que las justificaciones del grupo piloto abordaban la respuesta de los objetivos de la investigación.

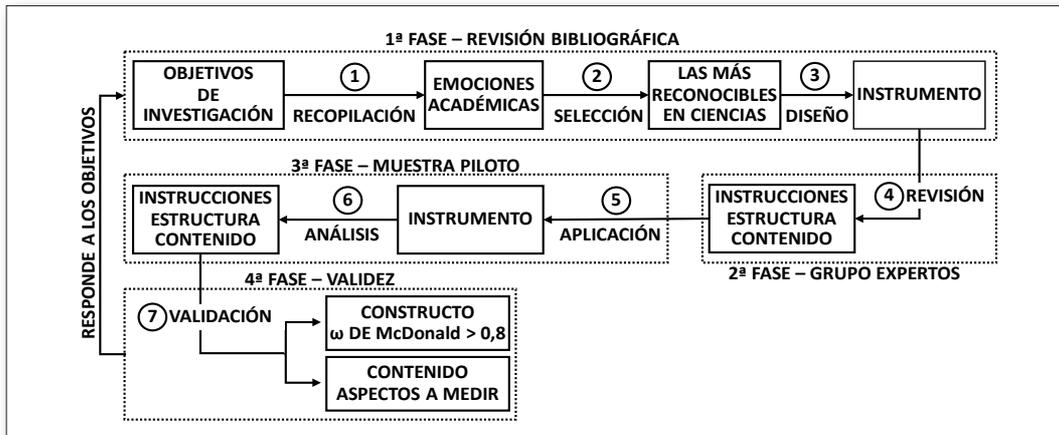


Fig. 2. Fases el diseño del instrumento.

El cuestionario se implementó al inicio del segundo curso del grado, antes de tener contacto con asignaturas de Física para minimizar posibles influencias. La sesión duró una hora e incluyó información sobre el propósito del cuestionario y la aclaración del significado de las emociones estudiadas.

### Métodos de análisis

Con la finalidad de dar respuesta al objetivo 1, se llevó a cabo un análisis cualitativo mediante el uso de la herramienta Atlas.ti que consistió en las fases que se muestran en la figura 3. Por un lado, se establecieron algunas categorías deductivas tras una revisión bibliográfica y, por otro, mediante un análisis preliminar de los datos, categorías inductivas emergentes. La comparación llevó a un primer esquema de categorías y subcategorías de enfoques académicos afines. A partir de este esquema se creó un libro de códigos que facilitara el manejo de la información y con el que se realizó un segundo análisis de datos que derivó en la definición y organización definitiva del esquema de categorías y subcategorías (anexo). Para finalizar, tras comprobar que el esquema final permitía la consecución de los objetivos, se categorizó el listado de emociones iniciales según el enfoque mostrado por el alumnado.

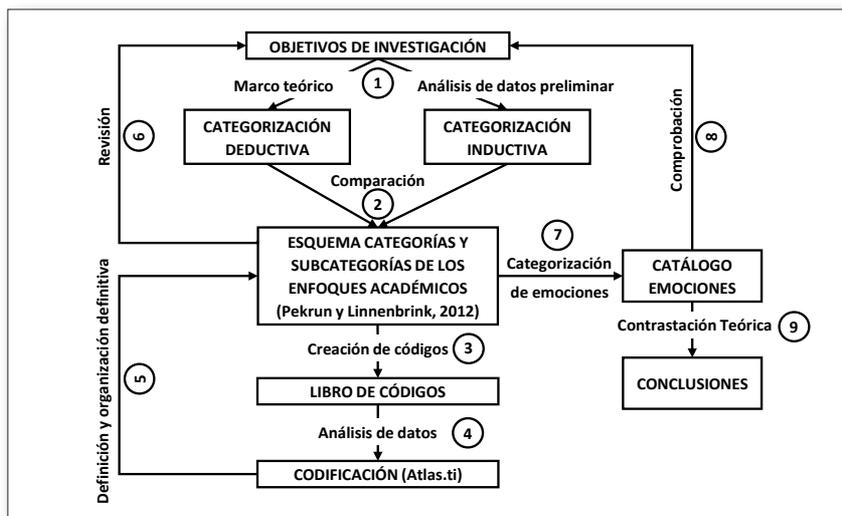


Fig. 3. Fases del método de análisis cualitativo.

Una vez categorizadas las emociones, los datos se procesan cuantitativamente mediante un análisis frecuencial con el propósito de responder al segundo objetivo de esta investigación.

Para dar respuesta al tercer objetivo, y mediante el *software* SPSS, se realiza un análisis correlacional a partir de los datos obtenidos sobre la intensidad con la que recuerdan haber experimentado el listado de las diez emociones (figura 4). Mediante el test de Kolmogorov-Smirnov, se comprobó que los datos siguen una distribución no normal. La prueba de Spearman mostró la viabilidad de reducción de datos y fue comprobada mediante las pruebas de esfericidad de Bartlett y Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). Para la interpretación del resultado del análisis factorial nos apoyamos en un estudio frecuencial de las coocurrencias entre las diez emociones estudiadas con cada uno de los cuatro enfoques académicos.

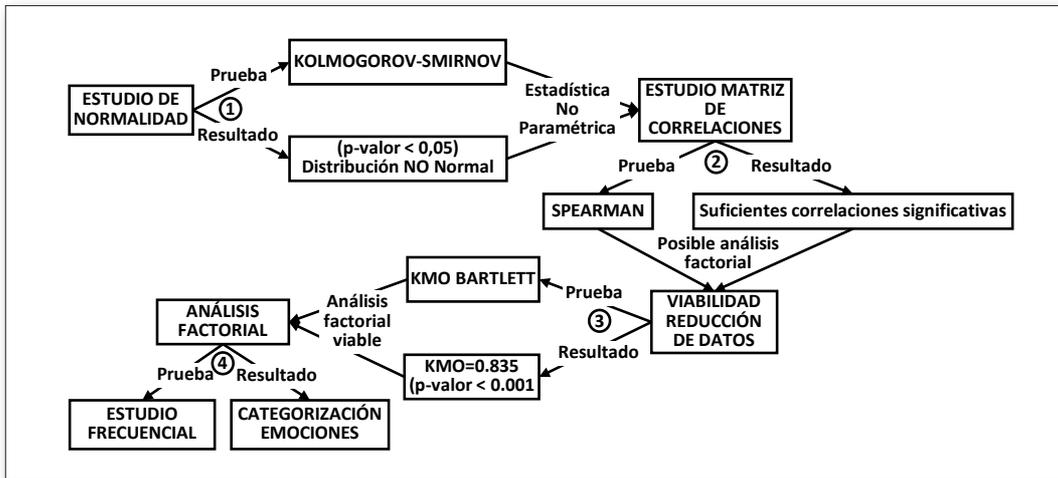


Fig. 4. Fases del método de análisis cuantitativo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de determinar los enfoques académicos que muestran los MFI en sus emociones hacia la Física, estas se codificaron con base en los datos cualitativos obtenidos a partir de las justificaciones, según la circunstancia que acompañaba al recuerdo de cada emoción. El análisis permitió estructurar las emociones en cuatro grupos, según los enfoques académicos propuestos por Pekrun y Linnenbrink-García (2012): temático, de logro, social y epistémico. La tabla 1 recoge ejemplos representativos de respuestas de estudiantes sobre la intensidad con la que recuerdan experimentar determinadas emociones y su justificación junto a la codificación que permitió identificar el enfoque académico de la emoción.

Tabla 1.  
Ejemplos representativos de emociones codificadas según su enfoque académico

Cuestionario		Codificación	Grupo
Emoción-intensidad	Justificación	Circunstancia	Enfoque académico
Aburrimiento-4	<i>Física</i> no es una asignatura que me guste mucho.	Asignatura	Temático
Frustración-4	Siempre que pensaba que había conseguido comprender algo, acababa volviendo a <b>suspender la asignatura</b> .	Fracaso	Logro
Frustración-3	Tuve problemas con un <b>profesor</b> , lo que me hizo frustrarme con la asignatura.	Profesor	Social
Diversión 4	Es muy divertido enfrentarte a la <b>búsqueda de soluciones de un problema</b> , encontrar la lógica.	Actividad epistémica	Epistémico

Observamos que hay emociones que muestran un enfoque temático, puesto que los MFI centran sus recuerdos emocionales en aspectos generales relacionados con la Física como asignatura. Otro grupo de emociones están vinculado con los logros del alumnado, es decir, está enfocado en los desempeños y resultados académicos. Encontramos también emociones focalizadas en el entorno social de los MFI y, por último, emociones que surgen cuando valoran estímulos cognitivos durante su aprendizaje.

La tabla 1 solo recoge un ejemplo representativo de emoción para cada enfoque, pero es necesario destacar que no todos los estudiantes muestran los mismos enfoques para las mismas emociones. La tabla 2 muestra un primer ejemplo donde el aburrimiento se enfoca en la percepción de una mala instrucción (temático). Esto está en consonancia con el estudio Ekatushabe et al. (2021), donde afirma que uno de los antecedentes del aburrimiento en Física es lo monótonas que resultan las clases. En el segundo ejemplo, coincidiendo con Pekrun et al. (2010), el aburrimiento surge ante la falta de control debido a su baja autoeficacia durante la resolución de un problema (de logro). Por lo tanto, una misma emoción estará codificada en un grupo o en otro en función del enfoque que acompañe a la emoción en la justificación del estudiante.

Tabla 2.  
Ejemplos representativos donde comparar los enfoques temáticos y de logro para la emoción aburrimiento

<i>Datos recogidos de la encuesta</i>		<i>Codificación</i>	<i>Grupo</i>
Emoción-Intensidad	Justificación	Circunstancia	Enfoque académico
Aburrimiento-3	La <b>forma de ejecutar la clase</b> hacía que me aburriera mucho.	Instrucción	Temático
Aburrimiento-3	<b>Cuando no entendía el problema</b> y no sabía lo que tenía que hacer.	Fracaso	Logro

Tras identificar los cuatro grupos de emociones académicas, como segundo objetivo se busca establecer la frecuencia con la que se muestran en sus justificaciones cada uno de los enfoques académicos, cuantificando el número de emociones agrupadas en cada uno de ellos en términos de porcentaje.

Observamos en la figura 5 que las emociones estudiadas tienen enfoques mayoritariamente temáticos (48 %) o de logro (44 %), y solo un 5 % son sociales y un 3 % epistémicos.

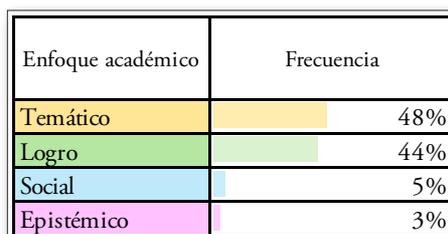


Fig. 5. Frecuencia de los cuatro enfoques académicos.

Llama la atención la diferencia tan acentuada de porcentajes entre las emociones con enfoques temáticos o de logro frente a las sociales o epistémicas. Autores como Anaya-Durand y Anaya-Huertas (2010) y Schutz y Pekrun (2007) reconocen que las emociones de logro son las más destacadas en ambientes académicos, siendo el examen la situación con más potencial emocional que se presenta en el aula. Es decir, el alumnado no reflexiona sobre cómo la forma en que percibe su propio ejercicio intelectual le afecta emocionalmente. Tampoco dan importancia a las relaciones sociales que se estable-

cieron durante su formación, de modo que parecen no ser conscientes de que estas son determinantes en su aprendizaje (Cavalera y Pepe, 2014; Schutz et al., 2006).

Del análisis de las justificaciones observamos que las emociones se pueden seguir agrupando jerárquicamente dentro de cada uno de estos cuatro enfoques académicos otros más específicos, según el grado de concreción mostrados por los MFI, y obtener así más información sobre el origen de la emoción.

Para las emociones con enfoque temático (tabla 3), el 66 % de estas hacen referencia a cuestiones relacionadas con la asignatura, argumentando la afinidad, la apreciación o la utilidad que perciben de la Física en general, de alguno de sus contenidos o comparándola con otras asignaturas. Por otro lado, el 24 % las vinculan con aspectos relacionados con el concepto que tienen de sí mismos como alumnos o alumnas, exponiendo la percepción que tienen sobre su capacidad para entender o aprobar la asignatura. Por último, del 10 % que se centran en la instrucción recibida, unos se enfocan en la calidad de las explicaciones del profesor y otros en las estrategias utilizadas.

Tabla 3.  
Jerarquía y frecuencia de los enfoques temáticos junto con ejemplos representativos

Enfoques que anteceden a la emoción			Ejemplos representativos	
			Emoción-intensidad	Justificación
Temático	Asignatura 66 %	Física	Interés 4	<b>Física</b> es esencial en nuestro día a día.
		Contenidos	Diversión 3	Dependía de si <b>el tema</b> me gustaba o no
		Comparación	Rechazo 4	<b>Con Matemáticas</b> no tuve esa sensación; en cambio con física sí, porque era una asignatura que la veía demasiado difícil.
	Alumno/a 24 %	Autoconcepto	Satisfacción 2	Porque no me siento bien al ver que <b>no se me da bien</b> .
	Instrucción 10 %	Explicaciones	Entusiasmo 4	El entusiasmo venía de la mano de la <b>forma de explicar las clases el profesor</b> .
		Estrategias	Aburrimiento 5	A veces, me parecía tan monótona que me aburría mucho, ya que en el colegio nos la han enseñado <b>a base de ejercicios aburridos y repetición continua de los mismos fallos</b> .

Esto concuerda con estudios anteriores como el de Borrachero (2015) o Dávila-Acedo et al. (2014), que determinaron las causas que originaban las emociones hacia los contenidos de Física y Química, agrupadas según su valencia, con enunciados elaborados *ad hoc* y relacionados con aspectos vinculados con el profesor, con contenidos de la asignatura y con condiciones del propio estudiante. El aporte que incorpora este estudio es que vincula de forma independiente cada una de las diez emociones estudiadas con las posibles causas que las provoca.

En el caso de las emociones de logro (tabla 4), los enfoques específicos mostrados por los estudiantes coinciden con las tres perspectivas temporales de Pekrun et al. (2023): concurrentes, prospectivas y retrospectivas.

Tabla 4.  
Jerarquía y frecuencia de los enfoques de logro junto con ejemplos representativos

Enfoques que anteceden a la emoción			Ejemplos representativos	
			Emoción-intensidad	Justificación
De logro	Actividades concurrentes 45 %	Éxito	Satisfacción - 3	Cuando veía <b>que entendía y me salían los ejercicios.</b>
		Fracaso	Nerviosismo - 4	Cuando <b>no sabía una respuesta</b> en el examen.
	Resultados retrospectivos 29 %	Éxito	Satisfacción - 4	Cuando <b>sacaba muy buena nota</b> en un examen para el que había estudiado mucho.
		Fracaso	Frustración 4	Por <b>los suspensos que continuamente sacaba</b> , después de tanto esfuerzo para nada.
	Resultados prospectivos 26%	Éxito	Nerviosismo 5	Por saber <b>si iba a aprobar</b> y pasar el nivel.
		Fracaso	Preocupación 4	Al pensar que <b>podía suspender</b> por mucho que me esforzara.

Nuestros resultados indican que el 45 % de los MPI justifican sus emociones según el modo en el que percibían sentirse durante la realización de una actividad académica concreta, como cuando resolvían problemas, realizaban un examen, etc. El 29 % canaliza sus recuerdos emocionales en los resultados obtenidos en el pasado; y el 26 %, en sus expectativas de consecución de metas, es decir, en los logros que deseaban o esperaban obtener. En cada uno de estos grupos de emociones, algunos estudiantes concretan algo más y se enfocan o bien en el éxito o bien en el fracaso, en términos de aprendizaje o de resultados académicos. Por ello, estamos de acuerdo con Anaya-Durand y Anaya-Huertas (2010) cuando manifiestan que su compromiso académico puede estar orientado a una automotivación permanente y a largo plazo por aprender y mejorar o hacia una motivación externa, temporal y a corto plazo por aprobar, centrándose exclusivamente en lo requerido por el profesorado.

Los resultados mostrados en la tabla 5 apoyan los obtenidos por Hachem (2022), puesto que, de las pocas emociones sociales que manifestaron sentir, el 98 % se refieren al entorno académico, expresando cómo su relación con el profesor o con sus compañeros les influyó emocionalmente. Tan solo un 7 % nombra a familiares como estímulo emocional.

Tabla 5.  
Jerarquía y frecuencia de los enfoques sociales junto con ejemplos representativos

Enfoques que anteceden a la emoción			Ejemplos representativos	
			Emoción	Justificación
Social	Entorno académico 98 %	Profesores	Frustración 5	Ha sido de las pocas asignaturas que me han frustrado y amargado los cursos. Iba siempre con miedo a clases de la ESO <b>por culpa del profesor.</b>
		Compañeros	Rechazo 4	Me sentía rechazada <b>por mis compañeros.</b>
	Entorno no académico 7 %	Familiares	Frustración 5	Desde pequeña siempre <b>me han dicho en casa que no servía para las asignaturas de ciencias</b> , aunque casualmente fue de mis notas más altas para selectividad.

Hay que destacar también el hecho de que todas las emociones epistémicas están centradas exclusivamente en cómo les hacía sentir, a escala cognitivo, la resolución de problemas (tabla 6) y no haya respuestas que valoren situaciones donde se trabajaran explícitamente incongruencias cognitivas o con

materiales estimulantes. Podemos intuir que estas emociones manifestadas surgen de forma intrínseca al estudiante por la afinidad que muestran hacia este tipo de ejercicio intelectual y no de forma intencional por parte de sus profesores.

Tabla 6.  
Jerarquía y frecuencia del enfoque epistémico junto con un ejemplo representativo

Enfoques que anteceden a la emoción		Ejemplos representativos	
		Emoción	Justificación
Epistémico	Actividad 100 %	Entusiasmo 4	Me gustaba hacer problemas complejos donde sobre todo <b>había que pensar</b> .

Una vez determinadas las frecuencias con las que se muestran los enfoques académicos, se pretende, como tercer objetivo, categorizar cada una de las diez emociones estudiadas, según si son temáticas, de logro, sociales o epistémicas.

Como primer paso, se plantea un análisis correlacional (Spearman) entre las intensidades de las diferentes emociones para comprobar si se establecen agrupaciones de emociones. La matriz indicó que se poseían suficientes correlaciones significativas para justificar un análisis factorial. Esto fue verificado por la prueba de esfericidad de Bartlett ( $p$ -valor  $<0.001$ ), con un valor de 0.835 para el estadístico KMO. Dado el tamaño del número de sujetos, los valores aceptables de la comunalidad deben ser iguales o superiores a 0.55. Sin embargo, los valores de las variables confianza (0.429) y satisfacción (0.546), en principio, carecen de explicación suficiente para la componente, por tanto, estas variables fueron revisadas más adelante. Del análisis de componentes principales con rotación varimax (tabla 7) se obtuvieron 2 factores que aportan una explicación de varianza del 58,1 %.

Tabla 7.  
Matriz de componente rotado

Emoción	Factor 1	Factor 2
Diversión	,794	,035
Aburrimiento	-,786	,209
Interés	,773	-,233
Entusiasmo	,711	-,323
Rechazo	-,642	,297
Nerviosismo	,067	,821
Preocupación	-,255	,789
Frustración	-,235	,620
Confianza	,317	-,545
Satisfacción	,505	-,538

Observamos que la primera componente está formada por las emociones diversión, aburrimiento, interés, entusiasmo y rechazo. La segunda componente la conforman nerviosismo, preocupación, frustración, confianza y satisfacción, aunque estas dos últimas están por debajo del nivel de significación, algo ya previsto por sus valores en la comunalidad.

Como segundo paso, y con el propósito interpretar el resultado anterior, se busca comprobar si la característica común de las emociones agrupadas en cada uno de los dos factores está relacionada con la circunstancia que la provoca. Para ello, se analizaron las coocurrencias entre las diez emociones iniciales con cada uno de los cuatro enfoques académicos.

Tal y como vimos en la tabla 2, cada emoción puede mostrar enfoques diferentes. El estudio frecuencial de la figura 6 indica las veces que una misma emoción ha mostrado un determinado enfoque.

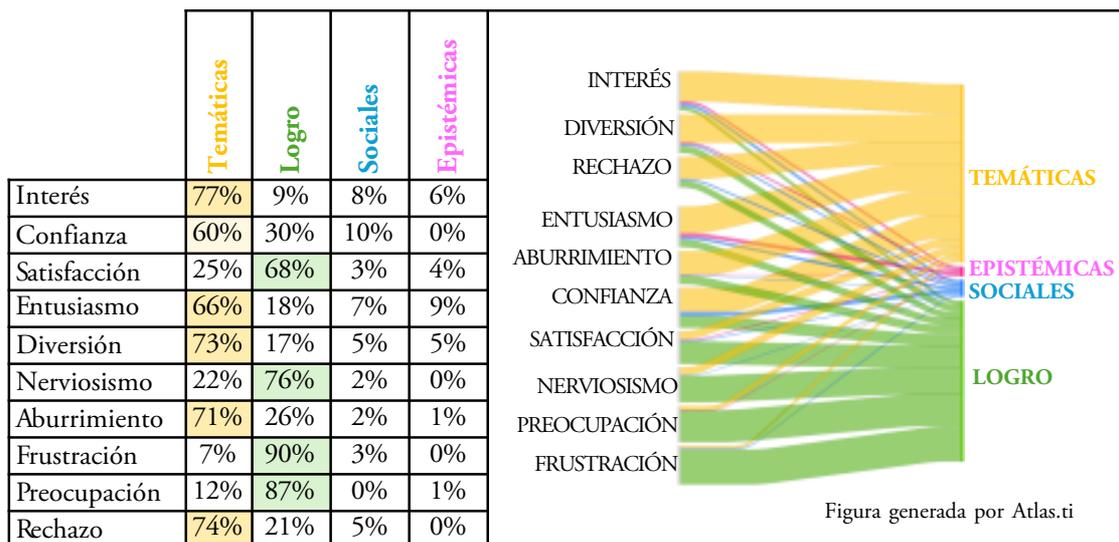


Fig. 6. Análisis frecuencial de las coocurrencias enfoque-emoción.

Así, si ponemos como ejemplo la emoción de interés, el 77 % de las justificaciones muestran un enfoque temático, el 9 % de logro, el 8 % social y el 6 % epistémico, por lo que consideramos que su enfoque predominante es el temático.

Extrapolando esto al resto de las emociones, se consideró que interés (77 %), rechazo (74 %), diversión (73 %), aburrimiento (71 %) y entusiasmo (66 %) son emociones con enfoque académico predominante temático. Frustración (90 %), preocupación (87 %), nerviosismo (76 %) y satisfacción (68 %) con enfoque predominante de logro.

Comparando este resultado con el análisis factorial, las emociones agrupadas en el factor 1 son precisamente emociones cuyo enfoque predominante es temático, a excepción de la confianza. Este resultado, junto con el nivel de significación obtenido en la matriz de componente rotado (tabla 7), llevó a no incluirla en ningún factor.

Por otro lado, lo que caracteriza a las emociones agrupadas en el factor 2 es que son sus logros académicos los que las originan. Un estudio más detallado de la emoción de satisfacción, cuyo nivel de significación también está por debajo del 0.55, tuvo en cuenta tanto la teoría de atribución de Weiner (1985) como el modelo cromático afectivo de Díaz y Flores (2001) para considerar que frustración y satisfacción son emociones opuestas. El primero lo explica afirmando que tras conocer el resultado de un acontecimiento se produce una reacción positiva de satisfacción basada en el éxito o una negativa de frustración si lo que percibe es un fracaso. Los segundos incluyen en su modelo la satisfacción y la frustración como antónimos. La tabla 8 recoge algunos ejemplos representativos donde observar cómo la insatisfacción y la frustración la relacionan con la no recompensa y viceversa.

Tabla 8.  
Análisis frecuencial de las coocurrencias entre grado de intensidad de las emociones de satisfacción/frustración con éxitos/fracasos

Emoción-intensidad	Éxito	Fracaso	Ejemplos representativos
Satisfacción 1-2	0 %	32 %	Por más que lo intentaba, <b>mis resultados en esta asignatura no eran muy buenos.</b>
Satisfacción 3	26 %	0 %	Los resultados <b> fueron buenos, aunque mejorables.</b>
Satisfacción 4-5	42 %	0 %	<b>Estoy muy contenta de mis resultados</b> a lo largo de mi vida estudiantil, ya que gracias al interés y esfuerzo que puse, logré mejorar mucho.
<b>Total</b>	<b>68 %</b>	<b>32 %</b>	
Frustración 1-2	5 %	0 %	Nunca he llegado a frustrarme por nada relacionado con mis resultados en esto.
Frustración 3	2 %	18 %	Porque <b>no siempre se conseguía los objetivos.</b>
Frustración 4-5	0 %	75 %	Cuando me esforzaba demasiado o había estudiado mucho y <b>no veía el resultado que quería o esperaba.</b>
<b>Total</b>	<b>7 %</b>	<b>93 %</b>	

Aunque según la distribución de las frecuencias mostradas en tabla 8, la satisfacción y la frustración se correlacionan negativamente, el análisis cuantitativo no tiene en cuenta si las respuestas del alumnado están enfocadas mayoritariamente hacia el fracaso, como ocurre con la frustración, o hacia ambos, como ocurre con la satisfacción. Esto hace que unos porcentajes no compensen otros, lo que hace que la satisfacción tenga una menor significación. Por tanto, y a pesar de no superar el punto de corte de la carga factorial, sí se ha considerado la satisfacción como parte del factor 2.

Como tercer y último paso, se codificaron las emociones como factor 1 o factor 2, según pertenecieran a uno o a otro, y se estudiaron las coocurrencias entre estos factores y los enfoques académicos para analizar su consistencia. Los porcentajes de la figura 7 muestran que las emociones codificadas como temáticas en el análisis cualitativo coinciden en un 72 % con las emociones agrupadas en el factor 1 del análisis cuantitativo. Para las emociones de logro, la coincidencia ha sido del 81 %.



Fig. 7. Porcentaje de coocurrencias entre enfoques académicos y factores.

Como resultado, podemos decir que el enfoque predominante de las emociones ha permitido categorizar interés, entusiasmo, diversión, aburrimiento y rechazo como emociones temáticas, y satisfacción, frustración, nerviosismo y preocupación como emociones de logro.

Podemos considerar, por tanto, que la factorización de las emociones de este estudio no coincide con la división tradicional según la valencia Ochoa de Alda et al. (2019) y Dávila-Acedo y Reis (2022), puesto que se generan dos grupos de emociones cuya fuerza de correlación, independientemente de

si son positivas o negativas, concuerda con dos de los enfoques académicos propuestos por Pekrun y Linnenbrink-Garcia (2012), el temático y el de logro. Es posible que el hecho de pedirles en sus justificaciones que reflexionen sobre las causas que les generan las emociones hace que los MFI hayan manifestado emociones en función de la circunstancia en la que se han enfocado en el momento del recuerdo de la emoción y no se hayan centrado solo en emociones, o bien positivas o negativas, que les genera la Física en general.

La tabla 9 recoge un ejemplo de las justificaciones dadas por un estudiante en las que se puede observar el marcado enfoque de las emociones temáticas y de logro.

Tabla 9.  
Ejemplo representativo de justificaciones y categorización de sus emociones según su enfoque

Enfoque	Ejemplo representativo	
	Emoción-intensidad	Justificación
TEMÁTICAS	Interés-2	Mi interés hacia la <b>física</b> era bastante bajo, ya que <b>no veía</b> que esos conceptos que me enseñaban los podría <b>aplicar algún día en mi vida</b> .
	Entusiasmo-2	Cuando <b>los profesores</b> se ponían delante de la pizarra a explicar cosas que no entendía, se me quitaban las ganas de aprender.
	Diversión-1	<b>Mis profesores</b> siempre explicaban leyendo un libro y usando la pizarra, y luego nos mandaban ejercicios.
	Aburrimiento-3	Por una parte, me gustaba la <b>asignatura</b> , pero llegaba un momento que me aburría porque me resultaban muy monótonas las clases.
	Rechazo-4	Al principio no rechazaba esta <b>asignatura</b> , sin embargo, a partir de ESO vi <b>que la cosa se iba complicando cada vez más</b> .
DE LOGRO	Satisfacción-4	<b>Cuando aprobaba</b> gracias a mi esfuerzo.
	Nerviosismo-5	Cuando me ponía a <b>hacer ejercicios</b> de estas materias y <b>no me veía capaz</b> .
	Frustración-4	Cuando estaba <b>haciendo un examen</b> y veía que <b>la solución</b> que me daba <b>no tenía mucho sentido</b> .
	Preocupación-5	Porque yo <b>intentaba hacer los ejercicios</b> , pero <b>no me salían</b> , por lo que no sabía qué podía hacer para poder superarlas.

El interés, el entusiasmo, la diversión, el aburrimiento y el rechazo se justifican a partir de experiencias muy generales que le ayudaron a construir su propio concepto de la asignatura de Física y de cómo enseñarla. Sin embargo, las emociones de satisfacción, nerviosismo, frustración y preocupación se basan exclusivamente en vivencias que tienen que ver claramente con sus desempeños académicos y resultados. Este ejemplo representativo muestra cómo la mayoría de los MFI relacionan las emociones temáticas con la enseñanza de la materia, mientras que las de logro las vinculan con el aprendizaje de esta.

Llegados a este punto, la figura 8 muestra un esquema resumen de los resultados obtenidos vinculados con los objetivos de investigación y el tipo de análisis realizado.

OBJETIVO		ANALISIS	PROCEDIMIENTO	RESULTADO	
1	IDENTIFICAR ENFOQUES ACADEMICOS	CUALITATIVO	CODIFICACIÓN JUSTIFICACIONES	<b>ENFOQUES</b>	
				<b>TÉMÁTICO SOCIAL</b>	<b>LOGRO EPISTÉMICO</b>
2	ESTABLECER FRECUENCIA ENFOQUES	CUANTITATIVO	ESTUDIO FRECUENCIAL	<b>FRECUENCIA</b>	
				Temático (48%) Social (5%)	Logro (44%) Epistémico (3%)
3	CATEGORIZAR EMOCIONES SEGÚN ENFOQUE PREDOMINANTE	CUANTITATIVO	REDUCCIÓN FACTORIAL	<b>FACTOR 1</b>	<b>FACTOR 2</b>
				Diversión Aburrimiento Interés Entusiasmo Rechazo	Nerviosismo Preocupación Frustración Confianza Satisfacción
		CUALITATIVO	COOCURRENCIAS EMOCIÓN-ENFOQUE	<b>TEMÁTICO</b>	<b>LOGRO</b>
				Diversión (73%) Aburrimiento (71%) Interés (77%) Entusiasmo (66%) Rechazo (74%) Confianza (60%)	Nerviosismo (76%) Preocupación (87%) Frustración (90%) Satisfacción (68%)
		CUANTITATIVO	ESTUDIO FRECUENCIAL	<b>TEMÁTICO</b>	<b>LOGRO</b>
				Factor 1 (72%)	Factor2 (81%)
CUALITATIVO	CATEGORIZACIÓN EMOCIONES	<b>TEMÁTICO</b>	<b>LOGRO</b>		
		Diversión Aburrimiento Interés Entusiasmo Rechazo	Nerviosismo Preocupación Frustración Satisfacción		

Fig. 8. Esquema resumen donde se vincula objetivo, análisis, procedimiento y resultado.

Consideramos que este estudio ha permitido tener un diagnóstico emocional de nuestros MFI, al conocer las circunstancias más comunes que generan determinadas emociones hacia la Física.

## CONCLUSIONES

El esquema de categorías utilizado para el análisis de las justificaciones, sobre la intensidad con la que recordaban haber sentido cada una de las emociones, ha posibilitado identificar los cuatro enfoques académicos propuestos por Pekrun y Linnenbrink-García (2012): temático, de logro, social y epistémico. Conocer las causas académicas que originan las emociones hacia la Física nos da un diagnóstico emocional del que partir para el diseño de acciones concretas que ayuden a la gestión emocional en el aula.

El hecho de que un porcentaje muy pequeño de las emociones expresadas por los MFI se hayan catalogado como sociales nos abre el camino de la necesidad de trabajar de forma explícita el desarrollo socioemocional. De acuerdo con Schutz et al. (2006), el alumnado ha de ser consciente de que el aprendizaje no es algo individual y que las relaciones emocionales que surgen son determinantes para facilitar u obstaculizar su aprendizaje. Se ha de generar un ambiente donde se desarrollen habilidades sociales, como la comunicación y el trabajo en equipo, entre otras competencias, y reflexionen sobre las emociones sociales que se establezcan.

Por otro lado, la gran diferencia que existe entre la cantidad de emociones de logro manifestadas y las epistémicas nos hace pensar que la motivación académica que mueve a la mayoría de los MFI son sus resultados, viendo su aprendizaje como un compromiso y una obligación en lugar de un disfrute en sí mismo. Esto puede ser, tal y como argumentan Santamaría y Espitia (2022), como consecuencia del sistema de evaluación establecido. Esto implica llevar al aula actividades en las que se promuevan procesos cognitivos y, por ende, emociones epistémicas, mediante incongruencias, análisis críticos de situaciones controvertidas, materiales didácticos que estimulen la creatividad, etc., que hagan que obtener una buena calificación sea una consecuencia de un buen desempeño y no el fin (Anaya-Durand y Anaya-Huertas, 2010).

Del listado de emociones estudiadas, el grupo de emociones que tienen los logros académicos como enfoque predominante son satisfacción, frustración, nerviosismo y preocupación, mientras que del enfoque temático lo tienen las emociones de interés, entusiasmo, diversión, aburrimiento y rechazo. Esto nos da un patrón emocional del que partir. Las justificaciones de las emociones temáticas reflejan el grado de interés, de afinidad y de compromiso con la asignatura. Las de logro están más relacionadas con la autoeficacia y la motivación extrínseca del alumno o alumna, al estar conectadas con la evaluación y la percepción del éxito o de fracaso.

Se ha podido comprobar, por tanto, que las emociones son fenómenos complejos y multidimensionales, y estudiar el enfoque ha permitido acercarnos al entorno educativo en el que se producían las emociones de nuestros MFI. La variabilidad de contextos, de instrucciones recibidas, de características propias de los estudiantes ha hecho ver, coincidiendo con Pekrun (2006), que una misma emoción pueda estar generada por circunstancias académicas diferentes o viceversa, que una misma circunstancia genere emociones distintas.

El siguiente paso en este trabajo es estudiar cada grupo de emoción para conocer las valoraciones subjetivas de cada enfoque. La finalidad es evaluar el impacto emocional de su formación previa e identificar otros patrones y tendencias emocionales hacia la Física que permitan reconocer cuándo una emoción actúa como activadora o desactivadora del aprendizaje, independientemente de su valencia.

## BIBLIOGRAFÍA

- Agen, F. y Ezquerra, A. (2021). Análisis de las emociones en el trabajo de indagación: «La Caja Negra». *Investigación en la Escuela*, 103, 125-138.  
<https://doi.org/10.12795/IE.2021.i103.09>
- Ames, C. (1992). Classrooms: Goals, structures, and student motivation. *Journal of Educational Psychology*, 84(3), 261-271.  
<https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.3.261>
- Anaya-Durand, A. y Anaya-Huertas, C. (2010). ¿Motivar para aprobar o para aprender? Estrategias de motivación del aprendizaje para los estudiantes. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 25(1), 5-14.
- Anderman, E. M. y Patrick, H. (2012). Achievement Goal Theory, Conceptualization of Ability/Intelligence, and Classroom Climate. En S. Christenson, A. Reschly y C. Wylie (Eds.), *Handbook of Research on Student Engagement* (pp. 173-192). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2018-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2018-7_8)
- Arana-Cuenca, A., Romero-García, C., Pérez Andrés, S. y Marcilla García, E. (2023). Emociones y adquisición de conocimiento sobre la luz y los colores mediante un aprendizaje basado en proyectos en educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias.*, 41(1), 79-100.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5723>
- Arnold, M. (1960). *Emotion and personality*. Columbia University Press.

- Bisquerra, R. (2022). Emociones epistémicas: concepto, aplicaciones y evaluación. En M. Álvarez y R. Bisquerra, *Manual de Orientación y Tutoría (versión electrónica)*. La Ley.
- Borrachero, A. B. (2015). *Las emociones en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en educación secundaria* [Tesis doctoral. Universidad de Extremadura].
- Bravo, E., Brígido, M., Hernández, M. A. y Mellado, V. (2022). Las emociones en ciencias en la formación inicial del profesorado de infantil y primaria. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado. Continuación de la antigua Revista de Escuelas Normales*, 97(36.1).  
<https://doi.org/10.47553/rifop.v97i36.1.92426>
- Brígido, M. y Borrachero, A. B. (2011). Relación entre autoconcepto, autoeficacia y autorregulación en ciencias de futuros maestros de primaria. *International Journal of Developmental and Educational Psychology: INFAD. Revista de Psicología*, 2(1), 107-113.
- Brígido, M., Caballero, A., Bermejo, M. L. y Mellado, V. (2009). Las emociones sobre la enseñanza y aprendizaje de las ciencias en estudiantes de maestros de primaria. *Revista Electrónica de Motivación y Emoción*, 11(31).
- Brígido, M., Couso, D., Gutiérrez, C. y Mellado, V. (2013). The Emotions about Teaching and Learning Science: A Study of Prospective Primary Teachers in Three Spanish Universities. *Journal of Baltic Science Education*, 12(3), 299-311.  
<https://doi.org/10.33225/jbse/13.12.299>
- Cavallera, C. y Pepe, A. (2014). Social Emotions and Cognition: Shame, Guilt and Working Memory. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 112, 457-464.  
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.01.1189>
- Chevrier, M., Muis, K. R., Trevors, G. J., Pekrun, R. y Sinatra, G. M. (2019). Exploring the antecedents and consequences of epistemic emotions. *Learning and Instruction*, 63, 101209.  
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.05.006>
- Daniels, L. M., Stupnisky, R. H., Pekrun, R., Haynes, T. L., Perry, R. P. y Newall, N. E. (2009). A longitudinal analysis of achievement goals: From affective antecedents to emotional effects and achievement outcomes. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 948-963.  
<https://doi.org/10.1037/a0016096>
- Dávila-Acedo, M. A., Borrachero, A. B., Brígido, M. y Costillo, E. (2014). Las emociones y sus causas en el aprendizaje de la Física y la Química. *International Journal of Developmental and Educational Psychology. Revista INFAD de Psicología.*, 4(1), 287-294.  
<https://doi.org/10.17060/ijodaep.2014.n1.v4.614>
- Dávila-Acedo, M. A., Cañada-Cañada, F., Sánchez, J. y Mellado, V. (2016). Las emociones en el aprendizaje de Física y Química en Educación Secundaria. Causas relacionadas con el estudiante. *Educación Química*, 27(3), 217-225.  
<https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.04.001>
- Dávila-Acedo, M. A., Cañada, F., Sánchez-Martín, J., Airado-Rodríguez, D. y Mellado, V. (2021). Emotional performance on physics and chemistry learning: the case of Spanish K-9 and K-10 students. *International Journal of Science Education*, 43(6), 823-843.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1889069>
- Dávila-Acedo, M. A. y Reis, P. (2022). Competencia emocional y autoeficacia: consecuencias para la educación científica. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 18(1), 168-187.  
<https://doi.org/10.14483/23464712.17105>
- Davis, J. P. y Bellocchi, A. (2018). Emotions in Learning Science. En S. M. Ritchie y K. Tobin (Ed.), *Eventful learning: Learner emotions* (pp. 9-29). Brill.  
[https://doi.org/10.1163/9789004377912\\_002](https://doi.org/10.1163/9789004377912_002)

- Del Rosal, I. y Bermejo, M. L. (2017). Autoeficacia en estudiantes universitarios: diferencias entre el Grado de Maestro en Educación Primaria y los Grados en Ciencias. *International Journal of Developmental and Educational Psychology. Revista INFAD de Psicología.*, 1(1), 115-123.  
<https://doi.org/10.17060/ijodaep.2017.n1.v1.904>
- Del Rosal, I., Dávila-Acedo, M. A. y Cañada, F. (2020). Autoeficacia y autoestima en la asignatura de Ciencias de la Naturaleza en Educación Primaria. *Revista Investigación en la Escuela*, 102, 71-83.  
<https://doi.org/10.12795/IE.2020.i102.05>
- Díaz, J. L. y Flores, E. O. (2001). La estructura de la emoción humana: Un modelo cromático del sistema afectivo. *Salud Mental*, 24(4), 20-35.
- D'Mello, S. y Graesser, A. (2012). Dynamics of affective states during complex learning. *Learning and Instruction*, 22(2), 145-157.  
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.10.001>
- Ekatushabe, M., Kwarikunda, D., Muwonge, C. M., Ssenyonga, J. y Schiefele, U. (2021). Relations between perceived teacher's autonomy support, cognitive appraisals and boredom in physics learning among lower secondary school students. *International Journal of STEM Education*, 8(8), 1-15.  
<https://doi.org/10.1186/s40594-021-00272-5>
- Goetz, T., Frenzel, A. C., Pekrun, R. y Hall, N. C. (2006). The Domain Specificity of Academic Emotional Experiences. *The Journal of Experimental Education*, 75(1), 5-29.  
<https://doi.org/10.3200/JEXE.75.1.5-29>
- Hachem, M. (2022). *Social Emotions in Cognition and Learning: Integrating Perspectives from the Educational Learning Sciences and Neurosciences* [Tesis doctoral.University of Calgary].
- Hareli, S. y Weiner, B. (2002). Social Emotions and Personality Inferences: A Scaffold for a New Direction in the Study of Achievement Motivation. *Educational Psychologist*, 37(3), 183-193.  
[https://doi.org/10.1207/S15326985EP3703\\_4](https://doi.org/10.1207/S15326985EP3703_4)
- Li, L., Gow, A. D. I. y Zhou, J. (2020). The Role of Positive Emotions in Education: A Neuroscience Perspective. *Mind, Brain, and Education*, 14(3), 220-234.  
<https://doi.org/10.1111/mbe.12244>
- Marcos-Merino, J. M. (2019). Análisis de las relaciones emociones-aprendizaje de maestros en formación inicial con una práctica activa de Biología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 3-14.  
[https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2019.v16.i1.1603](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1603)
- Marcos-Merino, J. M., Esteban Gallego, R. y Ochoa de Alda, J. A. G. (2016). Efecto de una práctica docente diseñada partiendo de las emociones de maestros en formación bajo el enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad. *Indagatio Didactica*, 8(1), 143-157.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.34624/id.v8i1.3142>
- McDonald, R. P. (2013). *Test Theory. A unified treatment*. Psychology Press.  
<https://doi.org/10.4324/9781410601087>
- 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-Bernal, B., Jiménez-Pérez, R. y Bermejo, M. L. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 11-36.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1478>
- Mellado, V., Garritz, A. y Brígido, M. (2009). La dimensión afectiva olvidada del conocimiento didáctico del contenido de los profesores de ciencias. *Enseñanza de las ciencias, Extra*, 347-351.
- Muis, K. R., Chevrier, M. y Singh, C. A. (2018). The Role of Epistemic Emotions in Personal Epistemology and Self-Regulated Learning. *Educational Psychologist*, 53(3), 165-184.  
<https://doi.org/10.1080/00461520.2017.1421465>

- Nerantzaki, K., Efklides, A. y Metallidou, P. (2021). Epistemic emotions: Cognitive underpinnings and relations with metacognitive feelings. *New Ideas in Psychology*, 63, 100904.  
<https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2021.100904>
- Ochoa de Alda, J. A. G., Marcos-Merino, J. M., Méndez Gómez, F. J., Mellado Jiménez, V. y Esteban, M. R. (2019). Emociones académicas y aprendizaje de biología, una asociación duradera. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 43-61.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2598>
- Pekrun, R. (2006). The Control-Value Theory of Achievement Emotions: Assumptions, Corollaries, and Implications for Educational Research and Practice. *Educational Psychology Review*, 18, 315-341.  
<https://doi.org/10.1007/s10648-006-9029-9>
- Pekrun, R. (2014). *Emotions and learning*. Vol. 24. International Academy of Education (IAE). Geneva.
- Pekrun, R. (2017). Emotion and Achievement During Adolescence. *Child Development Perspectives*, 11(3), 215-221.  
<https://doi.org/10.1111/cdep.12237>
- Pekrun, R., Goetz, T., Daniels, L. M., Stupnisky, R. H. y Perry, R. P. (2010). Boredom in achievement settings: Exploring control-value antecedents and performance outcomes of a neglected emotion. *Journal of Educational Psychology*, 102(3), 531-549.  
<https://doi.org/10.1037/a0019243>
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W. y Perry, R. P. (2002). Academic Emotions in Students' Self-Regulated Learning and Achievement: A Program of Qualitative and Quantitative Research. *Educational Psychologist*, 37(2), 91-105.  
[https://doi.org/10.1207/S15326985EP3702\\_4](https://doi.org/10.1207/S15326985EP3702_4)
- Pekrun, R. y Linnenbrink-Garcia, L. (2012). Academic Emotions and Student Engagement. En S. Christenson, A. Reschly y C. Wylie (Ed.), *Handbook of Research on Student Engagement* (pp. 259-282). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2018-7\\_12](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2018-7_12)
- Pekrun, R. y Linnenbrink-Garcia, L. (2014). Introduction to emotions in education. En R. Pekrun y L. Linnenbrink-Garcia (Ed.), *International handbook of emotions in education* (pp. 11-20). Springer.
- Pekrun, R., Marsh, H. W., Elliot, A. J., Stockinger, K., Perry, R. P., Vogl, E., Goetz, T., van Tilburg, W. A. P., Lüdtke, O. y Vispoel, W. P. (2023). A three-dimensional taxonomy of achievement emotions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 124(1), 145-178.  
<https://doi.org/10.1037/pspp0000448>
- Ranellucci, J., Hall, N. C. y Goetz, T. (2015). Achievement goals, emotions, learning, and performance: A process model. *Motivation Science*, 1(2), 98-120.  
<https://doi.org/10.1037/mot0000014>
- Retana-Alvarado, D. A., De las Heras Pérez, M. Á., Vázquez-Bernal, B. y Jiménez-Pérez, R. (2023). El cambio en las emociones de futuros maestros en la interacción con una enseñanza de las ciencias basada en indagación. *Técnica, Episteme y Didaxis: TED*, 53 (ene. 2023), 139-161.  
<https://doi.org/10.17227/ted.num53-13772>
- Ritchie, S. M., Tobin, K., Sandhu, M., Sandhu, S., Henderson, S. y Roth, W.-M. (2013). Emotional arousal of beginning physics teachers during extended experimental investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 137-161.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21060>
- Roseman, I. J. (1984). Cognitive determinants of emotion: A structural theory. *Review of Personality & Social Psychology*, 5, 11-36.

- Ruiz, F. J. (2022). Emoções Epistêmicas no Ensino da Argumentação em Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, e39184, 1-19.  
<https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2022u11671185>
- Santamaría, J. A. y Espitia, A. C. (2022). El trasfondo afectivo intersubjetivo en la adquisición de conocimiento y la confianza como actitud epistémica. *Childhood & philosophy*, 18, 01-29.  
<https://doi.org/10.12957/childphilo.2022.61200>
- Schutz P. A., Aultman, L. P. y Williams-Johnson M. R. (2009). Educational Psychology Perspectives on Teachers' Emotions. En P. Schutz y M. Zembylas (Ed.), *Advances in Teacher Emotion Research* (pp. 195-212). Springer US.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0564-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0564-2_10)
- Schutz, P. A., Hong, J. Y., Cross, D. I. y Osbon, J. N. (2006). Reflections on Investigating Emotion in Educational Activity Settings. *Educational Psychology Review*, 18, 343-360.  
<https://doi.org/10.1007/s10648-006-9030-3>
- Schutz, P. y Pekrun, R. (Ed.). (2007). *Emotion in education*. Elsevier Academic Press.
- Scherer, K. R. (1984). On the nature and function of emotion: A component process approach. En K. R. Scherer y P. Ekman (Ed.), *Approaches to emotion* (pp. 293-317). NJ. Erlbaum.
- Shuman, V. y Scherer, K. R. (2014). Concepts and structures of emotions. En R. Pekrun y L. Linnenbrink-Garcia (Ed.), *International Handbook of Emotions in Education* (pp. 13-35). Springer.  
<https://doi.org/10.4324/9780203148211>
- Solbes, J. (2011). ¿Por qué disminuye el alumnado de ciencias? *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 67, 53-61.
- Vázquez, Á. y Manassero, M. A. (2008). El declive de las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes: un indicador inquietante para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(3), 274-292.  
[https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2008.v5.i3.03](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2008.v5.i3.03)
- Weiner, B. (1985). An attributional theory of achievement motivation and emotion. *Psychological Review*, 92(4), 548-573.  
<https://doi.org/10.1037/0033-295X.92.4.548>

## ANEXO

### LIBRO DE CÓDIGOS

<i>Enfoques que anteceden emociones temáticas</i>			<i>Emoción</i>
Temático	Estudiante	Autoconcepto	
	Instrucción	Explicaciones	
		Estrategias	
		Evaluación	
	Asignatura	Disciplina	
		Contenido	
Comparación			

<i>Enfoques que anteceden emociones de logro</i>			<i>Emoción</i>
Logro	Actividad concurrente	Éxito	
		Fracaso	
	Resultado prospectivo	Éxito	
		Fracaso	
	Resultado Retrospectivo	Éxito	
		Fracaso	

<i>Enfoques que anteceden emociones sociales</i>			<i>Emoción</i>
Social	Entorno no académico	Familiares	
		Amigos	
	Entorno académico	Profesores	
		Compañeros	

<i>Enfoques que anteceden emociones epistémicas</i>			<i>Emoción</i>
Epistémico	Actividad	Sin especificar	
		Resolución problemas	
		Prácticas de laboratorio	
		Otros	
	Recurso didáctico		
	Incongruencia cognitiva		

---

# Academic Approaches of the Emotions towards Physics in Teachers in Training

Beatriz Pérez-Bueno

Área de Ciencias Experimentales y Matemáticas.

Centro de Estudios Universitarios Cardenal Spínola CEU, Sevilla, España

bperez@ceu.es

María Ángeles de las Heras Pérez, Roque Jiménez-Pérez

Departamento de Didácticas Integradas. Facultad de Educación, Psicología y Ciencias del Deporte.

Universidad de Huelva, España

angeles.delasheras@ddcc.uhu.es, rjimenez@ddcc.uhu.es

Research related to emotions in the academic context is becoming increasingly common. Most of these approaches focus on emotional intensity (Brígido et al., 2009, 2013; Mellado et al., 2009) or on its connection with other aspects such as self-regulation and self-concept (Arana-Cuenca et al., 2023; Brígido & Borrachero, 2011; Dávila-Acedo & Reis, 2022), or active methodologies (Davis & Bellocchi, 2018; Marcos-Merino, 2019; Retana-Alvarado et al., 2023). However, it is necessary to go beyond simply labelling emotions according to their valence in order to increase positive feelings and reduce the negative ones. Another emotional dimension to consider is the activation and deactivation that emotions produce in learning, and to promote those emotions that stimulate greater interest (Shuman & Scherer, 2014). Another important aspect is the origin of the emotion. For an emotional response to occur, it is necessary for the person to subjectively value the stimulus that triggers it. In the educational field, Pekrun (2006) referred to all emotions whose origin lies in the appraisals of students about any event in the classroom as *academic*. This led Pekrun and Linnenbrink-García (2012) to categorize them into four groups: 1) achievement emotions, related to academic results and activities; 2) epistemic emotions, associated with cognitive skills; 3) social emotions, linked to the relationships in social environment; and 4) topic emotions, which manifest depending on the didactic content itself.

In short, *valence*, *activation*, and *approach* are three dimensions that characterize emotion and allow us to understand how they evolve, transform, and influence learning (D'Mello & Graesser, 2012). This article focuses on studying the academic approach that precedes emotion in order to understand what originates it. For this purpose, a list of 10 emotions was categorized into topic emotions, achievement emotions, epistemic emotions and social emotions according to the focus.

Data were collected from a group of 104 teachers in initial training by means of a self-report questionnaire. On the one hand, the level of intensity with which they remembered experiencing these ten emotions was measured using a Likert scale. On the other hand, the approach was determined through justifications about the cause that generated each of the emotions. Two software programs were used for analysis: Atlas.ti, which made it possible to categorize emotions depending on the students' approach in their justifications, and SPSS, which performed a correlational analysis of the data obtained from the level of emotional intensity.

The results indicate the existence of the four approaches proposed by Pekrun and Linnenbrink-García (2012) in the emotions shown by the students in our research. Topic emotions (48 %) and achievement emotions (44 %) stand out in the statistics. The former through interest, enthusiasm, enjoyment, boredom, and rejection; the latter through frustration, satisfaction, worry, and nervousness. The justifications for topic emotions reflect the degree of interest, affinity, and commitment to the topic. Achievement emotions are more related to the students' self-efficacy and extrinsic motivation, as they are connected to the evaluation and the perception of success or failure.

This finding suggests the need to explicitly address socio-emotional development and promote activities that stimulate epistemic emotions in the classroom. The large difference between the amount of achievement versus the epistemic emotions suggests that the academic motivation in most future teachers is their results. They see their learning as a commitment and obligation rather than as enjoyment in itself.

This study provided an initial emotional diagnosis that highlights the importance of understanding the academic causes that generate emotions towards Physics among teachers in initial training. Therefore, differentiated approaches to emotional management should be considered according to the underlying causes of these emotions.



# Las preguntas y estrategias dialógicas de la docente para guiar la indagación en primaria

## The Teacher's Dialogic Questions and Strategies for Guiding Inquiry in Primary School

Lidia Caño Pérez, Josu Sanz Alonso

*Departamento de Didáctica de las Matemáticas, Ciencias Experimentales y Sociales, Facultad de Educación, Filosofía y Antropología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Donostia, Guipúzcoa, España*  
lidia.cano@ehu.eus, josu.sanz@ehu.eus

María Teresa Gómez Sagasti

*Departamento de Didáctica de las Matemáticas, Ciencias Experimentales y Sociales, Facultad de Educación, Filosofía y Antropología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Donostia, Guipúzcoa, España*  
*Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Leioa, Vizcaya, España*  
mariateresa.gomez@ehu.eus

**RESUMEN** • Este trabajo examina discusiones de aula de un grupo de escolares de segundo curso de Educación Primaria implicados en una actividad de indagación experimental. Se han analizado de manera simultánea las preguntas de la docente y las operaciones epistémicas realizadas por las y los estudiantes. Nuestros resultados muestran que las preguntas productivas y las estrategias dialógicas utilizadas por la maestra son determinantes para promover las operaciones epistémicas vinculadas a la indagación. Además, la comparación con un grupo control que no participó en el diseño del experimento ni en las discusiones durante la indagación demuestra que el hecho de involucrar al alumnado en dichos procesos promueve que emerjan algunos aspectos de la naturaleza de la ciencia en el discurso de los niños y las niñas.

**PALABRAS CLAVE:** Indagación experimental; Operaciones epistémicas; Preguntas productivas; Naturaleza de la ciencia; Educación primaria.

**ABSTRACT** • This paper examines classroom discussions of a group of 2<sup>nd</sup> grade primary school students engaged in an experimental inquiry activity. The teacher's questions and the epistemic operations carried out by the students have been analyzed simultaneously. Our results show that the productive questions and dialogical strategies used by the teacher are determinant in promoting epistemic operations involved in inquiry. Furthermore, the comparison with a control group that did not participate in the design of the experiment or in the discussions during the inquiry shows that involving the students in these processes promotes the emergence of some aspects of the nature of science within the children's discourse.

**KEYWORDS:** Experimental inquiry; Epistemic operations; Productive questions; Nature of science; Primary education.

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

## INTRODUCCIÓN

Desde la investigación se ha enfatizado que la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias debe implicar al alumnado en las prácticas científicas, permitiendo que aprendan ciencia «haciendo ciencia» (Jiménez-Aleixandre et al., 2000; Kelly, 2008; Lemke, 1990). Existe un amplio consenso en la necesidad de un cambio metodológico hacia propuestas de enseñanza-aprendizaje basadas en la indagación (COSCE, 2011; NRC, 2012). Las actividades de enfoque indagativo, al proporcionar un marco para establecer relaciones explícitas entre la evidencia y la conclusión, permiten implicar a los y las escolares en las prácticas científicas, incluso a edades tempranas (Benedict-Chambers et al., 2017; Monteiro y Jiménez-Aleixandre, 2016).

Participar en la indagación también ayuda al alumnado a entender cuál es el objeto de conocimiento de la ciencia, cómo se genera y su carácter hipotético y empírico, es decir, puede acercar al alumnado a la propia naturaleza de la ciencia (NdC) (Akerson y Donnelly, 2010; NRC, 2012). No obstante, no existe un consenso a la hora de definir a qué edad se pueden empezar a trabajar ciertas prácticas científicas, de forma que parte del equipo docente subestima la capacidad de los niños y las niñas para iniciarse en la indagación (Sandoval et al., 2014).

Durante una indagación el papel de la figura docente es fundamental, ya que las interacciones discursivas que fomenta pueden determinar la participación del estudiantado de una forma productiva o improductiva (Hogan et al., 1999). Sin embargo, a menudo la o el docente desconoce qué estrategias dialógicas resultan más efectivas para guiar la indagación. Existe por tanto la necesidad de investigar qué estrategias discursivas resultan más eficaces para implicar a los y las escolares en la indagación, en especial en la primera etapa de Primaria, una etapa poco representada en la literatura científica.

La investigación ha tratado de determinar de qué manera las interacciones entre docente y estudiante impulsan el razonamiento y la práctica científica del alumnado mediante el análisis del discurso de aula, bien examinando las intervenciones de los y las estudiantes (Casas-Quiroga y Crujeiras-Pérez, 2020; Jiménez-Aleixandre et al., 2000), bien evaluando las preguntas del o la docente (Benedict-Chambers et al., 2017; Chin, 2007; Studhalter et al., 2021). Partiendo de la premisa de que en las primeras etapas educativas la participación del alumnado ocurre principalmente en respuesta a las preguntas de la figura docente, consideramos que el análisis del diálogo en el aula debe abarcar simultáneamente las preguntas del o la docente y las respuestas de los y las estudiantes. Esta aproximación, también llevada a cabo en otros estudios (Chin, 2007; Lee y Kinzie, 2012; Pimentel y McNeill, 2013), permite captar mejor la complejidad del diálogo y adquirir más información sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje.

El objetivo de esta investigación es extraer conocimiento de las estrategias dialógicas que pueden fomentar la indagación auténtica desde edades tempranas. Para ello, llevamos a cabo un análisis detallado del discurso científico en un aula de segundo de Educación Primaria durante una indagación experimental sobre las plantas. Nuestro análisis aborda de manera simultánea las preguntas formuladas por la docente y las respuestas del alumnado, así como los aspectos emergentes de la NdC.

## MARCO TEÓRICO

### Enseñanza-aprendizaje por indagación

La indagación (Inquiry Based Science Education, IBSE) es un enfoque de enseñanza adecuado para la educación primaria (COSCE, 2011; NRC, 2012), no solo porque es capaz de motivar al alumnado y favorece la actividad científica, sino también porque permite construir un conocimiento descriptivo y experiencial, que es el único punto de partida en las edades tempranas (Martínez-Chico et al., 2017).

A pesar de que hay acuerdo en fomentar la indagación en las aulas, a menudo las propuestas didácticas se han limitado a una simple recopilación de hechos sin perseguir un auténtico razonamiento científico, priorizando así los aspectos empíricos de la ciencia frente a los epistémicos y teóricos (Couso, 2014; Osborne 2014; Windschitl et al., 2008).

La indagación basada en modelos (*Model Based Inquiry*, MBI) fomenta un aprendizaje basado en las prácticas epistémicas de la ciencia auténtica y en la profundización en los contenidos, ya que el alumnado investiga para generar, poner a prueba y revisar modelos científicos (Couso, 2014; Martínez-Chico et al., 2017; Windschitl et al., 2008). Así, la indagación auténtica o de calidad debe involucrar al alumnado en las prácticas epistémicas orientadas a construir conocimiento, comunicarlo, evaluarlo y legitimarlo, pero también en la comprensión de por qué y cómo se hace dicho proceso (Kelly y Licona, 2018; Romero-Ariza, 2017). En el contexto de la indagación, estas prácticas conllevan un conjunto de operaciones epistémicas, como plantear preguntas e hipótesis, planificar y diseñar la toma de datos que permite contrastar esas hipótesis, observar, comparar o medir para generar los datos necesarios, interpretar esos datos para revisar las ideas personales y construir explicaciones en base a las pruebas y evaluar y comunicar el aprendizaje (Kelly, 2008; Kelly y Licona, 2018; Lemke, 1990; NRC, 2012).

Además, la implicación activa del alumnado en dichas operaciones epistémicas le brinda la oportunidad de comprender cómo se construye la ciencia (Kelly, 2008). Akerson y Donnelly (2010) mostraron que la visión de la NdC de los y las escolares mejoró cuando el docente incitó a la reflexión explícita sobre los aspectos de la ciencia durante una indagación auténtica. En este estudio hemos adoptado el enfoque MBI a la hora de implementar la actividad de indagación y hemos examinado las operaciones epistémicas y aspectos de la NdC que emergen en el discurso de los y las escolares en el transcurso de esta.

### **La práctica temprana de la indagación**

Se ha asumido erróneamente que los niños y las niñas de corta edad tienen habilidades de razonamiento y destrezas científicas limitadas que les impiden participar en prácticas científicas (Metz, 2011). Sin embargo, numerosos estudios muestran que, con la adecuada guía por parte de la figura docente, los niños y las niñas pueden participar en razonamientos explicativos y realizar diferentes operaciones científicas, como realizar predicciones, participar en el diseño del experimento y obtener datos mediante la observación (Bargiela et al., 2022; Monteiro y Jiménez-Aleixandre 2016; Rodríguez et al., 2021). De hecho, se ha demostrado que, a la edad de seis años, las capacidades metacognitivas están lo suficientemente desarrolladas como para permitir cierta comprensión de las explicaciones, que estas se construyen a partir de patrones de evidencia (Ruffman et al., 1993; Sandoval et al., 2014). Por otro lado, algunos estudios indican que las niñas y los niños menores de seis años tienen también capacidad para entender ciertos aspectos de la NdC (Akerson y Donnelly, 2010).

Por tanto, si bien las capacidades de razonamiento del alumnado de primaria permiten que pueda participar activamente en la indagación, el razonamiento científico que puede alcanzar está condicionado por la manera en que el o la docente desarrolla la actividad (Metz, 2011; Sandoval et al., 2014). Sin embargo, existe todavía poca información sobre cómo la práctica docente de la indagación puede promover esas habilidades y razonamientos científicos y la interiorización de aspectos de la NdC en el primer ciclo de primaria.

### **Indagación guiada: las preguntas de la figura docente**

La práctica de la indagación es una práctica social discursiva-colaborativa donde se construye conocimiento mediante la creación colectiva de significados (Jiménez-Aleixandre et al., 2000; Oliveira,

2010). En la indagación adecuadamente guiada se produce un mayor aprendizaje que en la no guiada (Romero-Ariza, 2017), por lo que la figura docente debe fomentar la colaboración estudiante-estudiante y estudiante-docente a través de un diálogo auténtico y productivo (Hogan et al., 1999; Lemke, 1990).

En el contexto MBI, figuras docentes deben estimular el trabajo intelectual del alumnado en lugar de guiar únicamente una serie de tareas empíricas. Sin embargo, implicar a las y los estudiantes en el diseño y definición de la investigación o en que pongan a prueba sus ideas puede resultar un reto para muchos docentes (Windschitl et al., 2008).

Una buena forma en la que el maestro o la maestra puede facilitar la participación del estudiantado en cada uno de los procesos u operaciones de la indagación es utilizando un conjunto de preguntas y estrategias dialógicas. Las «preguntas productivas» (Elsteeg, 1985) o «preguntas de calidad» (Lee y Kinzie, 2012) son aquellas que hacen avanzar al alumnado en su pensamiento proporcionándole un andamiaje para que construyan significados a partir de sus ideas y de las pruebas. Diversos estudios han identificado diferentes tipos de preguntas y estrategias para promover el diálogo productivo y han demostrado que estas determinan el grado de razonamiento que alcanzan los y las escolares durante la actividad (Benedict-Chambers et al., 2017; Chin, 2007; Elsteeg, 1985; Kawalkar y Vijapurkar, 2013; Oliveira, 2010; Pimentel y McNeill, 2013; Studhalter et al., 2021).

De todo lo expuesto anteriormente se deduce que la efectividad de la práctica de indagación está vinculada a la capacidad de la figura docente para implicar al alumnado en operaciones epistémicas mediante la guía adecuada del diálogo científico. Sin embargo, a menudo las maestras y los maestros no son plenamente conscientes de las estrategias dialógicas que emplean en el aula. Por lo tanto, se necesita más investigación para determinar qué preguntas y estrategias resultan más efectivas para implicar al alumnado en una indagación auténtica.

## Preguntas de investigación

En este trabajo se plantean las siguientes preguntas de investigación (PI):

- PI1: ¿Cómo fomentan las preguntas de la maestra la realización de operaciones epistémicas implicadas en la práctica de la indagación en un aula de primer ciclo de Educación Primaria?
- PI2: ¿Emergen aspectos de la NdC en el diálogo durante la indagación? ¿El grado de implicación del alumnado en el proceso de indagación afecta a la emergencia de dichos aspectos de la NdC?

## METODOLOGÍA

Este trabajo analiza un estudio de caso a través del análisis cualitativo y cuantitativo de discusiones llevadas a cabo en un aula de segundo curso de Educación Primaria. La maestra titular y la maestra en formación realizaron con el alumnado una indagación experimental de seis semanas de duración guiada por la maestra en formación a través de varias discusiones sobre el experimento. Se grabaron y analizaron seis sesiones de debate, de quince a veinte minutos de duración. Para preservar el anonimato y asegurar la gestión ética de los datos, se obtuvieron todos los consentimientos pertinentes y se observó cuidadosamente el proceso.

## Participantes y contexto

El estudio se llevó a cabo en una escuela situada en un pueblo costero del País Vasco de unos 6.000 habitantes en el que la principal estrategia pedagógica es el aprendizaje basado en proyectos. Los y las participantes fueron veintiún escolares de seis a siete años, diez niñas y once niños que durante el primer curso habían participado en una actividad indagatoria similar (experimentación con plantas y discusiones guiadas) para responder a una pregunta de investigación (Caño et al., 2022). En el momento del estudio la maestra titular tenía catorce años de experiencia docente en el centro y la maestra en formación no tenía experiencia docente ni formación específica sobre las estrategias dialógicas, pero sí había recibido formación general sobre la enseñanza de las ciencias en el grado.

El contexto del estudio consistió en una indagación experimental, es decir, una actividad indagatoria en la que la búsqueda de pruebas se realizó en base a datos recogidos con un diseño experimental y no a través de una búsqueda de información en fuentes fiables. La actividad fue diseñada conjuntamente por la maestra titular y la maestra en formación según los objetivos acordados con el equipo de investigación: involucrar al alumnado en una investigación que permitiera obtener y utilizar pruebas, abordar las principales ideas centrales del ser vivo (estructura y funciones vitales) a través de las plantas y dar seguimiento a los conocimientos construidos durante el curso anterior (Caño et al., 2022). Siguiendo esos criterios, las maestras diseñaron e implementaron la secuencia de actividades cuya descripción y objetivos se especifican en la figura 1.

En los dibujos iniciales se confirmó que los niños y las niñas consideraban las plantas como seres vivos. Los siguientes pasos tuvieron lugar mediante discusiones guiadas por la maestra en formación («la maestra», de aquí en adelante). El equipo investigador y la maestra acordaron que las discusiones debían fomentar que afloraran las ideas del alumnado y que este diseñara el experimento y estableciera predicciones en función de dichas ideas, que usaran la evidencia observada para responder a la pregunta inicial y que construyeran y evaluaran colectivamente las ideas científicas sobre el ser vivo. Para ello, se realizaron discusiones de aula en tres momentos claves de la indagación: la fase de inicio (actividades 1 y 2), la fase de discusión de resultados (actividad 4) y la fase de recapitulación (actividad 5) (figura 1). En las dos primeras discusiones la maestra dividió la clase en dos grupos de diez y once escolares para promover la participación (grupos A y B).

En la primera parte de la discusión inicial (actividad 1, figura 1) los y las escolares expresaron ideas e hipótesis que reflejaron ideas erróneas sobre el proceso de germinación y crecimiento. En función de esto se definió la pregunta de la investigación: «¿Qué necesita una planta para nacer? y ¿Para crecer?».

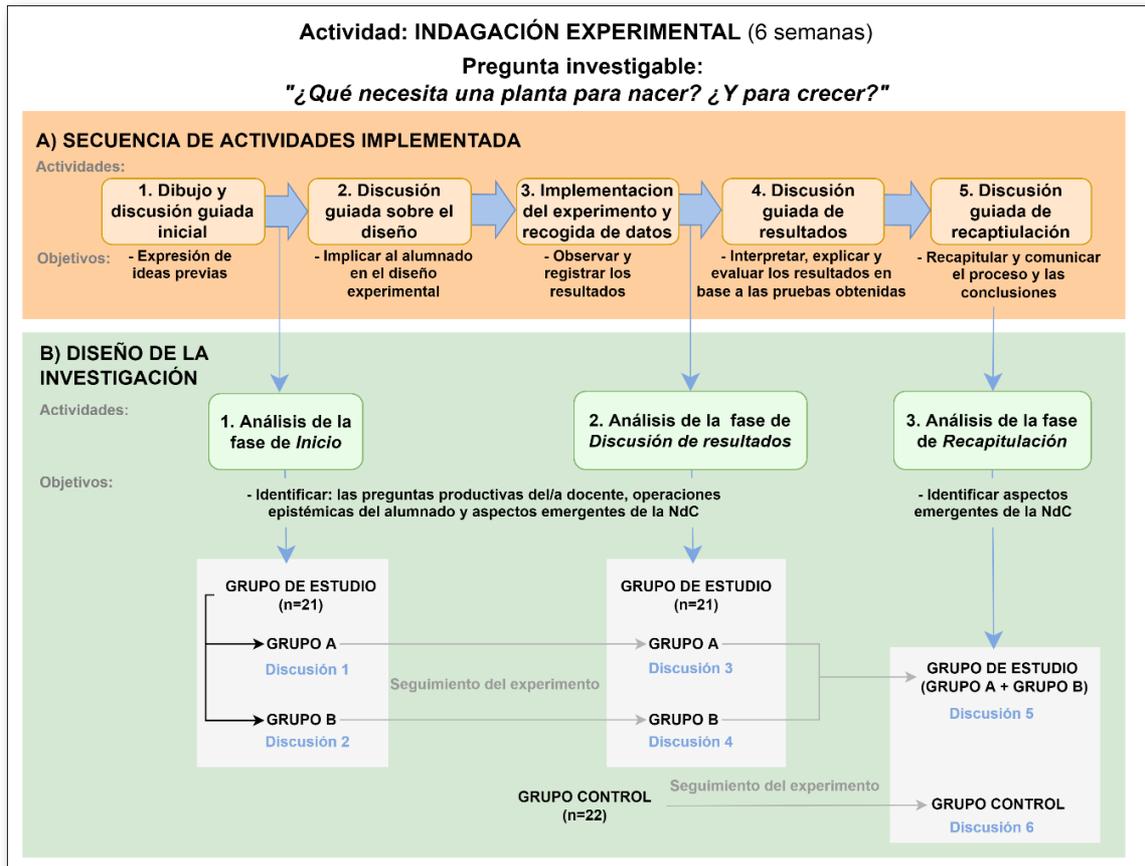


Fig. 1. Representación de la secuencia de actividades implementada y diseño de investigación

En la segunda parte de la discusión inicial (actividad 2, figura 1), los niños y las niñas realizaron diferentes propuestas de acuerdo con sus ideas y, de este modo, participaron en el diseño del experimento, que consistió en sembrar semillas de guisantes dentro y fuera del aula y estudiar el efecto de dos variables, el agua y la luz, sobre la germinación y el crecimiento. Los y las escolares pusieron en marcha el experimento y registraron individualmente los resultados utilizando una sencilla plantilla que incluía tres preguntas para responder en fechas diferentes: «¿Qué cambios han ocurrido? ¿Por ahora qué necesita la planta para nacer? ¿Y para crecer?», y unas frases en la sección titulada «resultados» para completar al final del experimento: «La planta para nacer necesita...» y «La planta para crecer necesita...» (actividad 3). El objetivo de la segunda discusión (actividad 4, figura 1) fue que los niños y las niñas interpretaran, explicaran y evaluaran los resultados del experimento en base a las pruebas obtenidas. La tercera discusión (actividad 5, figura 1) tuvo como objetivo recopilar, formalizar y comunicar el proceso y las conclusiones de la actividad realizada. En este caso, la discusión se realizó con el grupo de estudio completo (grupos A + B).

Para dirigir las discusiones, la maestra elaboró un guion de preguntas de acuerdo con los objetivos correspondientes. En todas las discusiones surgieron debates, por lo que la maestra tuvo que plantear preguntas y enunciados no contemplados en el guion para orientar la discusión hacia la construcción de ideas. Además, en todas las discusiones la maestra se propuso realizar preguntas que fomentaran la reflexión por parte del alumnado sobre el propio método que estaban empleando.

## Diseño del estudio y análisis de los datos

La figura 1 recoge el esquema del diseño de la investigación. Para responder a la primera pregunta de investigación (identificar estrategias dialógicas y operaciones epistémicas), se analizaron las discusiones de la fase de inicio y de discusión de resultados (figura 1). Para responder a la segunda pregunta de investigación (identificación de aspectos emergentes de la NdC), se analizaron las intervenciones de la maestra y de los y las escolares en las discusiones de inicio y de resultados, y se comparó la discusión final de recapitulación del grupo de estudio (grupos A + B) con la discusión final realizada por la maestra con otro grupo (grupo control). Este último grupo (veintidós escolares) realizó un seguimiento del crecimiento de las plantas del experimento implementado por el grupo de estudio, pero no participó en el diseño del experimento ni en las discusiones. Las grabaciones de las seis sesiones de discusión fueron transcritas y se asignaron seudónimos a cada participante.

En las discusiones inicial y de resultados se identificaron y categorizaron las preguntas productivas basadas en la bibliografía (Benedict-Chambers et al., 2017; Lee y Kinzie, 2012; Elsteeg, 1985; Pimentel y McNeill, 2013; Studhalter et al., 2021) y siguiendo un sistema de codificación abierto que permitía la inclusión de nuevas categorías. Se consideraron como preguntas productivas aquellas destinadas a estimular la realización de una operación epistémica. Las operaciones epistémicas también se identificaron en las mismas discusiones y se categorizaron de acuerdo con la bibliografía (Lemke, 1990; Martí, 2012; NRC, 2012). En la tabla 1 se muestra cada tipo de pregunta productiva, la operación epistémica que induce y los ejemplos correspondientes.

Tabla 1.  
Preguntas productivas de la maestra y operaciones epistémicas  
de los y las escolares durante la discusión inicial y la discusión de resultados

<i>Preguntas de la maestra</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Ejemplos</i>	<i>Operación epistémica</i>	<i>Ejemplos</i>
<b>De activación del conocimiento</b> <sup>1,2</sup>	Promover la expresión de ideas personales	«¿Sabéis qué son las semillas?»	<b>Expresión de ideas iniciales</b>	«Una cosa dentro de la fruta»
<b>De predicción</b> <sup>1,2,3</sup>	Inducir la formulación de hipótesis o predicciones	«¿Qué sucederá si ponemos unas semillas en un bote sin tierra?»	<b>Formular hipótesis/ predicción</b>	«No crecerá»
<b>De diseño</b>	Planificar el diseño experimental	«¿Qué haríais...?»	<b>Diseñar experimento</b>	«Hay que hacer un agujero en la tierra y poner ahí la semilla»
<b>De enfoque</b> <sup>1,3,4</sup>	Fijar la atención en los resultados	«¿Qué ha pasado?»	<b>Observar</b>	«Han crecido»
			<b>Describir</b>	«Estas tienen las hojas verdes, pero aquellas las tienen amarillas y marchitas»
<b>De comparación</b> <sup>1,3</sup>	Promover la identificación de patrones mediante comparaciones	«Una tiene luz y la otra no ¿son diferentes o son iguales?»	<b>Comparar</b>	«Las plantas que están en oscuridad han crecido más rápido que estas otras que están con luz»

<i>Preguntas de la maestra</i>	<i>Objetivo</i>	<i>Ejemplos</i>	<i>Operación epistémica</i>	<i>Ejemplos</i>
<b>De razonamiento</b> <sup>1,2,3,4</sup>	Inducir y construir explicaciones en base a ideas previas y/u observaciones	«¿Por qué crees que ha pasado esto? ¿Cómo lo sabes?»	<b>Interpretar</b>	«Quiere encontrar la luz»
			<b>Explicar</b>	«No necesitan tierra sí o sí para nacer porque una está sin tierra y ha nacido rápido»
<b>De “reenvío”</b> <sup>6</sup>	Evaluar el razonamiento del alumno/a	«Buena pregunta la de Mikel ¿creéis que los cactus no necesitan agua?»	<b>Evaluar explicaciones</b>	«No necesitan agua, creo yo» «Pero sí tienen agua, llueve de vez en cuando...»
<b>De formalización</b>	Recapitular objetivos, diseño y conclusiones del experimento.	«¿Qué hemos investigado? ¿Qué habéis aprendido?»	<b>Comunicar</b>	«[Hemos investigado] qué necesitan para nacer y para crecer» «[Hemos aprendido que] sin agua no nacerán»

<sup>1</sup> Studhalter et al., 2021; <sup>2</sup> Lee y Kinzie, 2012; <sup>3</sup> Elsteeg, 1985; <sup>4</sup> Benedict-Chambers et al., 2017; <sup>5</sup> Pimentel y McNeill 2013.

En las discusiones de inicio y de resultados también se identificaron las ideas centrales sobre el modelo de ser vivo que surgieron según la propuesta de Pigrau y Sanmartí (2015). Específicamente, se analizó si se aludía a las diferentes partes que conforman la estructura de la planta, a los procesos que tienen lugar en la planta como el intercambio de materia y energía o de información con el entorno (función de nutrición y relación), a la función de reproducción y a la idea transversal del tiempo (ciclo de vida).

Por último, en las seis discusiones se identificaron y categorizaron los elementos relacionados con la NdC que emergieron en el discurso de la maestra y de los niños y las niñas, según Akerson y Donnelly (2010) y Bartels y Lederman (2022).

## RESULTADOS

Las preguntas de la maestra estimularon a los y las escolares a realizar diferentes operaciones epistémicas. Como se observa en la tabla 2, las preguntas productivas representaron la mayor parte de las intervenciones de la maestra (51-75 %, según grupos y fase de la actividad) y más de dos tercios de las preguntas productivas dieron lugar a operaciones epistémicas. Cuando las preguntas se formularon de forma abierta surgieron más operaciones epistémicas que cuando se hizo de forma cerrada (tabla 2).

Tabla 2.  
Indicadores cuantitativos obtenidos en las discusiones de aula

	<i>Diseño del experimento</i>		<i>Discusión de los resultados</i>	
	<i>Grupo A</i>	<i>Grupo B</i>	<i>Grupo A</i>	<i>Grupo B</i>
<b>Porcentaje de preguntas productivas* de la maestra</b>				
Respecto al total de intervenciones	75 %	66 %	69 %	51 %
Que dan lugar a operación	67 %	84 %	71 %	74 %
De preguntas abiertas que dan lugar a operación	82 %	93 %	85 %	92 %
De preguntas cerradas que dan lugar a operación	55 %	76 %	64 %	63 %
<b>Porcentaje de operaciones epistémicas realizadas por escolares</b>				
Respecto al total de intervenciones	63 %	69 %	81 %	85 %
Estimuladas por las preguntas de la docente	84 %	83 %	81 %	64 %
Resultado de la interacción colaborativa	16 %	15 %	15 %	34 %
Espontáneas	0 %	0 %	4 %	2 %
<b>Número de intervenciones que aluden a componentes del modelo del ser vivo</b>				
Estructura	6 %	12 %	9 %	12 %
Ciclo vital	7 %	10 %	4 %	2 %
Nutrición	10 %	12 %	6 %	15 %
Reproducción	6 %	2 %	1 %	3 %
Relación	7 %	6 %	4 %	8 %
Regulación	1 %	13 %	0 %	17 %
Ecosistema	3 %	4 %	0 %	0 %

\* Incluyen preguntas de *repensar* y de *aclaración* que estimulan la realización de operaciones.

Más de dos tercios de las intervenciones del alumnado implicaron algún tipo de operación epistémica. La mayoría de las operaciones se realizaron en respuesta a preguntas productivas (64-84 %), pero alrededor de un tercio se produjeron por colaboración entre estudiantes (tabla 2). En las intervenciones del alumnado se abordaron siete componentes del modelo de ser vivo y los más frecuentes fueron la función de nutrición (en 6-15 % de las intervenciones) y la idea de estructura-función (6-12 %) (tabla 2).

La figura 2 muestra que las operaciones epistémicas realizadas más frecuentemente por los y las escolares fueron coherentes con los tipos de preguntas formuladas. Durante la discusión de inicio (primera fase), la maestra planteó principalmente preguntas para la *activación del conocimiento* (22-33 %), la implicación en el *diseño* experimental (16-37 %) y para estimular la realización de *predicciones* (9-19 %). Así, durante esta fase las operaciones más frecuentes fueron la de recordar información (35-41 %), elaborar propuestas de diseño (17-18 %) y formular predicciones (7-14 %) (figura 2).

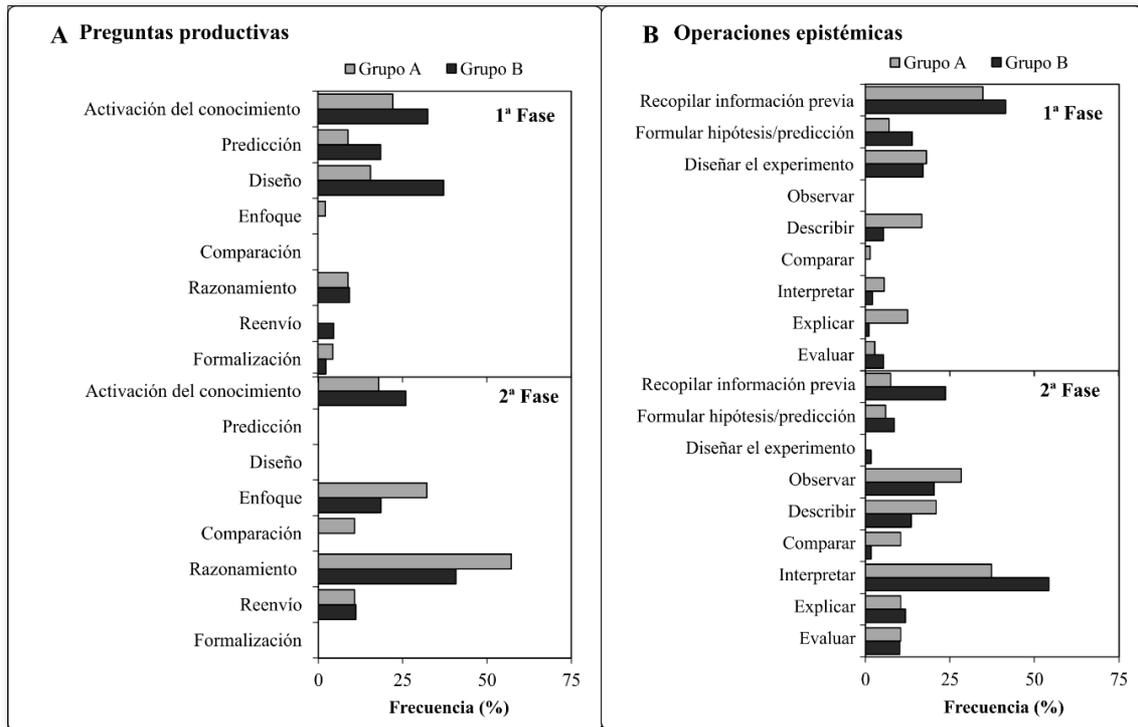


Fig. 2. Frecuencias (%) de (A) cada tipo de pregunta productiva y (B) de cada operación epistémica durante la discusión inicial (primera fase) y la discusión de resultados (segunda fase).

En la fase de discusión de resultados (segunda fase), las preguntas más formuladas fueron las de enfoque, razonamiento y reenvío, además de algunas preguntas para activar conocimiento previo (figura 2). Durante esta fase, las operaciones realizadas fueron la observación, descripción, interpretación y, en menor medida, aquellas operaciones que implican el uso de pruebas como explicar o evaluar (figura 2). Los resultados fueron muy similares entre el grupo A y B, lo que responde a una representatividad de la muestra (tabla 2, figura 2).

En la siguiente sección aportamos pruebas cualitativas que ejemplifican la interacción entre las preguntas de la maestra y las operaciones realizadas por el alumnado (tablas 3 y 4), así como la emergencia en el discurso de aspectos de la NdC (tabla 5 y 6).

### Preguntas productivas y operaciones epistémicas

En la fase de inicio la maestra realizó preguntas de activación de conocimiento, como «¿Qué creéis que necesita la planta?», lo que permitió la identificación de las variables de estudio (luz, agua...) que condicionaron el diseño (tabla 3). En respuesta a las preguntas de diseño, formuladas como «¿Cómo podemos saber si necesita...?» o «¿Qué haríais...?», el alumnado propuso diferentes métodos de obtención de información (tabla 5). La maestra dirigió la atención de los niños y las niñas hacia la realización de un experimento, especificando «¿Qué podemos hacer en la escuela?». El alumnado participó en el diseño del experimento proponiendo los factores que debían estudiarse y los materiales necesarios, siempre en respuesta a preguntas de diseño de la maestra: «¿Y cómo podemos poner eso?», «¿Qué material...?». Así, propusieron introducir una semilla en la tierra, añadirle agua y ponerla a la luz, matizando que la cantidad de agua y luz debía ser moderada y que se podía privar de luz a algunas semillas, y especificando el material que utilizarían, como un bote o un armario (tabla 3, operación de diseñar).

En respuesta a preguntas de predicción, como «¿Qué os parece que pasará?», el alumnado predijo que las semillas sin nada o en oscuridad no germinarían, que las plantas con sol crecerían, pero que en oscuridad morirían y que, si además de sol tenían tierra y agua, también crecerían (tabla 3, operación de predecir en el grupo B). La maestra en ocasiones realizó propuestas o proporcionó informaciones complementarias para ayudarles a completar el diseño (tabla 3, activación del conocimiento previo o propuesta). Por ejemplo, les propuso poner algunas semillas y plantas en la oscuridad para incluir condiciones contrastadas para el análisis de un efecto. Por último, la maestra realizó preguntas para que los y las escolares formalizaran y comunicaran el diseño completo del experimento, como puede verse en el último extracto del grupo A (tabla 3).

Tabla 3.  
Extractos de la discusión de inicio: categorías  
de preguntas (en cursiva) y de operaciones realizadas por el alumnado

Grupo A	Preguntas/Operaciones
67 Maestra: De acuerdo, dentro de unos días pondremos una planta. ¿Cómo?	<i>Diseño</i>
68 Ane: Pues, como hemos dicho nosotros, poniendo una semilla.	Diseñar
69 Julen: Para plantarla necesitaría tierra, agua y luz.	Diseñar
70 Maestra: ¿Y cómo podemos poner eso?	<i>Diseño</i>
71 Josu: en un bote.	Diseñar
...	
76 Maestra: Vale, ¿qué más creéis que necesita la planta?	<i>Act. conoc. prev.</i>
77 Maddi: Luz.	Expr. ideas prev.
78 Maestra: ¿Entonces, quizás, podemos poner otro recipiente con luz? ¿Para saber si necesita luz o no?	<i>Propuesta</i>
...	
84 Maestra: ¿qué más necesita la planta?	<i>Act. conoc. prev.</i>
85 Ane: Agua.	Expr. ideas prev.
86 Maestra: Ah, mira ¿Y qué podemos hacer con el agua?	<i>Diseño</i>
87 Ane: Pues echar un poco de agua en el suelo. Poner la tierra, luego poner la semilla y echar agua.	Diseñar
...	
117 Maestra: Elegiremos un/a secretario/a [...] ¿Recuerdas qué haremos?	<i>Formalización</i>
118 Xabi (secretario): Probar. Plantar de diferentes maneras y ver a ver cuál está bien.	Comunicar
119 Maestra: ¿Qué plantaremos?	<i>Formalización</i>
120 Niñas/os: Una semilla.	Comunicar
121 Maestra: ¿Qué más? ¿De modos diferentes, de qué modos?	<i>Formalización</i>
122 Jokin: Un pote con luz.	Comunicar
123 Maestra: Pondremos un pote con luz y la semilla ahí, al sol. ¿Qué más?	<i>Recap./Formaliz.</i>
124 Niñas/os: Otra con tierra...	Comunicar
Grupo B	Preguntas/Operaciones
115 María: Pero no hay que echarle mucha agua, si no se ahoga.	Recop. info
116 Maestra: Entonces, ¿tendremos que ponerlo con poca agua?	<i>Diseño</i>
117 Niños/as: Sí, a medias.	Diseñar
118 Mikel: Sol tampoco necesita mucho, si no se seca y se muere.	Recop. info
...	
129 Maestra: ¿Qué os parece que pasará si ponemos una planta en oscuridad?	<i>Propuest./Predic.</i>
130 Niñas/os: Se morirá.	Predecir
131 Maestra: Bueno, pondremos la semilla.	<i>Propuesta</i>
132 Ione: No saldría.	Predecir
...	
135 Naiara: Algunas se mueren y otras no.	Predecir
...	
140 Maestra: Si lo ponemos a oscuras, Ione ha dicho que no crecería, la semilla. ¿Cómo lo pondrías a oscuras?	<i>Recap./Diseño</i>
141 Ione: Dentro del armario	Diseñar
...	
146 Maestra: Y si ponemos una semilla en un plato sin nada, ¿qué pasaría?	<i>Propuesta/Predic</i>
147 María: Que la semilla se quedaría normal.	Predecir

Tabla 4.  
Extractos de la fase de discusión de los resultados: categorías  
de preguntas (en cursiva) y de operaciones epistémicas

	Grupo A	Preguntas/ Operaciones
1	Maestra: ¿Alguien quiere empezar a contar qué hemos aprendido con este experimento?	<i>Enfoque</i>
2	Maite: Que algunas han nacido antes que otras.	Obs./Com./Des.
3	Ander: Han nacido antes las que estaban en la oscuridad	Obs./Com./Des.
4	Maestra: ¿Y eso por qué?	<i>Razonamiento</i>
5	Ane: Porque quieren la luz.	Interpretar
6	Maestra: ¿Por eso ha crecido tan rápido?	<i>Razonamiento</i>
7	Ane: Sí, porque quiere encontrar la luz.	Interpretar
8	Jokin: La que está en la oscuridad está torcida.	Obs./Describir
9	Ander: Y tiene las hojas amarillas.	Obs./Describir
10	Ane: Por ahora necesita agua.	Interpretar
11	Maestra: ¿Solo las que están en la oscuridad?	<i>Comp./Aclar.</i>
12	Josu: Todas	Interpretar
13	Maestra: ¿Todas las plantas necesitan agua? En general quiero decir.	<i>Razonamiento</i>
...		
16	Ane: Las que han nacido aquí solo tienen agua.	Obs./Explicar
17	Maestra: Tienes razón, han crecido en todos los recipientes donde tenían agua.	<i>Refuerzo posit./Recap.</i>
...		
66	Maestra: Por un lado, estamos diciendo para nacer. ¿Para nacer qué necesita?	<i>Aclaración</i>
67	Ane: Para nacer, agua.	Interpretar
...		
70	Ane: Y luz.	Interpretar
71	Maestra: ¿Luz?	<i>Repensar</i>
72	Unai: No necesariamente.	Interpretar
73	Maestra: ¿No necesariamente?	<i>Repensar</i>
74	Ane: Bueno, también ha crecido (en oscuridad) pero un poco débil, y estos (en luz) no.	Obs./Des./Inter./ Explic./Eval.
75	Maestra: Bien, no necesariamente porque la que estaba en oscuridad también ha nacido, ¿no?	<i>Refuerzo posit./Recap</i>
	Grupo B	Preguntas/ Operaciones
7	Maestra: ¿Alguien sabe decir por qué es eso? (Que) sobre todo (necesita) la luz para crecer.	<i>Razonamiento</i>
8	María: Sí no sin agua estaría seca.	Explicar
9	Maestra: Estamos hablando de la luz, pero sí. Sin agua, se seca.	<i>Aclarac./Confirm.</i>
10	Maddi: La que está a oscuras ha crecido rápido pero no está sana.	Obs./Descr./Interp./Expl.
11	Julen: Está débil.	Obs./Interp./Eval.
12	María: Porque quiere buscar la luz.	Interpret./Explicar
13	Maestra: Ah, mira. Creéis que la luz es necesaria sobre todo para crecer. ¿Por qué?	<i>Recapitulación/ Razonamiento</i>
...		
70	Mikel: ¿Y los cactus que viven en el desierto?	Cuestionar
71	Maestra: Buena pregunta ¿no tienen agua?	<i>Ref. posi./Reenvío</i>
72	Mikel: No necesitan agua obligatoriamente, eso creo yo.	Interpretar
73	Julen: Bueno, pero tienen agua, allí también llueve de vez en cuando. Cuando lo hacía solía llover mucho.	Explicar/Evaluar
74	Maestra: Es verdad. Los cactus son plantas.	<i>Refuer. posit./Info.</i>
75	Mikel: Pero pasan mucho tiempo sin agua.	Explicar/Evaluar

Al comienzo de la fase de discusión de resultados (segunda fase), ante las preguntas de enfoque, los niños y las niñas realizaron descripciones de lo observado y comparaciones entre las condiciones de germinación o crecimiento, pero, en ocasiones, la maestra tuvo que formular preguntas de com-

paración (tabla 4, grupo A). Como resultado, el grupo de escolares construyó pruebas mediante la observación, la descripción y la comparación sobre el efecto del agua, la luz y la tierra en semillas y plantas, abordando las siguientes ideas centrales del ser vivo: función de reproducción (condiciones para la germinación), nutrición (necesidad de agua), respuesta a estímulos (fototropismo), regulación (exceso de agua como limitante para la supervivencia) y ciclo vital (nacimiento, crecimiento y muerte) de la planta.

Por ejemplo, ambos grupos establecieron por observación que las plantas nacen antes y crecen más altas, pero menos sanas, en la oscuridad que en la luz (tabla 4, operaciones observar y describir). La maestra también utilizó preguntas de aclaración para redirigir la discusión hacia un único factor (luz o agua) o variable (germinación o crecimiento), cuando las respuestas aludían a uno y otro de forma desordenada (tabla 4, aclaración).

Las preguntas de razonamiento de la maestra buscaron que el alumnado respondiera a la pregunta principal de indagación «¿Qué necesita una semilla para nacer y una planta para crecer?», en base a las pruebas obtenidas en el experimento («Y eso, ¿lo podemos ver en algún bote?») (tabla 4). Así, los y las escolares afirmaron que las plantas necesitaban agua y tiempo para nacer y crecer, que no necesitaban ni tierra ni luz para germinar, pero que sí necesitaban tierra para crecer, recurriendo a las pruebas para justificar dichas afirmaciones. Combinando diferentes categorías de preguntas, la maestra promovió la justificación en base a datos y la matización de las explicaciones, como, por ejemplo, en los turnos 66-75 del grupo A (tabla 4). En este episodio, para que el alumnado superara la idea errónea de que las semillas necesitan luz para germinar, la maestra pidió una respuesta a la pregunta de indagación («¿Para nacer qué (necesitan)?»), luego pidió una aclaración y cuando Ane afirmó la idea errónea («y luz») le pidió que reconsiderara (repensara) su afirmación: «¿[Estás segura de que necesitan] luz?». Cuando Unai cuestionó la necesidad de luz pidió una aclaración y finalmente Ane recurrió a la prueba de que las semillas en la oscuridad habían germinado.

La maestra utilizó con frecuencia la estrategia de repetir ideas correctas o plausibles, de forma estructurada, a modo de recapitulación, como en los turnos 17 y 75 del grupo A, a veces apoyándose en ellas para ampliar el razonamiento mediante otra pregunta, como en el turno B13: «Ah, mira, ¿creéis que la luz es necesaria sobre todo para crecer? ¿Por qué?» (tabla 4). Del mismo modo, en respuesta a las explicaciones correctas, proporcionó refuerzos positivos añadiendo una pregunta basada en las anteriores: «Bien, ¿y para crecer?». Se observó una estrategia similar para validar las propuestas espontáneas del alumnado y promover la colaboración. Por ejemplo, cuando se estableció una discusión entre Mikel y Julen sobre el efecto del agua, la maestra simplemente reenvió la pregunta de Mikel e intervino con refuerzos positivos: «Buena pregunta, [los cactus] ¿no tienen agua?» (B70-75, tabla 4).

## Aspectos emergentes de la NdC

Durante las discusiones de la primera y segunda fase, la maestra invitó a reflexionar sobre el método empleado, lo cual promovió la emergencia en el discurso de los y las escolares de ciertas expresiones que aludían a características de la NdC, como se observa en la tabla 5. Durante la fase de inicio, mediante preguntas del tipo «¿Cómo podemos saber...?», la maestra condujo al alumnado a constatar que el conocimiento puede obtenerse a partir de datos procedentes de la observación, experimentación y conocimiento previo y que este permite responder a preguntas. Al utilizar palabras como «probar» y expresiones como «lo veremos», el alumnado manifestó que podían obtener el conocimiento de manera empírica: «nosotros podemos hacerlo» (tabla 5).

También propusieron recabar la información mediante métodos no experimentales, como preguntarle a un agricultor o una agricultora, o buscar información en otras fuentes, dando a entender que no hay un solo método para responder a una pregunta (tabla 5). A lo largo de la discusión la maestra

recalcó que el experimento se hacía para responder a una pregunta mediante expresiones como: «Habéis dicho que haremos un experimento, pero ¿para saber qué?». El alumnado respondió formulando la pregunta de indagación, por lo que esta estrategia permitió incidir en el hecho de que una investigación empieza con una pregunta (tabla 5). Además, en el grupo A, Maite y Ane, de manera espontánea, hicieron referencia a las limitaciones del alcance de la ciencia cuando expresaron que solo podían saber lo que necesitan las plantas incluidas en el experimento (y no otras) y recalcaron la imposibilidad de incluir en la actividad todas las plantas del mundo (tabla 5).

Tabla 5.  
Características de la NdC abordadas por el grupo de estudio durante la primera y segunda fase (en negrita) y preguntas de la maestra que lo fomentan (en cursiva)

Característica	Extracto
Naturaleza empírica	<p>Fase de inicio (A)</p> <p>63 Maestra: <i>¿Cómo podemos saber qué necesita una planta para crecer? ¿Qué podemos hacer en la escuela?</i></p> <p>64 Ane: <b>Nosotros podemos hacer uno.</b></p> <p>...</p> <p>81 Ane: A lo mejor crece.</p> <p>82 Maestra: <i>A lo mejor sí, no sabemos.</i></p> <p>83 Julen: <b>¡Lo veremos!</b></p> <p>...</p> <p>92 Maestra: <i>Pero como no lo sabemos seguro...</i></p> <p>93 Maddi: <b>¡Lo probaremos!</b></p> <p>...</p> <p>99 Julen: <b>¡Lo tendremos que probar!</b></p> <p>...</p> <p>111 Maestra: <i>¿Creéis que haciendo estas pruebas sabremos cuál crece antes? Porque si crece lo sabremos...</i></p> <p>Fase de inicio (B)</p> <p>#107 Maestra: Luz. Y <i>¿cómo podemos saber si necesitan luz o no?</i></p> <p>#108 Ione: <b>Haciéndolo de verdad.</b></p>
Limitaciones del alcance de la ciencia	<p>Fase discusión de resultados (A):</p> <p>18 Maite: <b>Con todas las plantas que hay en el mundo... no sabemos cuáles necesitan agua y cuáles no.</b></p> <p>...</p> <p>26 Maestra: [...] <i>¿Las plantas necesitan agua para nacer?</i></p> <p>...</p> <p>29 Maite: Depende de cuál sí.</p> <p>30 Ane: <b>Las que tenemos nosotros sí.</b></p> <p>...</p> <p>33 Maestra: [...] <i>¿Por qué decís que algunas necesitan agua y otras no?</i></p> <p>34 Ane: <b>Porque aquí no están todas las plantas.</b></p>
Todas las investigaciones comienzan con una pregunta	<p>Fase de inicio (A):</p> <p>21 Maestra: La actividad (del año pasado) era <i>para aprender que las plantas nacen, ¿no?</i></p> <p>...</p>
Los datos empíricos se usan para responder a las preguntas	<p>Fase de inicio (B):</p> <p>93 Maestra: [...] <i>por tanto habéis dicho que haremos un experimento ¿Para saber qué?</i></p> <p>94 María: <b>Qué necesitan las plantas, la semilla.</b></p> <p>Fase de conclusiones: ver ejemplo del grupo de estudio en la tabla 6.</p>

Característica	Extracto
No hay un único método científico	Fase de inicio (B) 82 Maestra: [...] <i>¿Cómo podemos saber si necesita o no el sol?</i> 83 Mikel: <b>Preguntando, a alguien que viva en un caserío</b> 84 Ander: <b>Buscando información</b> 85 Maestra: <i>¿Y si hacemos un experimento?</i> 86 Niños/as: ¡¡¡Sí!!! 87 Maestra: <i>¿Con un experimento podemos saber qué necesita la semilla para nacer?</i> 88 Amaia: No sé, <b>tendremos que probar.</b>  (También naturaleza empírica y creativa)
Carácter hipotético de la ciencia	Fase discusión de resultados (A): 109 Amaia: A lo mejor la planta (del exterior) crece más despacio con el frío Fase discusión de resultados (B): 42 Xabi: parece que (la planta) está (rígida) por el suelo (debido al suelo) ... 70 Mikel: <i>¿Y los cactus que viven en el desierto (necesitan agua)?... Yo creo que (los cactus) no necesitan agua necesariamente.</i>

Finalmente, el alumnado aludió a factores no incluidos en el experimento como posibles factores explicativos de los efectos observados, como el hipotético efecto de la temperatura sobre la velocidad de crecimiento, el posible efecto del suelo sobre el crecimiento erguido de la planta y la posibilidad de que algunas plantas (cactus) no necesiten agua o necesiten menos agua para crecer (tabla 5).

En la discusión final de recapitulación se detectó que en el grupo de estudio (grupos A + B) emergieron aspectos relacionados con la NdC. En la tabla 6, se evidencia que en el grupo de estudio manifestaron que «investigaron» plantas «para saber qué necesitan» (pregunta investigable), observando su «estado» en diversas «condiciones» (variables dependiente e independiente), mientras que en el grupo de control, frente a las mismas preguntas, los niños y las niñas únicamente utilizaron un lenguaje descriptivo (tabla 6).

Tabla 6.  
Extractos de las discusiones de recapitulación. En negrita, elementos de la NdC

Grupo de estudio	Grupo de control
Maestra: <i>¿Os acordáis de qué hemos hecho estos días?</i>	
Niño/a: <b>Investigar</b> plantas	Niño/a: Lo de las plantas.
Maestra: Investigar las plantas, muy bien. <i>¿Y qué hemos investigado en las plantas?</i> Niño/a: <b>Qué necesitan para nacer y para crecer</b> –Pregunta investigable–	Maestra: Eso es, <i>¿qué hemos hecho? ¿Alguien lo puede decir?</i> Niño/a: Trabajo sobre plantas, cuidar las plantas.
Maestra: <i>¿Qué hemos investigado?, ¿Qué hemos hecho?</i> Niño/a: Hemos visto las plantas, <b>cómo están</b> , y luego hemos escrito lo que se nos ha ocurrido. –Variable dependiente–	Maestra: Cuidar las plantas... <i>¿Aquí hemos puesto unos botes no?</i> Niño/a: Plantar plantas.
Maestra: Habéis hecho una observación. Y para ver eso, <i>¿qué habéis puesto aquí?</i> Niño/a: Plantar muchas plantas, <b>de muchas maneras y a ver quién crece mejor.</b> –Variable dependiente frente a independiente–	Maestra: <i>¿Qué más hemos hecho?</i> Niño/a: Todos los días... esto... ver cómo están las plantas y escribir en un papel.

## DISCUSIÓN E IMPLICACIONES PARA LA DOCENCIA

En este estudio, la intervención de la maestra fomentó que niños y niñas de seis y siete años diseñaran un experimento para responder a una pregunta, formularan predicciones y realizaran observaciones y comparaciones para generar y evaluar explicaciones científicas sobre el ser vivo (PI1). El papel de la maestra resultó clave durante todo el proceso a través de las preguntas productivas, pero también mediante otras estrategias dialógicas para estructurar las discusiones y fomentar la colaboración, el razonamiento y la construcción de ideas científicas. Estos resultados coinciden con otros trabajos que han demostrado que, desde los cuatro a seis años, con la adecuada instrucción, los y las escolares son capaces de participar en las diferentes operaciones epistémicas implicadas en la indagación (Metz, 2011; Ruffman et al., 1993). Además, ciertas intervenciones de la maestra favorecieron la emergencia en el discurso de los y las escolares de expresiones relacionadas con la naturaleza del trabajo científico (PI2). Así, los resultados sugieren que lo que promueve la interiorización de ciertos aspectos de la NdC es el hecho de involucrarse en el diseño del experimento y en la discusión de aula, y no tanto la realización del experimento en sí (PI2). Aunque los resultados de un estudio de caso no permiten generalizaciones, las conclusiones extraídas de esta investigación pueden informar estrategias docentes útiles para llevar a cabo en el aula una indagación auténtica y fomentar la comprensión de la NdC.

En primer lugar, hemos identificado una serie de preguntas productivas y enunciados para organizar y fomentar la práctica científica durante una indagación. Mediante preguntas para el diseño como «¿Qué haríais...?» o «¿Cómo podemos saberlo...?», se puede implicar al alumnado en la planificación de la investigación, evitando que la conciben como un protocolo de pasos preestablecidos. Evaluar y diseñar investigaciones es una de las dimensiones fundamentales de la competencia científica (OCDE, 2019), pero rara vez tiene lugar en las aulas (Osborne, 2014), particularmente en contextos con niños y niñas pequeños, donde el diseño suele correr a cargo de la figura docente. Por ello, las estrategias identificadas en nuestra investigación pueden suponer una aportación, ya que pocos trabajos han analizado el papel que tienen las preguntas del o la docente durante el proceso de planificación (Studhalter et al., 2021).

Por otro lado, en consonancia con otros estudios (Benedict-Chambers et al., 2017; Lee y Kinzie, 2012; Oliveira, 2010), hemos detectado que, durante la discusión de resultados, el uso de preguntas de enfoque, comparación y razonamiento permite al alumnado elaborar explicaciones basadas en pruebas, en este caso, sobre las ideas clave del ser vivo. Además, la maestra ha evitado el diálogo triádico en forma de pregunta-respuesta-evaluación mediante preguntas de repensar que desafían a los y las escolares a reconsiderar las explicaciones inconsistentes con las pruebas (Kawalkar y Vijapurkar, 2013; Studhalter et al., 2021). A ello se sumarían otra serie de enunciados o *talk moves* que, al igual que otros estudios, hemos mostrado que fomentan una mayor contribución del alumnado a la construcción de un conocimiento compartido, como son las preguntas de aclaración (Oliveira, 2010; Studhalter et al., 2021), enunciados de recapitulación/repetición y de refuerzo positivo (Chin, 2007; Kawalkar y Vijapurkar, 2013; Oliveira 2010) y preguntas de reenvío (Pimentel y McNeill, 2013). En este estudio hemos documentado extractos de discusiones de aula en los que la maestra utiliza este tipo de enunciados para incitar al alumnado a reconsiderar sus ideas alternativas (por ejemplo, que la semilla necesita luz para germinar) y los invita a recurrir a las pruebas y a evaluar las afirmaciones de sus compañeros y compañeras.

En segundo lugar, la intencionalidad de la maestra de incitar al alumnado a reflexionar sobre la naturaleza del trabajo científico que se estaba realizando pudo reforzar la importancia de la naturaleza empírica del método que emplear para la obtención de pruebas. Del mismo modo, preguntar repetidamente «para qué» se está planificando ese experimento permitió vincular constantemente el procedimiento con el propósito de la investigación. Por otro lado, uno de los resultados más intere-

santes de este estudio es que en el discurso del alumnado emergieron espontáneamente tres aspectos de la NdC: el hecho de que la ciencia tiene sus limitaciones (al plantear que el experimento podía no ser representativo de todas las plantas), el hecho de que no hay un solo método científico (al proponer diversos métodos plausibles para la obtención de información) y el carácter hipotético de la ciencia (al recurrir a relaciones causa-efecto hipotéticas no incluidas en el experimento). Otros estudios también han demostrado que los niños y las niñas de corta edad son capaces de entender, entre otras, las características de la NdC identificadas en este estudio (Akerson y Donnelly, 2010; Bartels y Lederman, 2022).

En tercer lugar, nuestros resultados indican que la participación en el diseño del experimento y en las discusiones guiadas puede promover la comprensión inicial de elementos de la NdC. Al igual que en otros estudios, nuestra investigación sugiere que participar en la planificación de las investigaciones permite que el alumnado lleve a cabo un mayor número de operaciones epistémicas (Crujeiras, 2014). Este y otros estudios han demostrado que, con una estrategia de enseñanza adecuada, se pueden desarrollar las capacidades de los niños y las niñas pequeños para diseñar investigaciones científicas y aprender sobre la NdC (Akerson y Donnelly, 2010; Metz, 2011; Rodríguez et. al., 2021). Las preguntas productivas y estrategias dialógicas identificadas en esta investigación pueden constituir una herramienta pedagógica para el profesorado a la hora de fomentar la indagación auténtica, el discurso de aula productivo y el aprendizaje de aspectos iniciales de la NdC.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó dentro del grupo de investigación KOMATZI (GIU21/031), financiado por la UPV/EHU y del proyecto PID2022-137010OB-I00, subvencionado por MCIN /AEI /10.13039/501100011033 / FEDER, UE. Agradecemos a A. Arriola y a A. Peña su colaboración en el desarrollo de la secuencia y toma de datos.

## REFERENCIAS

- Akerson, V. y Donnelly, L. A. (2010). Teaching nature of science to K-2 students: what understandings can they attain? *International Journal of Science Education*, 32(1), 97-124.  
<https://doi.org/10.1080/09500690902717283>
- Bargiela, I. M., Blanco Anaya, P. y Puig, B. (2022). Las preguntas para la indagación y activación de pensamiento crítico en educación infantil. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didáctica*, 40(3), 11-28.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5470>
- Bartels, S. y Lederman, J. (2022). What do elementary students know about science, scientists and how they do their work? *International Journal of Science Education*, 44(4), 627-646.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2050487>
- Benedict-Chambers, A., Kademian, S. M., Davis, E. A. y Palincsar, A. S. (2017). Guiding students towards sensemaking: teacher questions focused on integrating scientific practices with science content. *International Journal of Science Education*, 39(15), 1977-2001.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1366674>
- Caño, L., Sanz, J., Zaldua, I., Arriola, A. y Peña, A. (2022). Las preguntas del/la docente fomentan la argumentación temprana: una propuesta de metodología de análisis de discusiones en el aula de primaria. En Benarroch, A. (Ed.), *30 Encuentros Internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales. La enseñanza de las ciencias en un entorno intercultural*. Universidad de Granada, Servicio de Publicaciones.

- Casas-Quiroga, L. y Crujeiras-Pérez, B. (2020). Epistemic operations performed by high school students in an argumentation and decision-making context: Setrocia's alimentary emergency. *International Journal of Science Education*, 42(16), 2653-2673.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1824300>
- Chin, C. (2007). Teacher questioning in science classrooms: approaches that stimulate productive thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(6), 815-843.  
<https://doi.org/10.1002/tea.20171>
- COSCE, Confederación de Sociedades Científicas de España (2011). *Informe ENCIENDE: Enseñanza de las Ciencias en la Didáctica Escolar para edades tempranas en España* [Archivo PDF]. [https://cosce.org/pdf/Informe\\_ENCIENDE.pdf](https://cosce.org/pdf/Informe_ENCIENDE.pdf)
- Couso, D. (2014). De la moda de «aprender indagando» a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. En M. A. Héras, A. Lorca, B. Vázquez, A. Wamba, R. Jiménez (Eds.), *Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante* (pp. 1-28). Servicio de Publicaciones Universidad de Huelva.
- Crujeiras, B. (2014). *Competencias y prácticas científicas en el laboratorio de química: participación del alumnado de secundaria en la indagación* [Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela].
- Elsteeg, J. (1985). The right question at the right time. En W. Harlen (Ed.), *Primary Science: Taking the Plunge* (pp. 36-46). Heinemann Educational.
- Hogan, K., Nastasi, B. K. y Pressley, M. (1999). Discourse patterns and collaborative scientific reasoning in peer and teacher-guided discussions. *Cognition and Instruction*, 17(4), 379-432.  
[https://doi.org/10.1207/S1532690XCI1704\\_2](https://doi.org/10.1207/S1532690XCI1704_2)
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Bugallo Rodríguez, A. y Duschl, R. A. (2000). «Doing the lesson» or «doing science»: argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.  
[https://doi.org/10.1002/1098-237X\(200011\)84:6<757::AID-SCE5>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1098-237X(200011)84:6<757::AID-SCE5>3.0.CO;2-F)
- Kawalkar, A. y Vijapurkar, J. (2013). Scaffolding science talk: the role of teachers' questions in the inquiry classroom. *International Journal of Science Education*, 35(12), 2004-2027.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2011.604684>
- Kelly, G. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. En R. Duschl y R. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry: recommendations for research and implementation* (pp. 99-117). Sense Publishers.  
[https://doi.org/10.1163/9789460911453\\_009](https://doi.org/10.1163/9789460911453_009)
- Kelly, G. J., y Licona, P. (2018). Epistemic Practices and Science Education. En M. R. Matthews (Ed.), *History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 139-165). Springer International Publishing.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-62616-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-62616-1_5)
- Lee, Y. y Kinzie, M. B. (2012). Teacher question and student response with regard to cognition and language use. *Instructional Science*, 40(6), 857-874.  
<https://doi.org/10.1007/s11251-011-9193-2>
- Lemke, J. L. (1990). *Talking science: language, learning, and values*. Ablex Publishing Corporation.
- Martí, J. (2012). *Aprender ciencias en la Educación Primaria* (pp. 37-95). Graó.
- Martínez-Chico, M., López-Gay, R, Jiménez Liso, M.R. (2017). Prácticas científicas en la formación inicial de maestros: indagación para describir y modelizar. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, número extra, 159-164. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/334115>
- Metz, K. E. (2011). Disentangling robust developmental constraints from the instructionally mutable: young children's epistemic reasoning about a study of their own design. *Journal of the Learning Sciences*, 20(1), 50-110.  
<https://doi.org/10.1080/10508406.2011.529325>

- Monteira, S. F. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2016). The practice of using evidence in kindergarten: the role of purposeful observation. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), 1232-1258.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21259>
- NRC, National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press.  
<https://doi.org/10.17226/13165>
- OCDE (2019). PISA 2018. Assessment and Analytical Framework. OECD Publishing.
- Oliveira, A. W. (2010). Improving teacher questioning in science inquiry discussions through professional development. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 422-453.  
<https://doi.org/10.1002/tea.20345>
- Osborne, J. (2014). Scientific practices and inquiry in the science classroom. En Lederman N. G. y Abell S. K. (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (Vol. II, pp. 579-599). Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9780203097267.ch29>
- Pimentel, D. S. y McNeill, K. L. (2013). Conducting talk in secondary science classrooms: investigating instructional moves and teachers' beliefs. *Science Education*, 97(3), 367-394.  
<https://doi.org/10.1002/sce.21061>
- Pigrau, T. y Sanmartí, N. (2015). Model per interpretar sistemes vius. [http://media.wix.com/ugd/81d0d8\\_2bd060dd60e84ba88ed018a28dc03fe6.pdf](http://media.wix.com/ugd/81d0d8_2bd060dd60e84ba88ed018a28dc03fe6.pdf)
- Rodríguez, A. M., Cáceres, M. J. y Franco-Mariscal, A. J. (2021). ¿Cómo hacemos crecer una planta? Una indagación con niños de 3 años de educación infantil. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 39(3), 251-253.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3345>
- Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka*, 14(2), 286-299.  
[https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2017.v14.i2.01](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.01)
- Ruffman, T., Perner, J., Olson, D. R. y Doherty, M. (1993). Reflecting on scientific thinking: children's understanding of the hypothesis evidence relation. *Child Development*, 64(6), 1617-1636.  
<https://doi.org/10.2307/1131459>
- Sandoval, W. A., Sodian, B., Koerber, S. y Wong, J. (2014). Developing children's early competencies to engage with science. *Educational Psychologist*, 49(2), 139-152.  
<https://doi.org/10.1080/00461520.2014.917589>
- Studhalter, U. T., Leuchter, M., Tettenborn, A., Elmer, A., Edelsbrunner, P. A. y Saalbach, H. (2021). Early science learning: The effects of teacher talk. *Learning and Instruction*, 71.  
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2020.101371>
- Windschitl, M., Thompson, J. y Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.  
<https://doi.org/10.1002/sce.20259>

---

# The Teacher's Dialogic Questions and Strategies for Guiding Inquiry in Primary School

Lidia Caño Pérez, Josu Sanz Alonso

Departamento de Didáctica de las Matemáticas, Ciencias Experimentales y Sociales, Facultad de Educación, Filosofía y Antropología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Donostia, Guipúzcoa, España  
lidia.cano@ehu.eus, josu.sanz@ehu.eus

María Teresa Gómez Sagasti

Departamento de Didáctica de las Matemáticas, Ciencias Experimentales y Sociales, Facultad de Educación, Filosofía y Antropología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Donostia, Guipúzcoa, España  
Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), Leioa, Vizcaya, España  
mariateresa.gomez@ehu.eus

The aim of this research is to delve into the most effective dialogic strategies to engage children in inquiry, especially in the first stage of Primary School, which has been underrepresented in the scientific literature. We conducted a detailed analysis of the scientific discourse in a 2<sup>nd</sup> grade classroom during an experimental inquiry about plants. The research questions are the following: (RQ1) How do the teacher's questions foster the performance of epistemic operations involved in inquiry practice in a primary school classroom? (RQ2) Do aspects of the nature of science (NoS) emerge in the dialogue during inquiry? Does the extent of student engagement in the inquiry process affect the emergence of such aspects of NoS?

The sequence of activities started from the inquiry question «What does a plant need to be born and to grow?», and included a guided discussion to encourage the expression of previous ideas and experimental design (1<sup>st</sup> phase), the performance of the experiment and guided discussion of the results (2<sup>nd</sup> phase) and a recapitulation discussion (3<sup>rd</sup> phase).

In the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> phases of the discussion we categorized, basing upon the specialized literature, the teacher's productive questions, the epistemic operations performed by the students, and the core ideas about the living being that emerged. We also categorized the elements related to NoS that arose in the teacher's and children's discourse during the three phases. The final recapitulation discussion was also carried out in a control group which made observations in the experiment but did not participate in the design and discussion of the results.

The results showed that the teacher encouraged 6-7 year olds to design an experiment to answer a question, formulate predictions, and make observations and comparisons to generate and evaluate scientific explanations about living beings (RQ1). Questions for knowledge activation, for engagement in the experimental design («How can we know if it needs...?») and for stimulating predictions («What do you think will happen?») encouraged students to participate in the design of experiment, preventing them from conceiving the research as a protocol of pre-established steps. Focus («What happened?») and reasoning questions («How do you know?») encouraged students to construct evidence about the effect of water, light and soil on seeds and plants, addressing seven core ideas of living beings. The teacher challenged students to reconsider explanations which were inconsistent with evidence and used strategies to reinforce interesting ideas through collaboration: recap/repetition statements, positive reinforcement and «toss-back» questions («Good question, Mikel, do the rest of you think cacti don't need water?»).

Several teacher's statements favored the emergence of utterances related to the NoS (RQ2). Questions such as «How can we know...?» elicited statements related to the empirical nature of science («prove», «we can do it»). By repeatedly asking what the experiment was planned for, it was possible to constantly link the procedure to the research question. Three aspects of the NoS emerged spontaneously in the children's discourse: the fact that science has limitations (by stating that the experiment might not be representative of all plants), the fact that there is no single scientific method (by proposing several plausible methods for gathering information) and the hypothetical nature of science (by resorting to hypothetical cause-effect relationships not included in the experiment). Finally, the comparison of the language used by the study group with regards to the control group showed that the factor promoting the emergence of aspects of the NoS was that of being involved in the design of the experiment and in the class discussion (rather than the performance of the experiment itself) (RQ2).

The productive questions and dialogic strategies identified in this research can provide teachers with a pedagogical tool to foster authentic inquiry, productive discourse in the classroom, as well as to improve students' learning of initial aspects of NoS from early stages.



# Reflexión crítica en formación inicial: caracterización trayectorias al diseñar secuencias

## Critical Reflection by Pre-Service Teachers: Characterization of Trajectories in the Design of Sequences

Edith Herrera San Martín

*Departamento Ciencias de Educación, Universidad del Bio-Bio. Chillán. Chile*  
eherrera@ubiobio.cl

*Departamento Estudios Pedagógicos, Universidad de Chile. Santiago. Chile*  
edith.herrera@uchile.cl

**RESUMEN** • El estudio caracteriza los niveles de reflexión del profesorado en formación de Biología y Química de la Universidad Pública de Chile, al generar Secuencias de enseñanza-aprendizaje en las sesiones de práctica pedagógica (noveno semestre) y de práctica profesional (décimo semestre). El estudio de caso se realizó durante dos años sobre cuatro fases: diagnóstico, diseño secuencia, implementación y evaluación. Los estudiantes reflexionaron en un portfolio sobre su acción práctica y estas se codificaron en categorías con Atlas.ti. Las trayectorias reflexivas se analizaron según niveles: prerreflexivo, superficial, pedagógico y crítico. Los resultados señalan diversidad de trayectorias. Se concluye que en la práctica de 2021 se avanzó de un nivel prerreflexivo hasta llegar al crítico y en 2022 solo alcanzó un nivel pedagógico, por lo que es necesario promover la reflexión crítica en las prácticas de formación inicial.

**PALABRAS CLAVE:** Secuencia enseñanza-aprendizaje; Formación inicial de profesores; Práctica reflexiva; Reflexión crítica.

**ABSTRACT** • The study characterizes the levels of reflection of Biology and Chemistry teachers in training at the Public University of Chile, when designing teaching-learning sequences in the pedagogical practice (ninth semester) and professional practice (tenth semester) sessions. The case study was carried out in a timespan of two years and in four stages: diagnosis, sequence design, implementation, and evaluation. Students reflected on their performance as teachers in a portfolio and their reflections were codified in categories with Atlas.ti. The reflective trajectories were analyzed according to levels: pre-reflection, surface, pedagogical, and critical. The results show a diversity of trajectories. It is concluded that in 2021 practice progressed from a pre-reflective level to a critical level and in 2022 it only reached a pedagogical level, therefore, there is the need to promote critical reflection during the initial teacher training phase.

**KEYWORDS:** Teaching-learning sequences; Initial teacher training; Reflective practice; Critical reflection.

Recepción: agosto 2023 • Aceptación: febrero 2024 • Publicación: junio 2024

La práctica docente me recuerda a un viaje en barco: el docente es una especie de capitán que tiene que fijar la mejor ruta posible para que sus estudiantes crucen entre las incertidumbres del complejo mar del currículum de ciencias. Al menos un pequeño porcentaje debe sentir que les permite conectarse o vivir en el mundo actual, pero es imposible fijar una buena ruta sin conocer a tus tripulantes, saber en qué puntos detenerse una mayor cantidad de tiempo o en qué aguas detener un poco la marcha del navío para que ellos no se asusten con las olas de los contenidos de ciencias a enseñar (Caso 2.1: 73).

## INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

### Reflexión en formación inicial de secundaria

La práctica reflexiva en formación inicial de docentes de ciencias persigue el desarrollo humano y profesional. Sin embargo, la investigación sobre la reflexión en la práctica en ciencias naturales es relativamente escasa (Pérgola y Pérez, 2023). Según algunos autores, involucra una dimensión macro-micro y procesos de indagación, introspección y construcción de identidad durante la práctica de aula, como muestra la figura 1. Según Liu (2013), implica un proceso constante de análisis, cuestionamiento y crítica acerca de los problemas sociales y políticos en la enseñanza (a nivel macro) y de las creencias sobre enseñanza y aprendizaje del profesorado (a escala micro) para producir desde la práctica educativa cambios en el aprendizaje del estudiantado, mejorar la escolarización y construir una sociedad más justa para todas las personas (Hatton y Smith, 1995; Farrell, 2016). Por ello, quien realice este tipo proceso realiza una reflexión crítica de su práctica, ya que logra divisar los propósitos de la escolarización a la luz de la justicia y otros criterios éticos analizando las dimensiones sociales, políticas educativas y curriculares (Pagés, 2021), para finalmente alcanzar la transformación de perspectivas y acciones pedagógicas (Fook, 2015). Es así como los investigadores presentes en la figura 1 concuerdan en la relevancia de incorporar procesos reflexivos en la formación inicial docente.

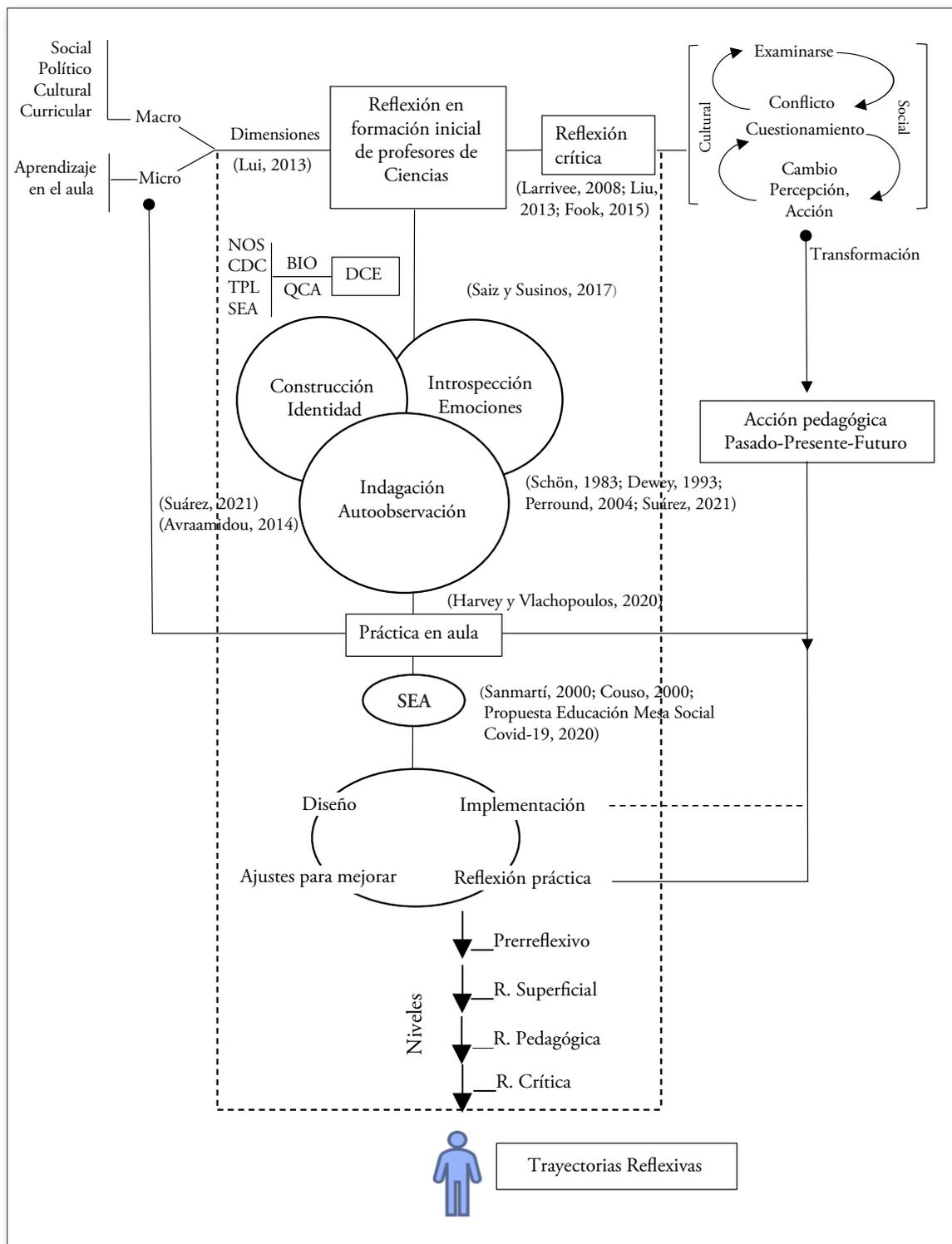


Fig. 1. Aspectos de la reflexión en la práctica por el profesorado en formación inicial de ciencias.

La figura 1 muestra que los procesos que participan en la práctica reflexiva, según Roberts et al. (2021), se relaciona con la indagación docente y se caracteriza, según Harvey y Vlachopoulos (2020),

por ser un proceso de introspección deliberado, que emplea las capacidades cognitivas, emocionales y somáticas de una persona para contemplar conscientemente las acciones pedagógicas pasadas, presentes o futuras con el fin de aprender y comprender su actuar para transformarlo (Dewey, 1993; Schön, 1983; Perrenoud, 2004). En el ejercicio de reflexión se descubre la interioridad del sujeto mediante la autoobservación y la autorreflexión (Landín y Sanchez, 2019) que ocurren a través del prácticum, y acercan al profesorado en formación inicial al oficio docente (Saiz y Susinos, 2017). Al cuestionar la propia práctica con una mirada crítica, toma conciencia del propio ser pedagógico en su aprendizaje al recrear, interpretar y resignificar sus propias experiencias (Blanco y Sierra 2013; Suárez, 2021).

Según Beauchamp y Thomas (2010), la reflexión es un factor determinante en la formación de identidad, y para Avraamidou (2014) la identidad docente es un proceso continuo de interpretación y reinterpretación de experiencias que implica tanto la persona como el contexto. Para la autora, uno de los factores que inciden en la construcción de la identidad del profesorado es su comprensión del área de conocimiento en que se desempeña y la propia visión de la docencia que imparte, pero también esta identidad está conectada con la historia de vida y las expectativas sobre su desempeño en las aulas; por tanto, debería ser un elemento central en los programas de formación docente (ver figura 1).

Específicamente, en el campo de la didáctica de las ciencias experimentales, las dinámicas reflexivas ayudan al alumnado en el aprendizaje de las ciencias (Zee y Roberts, 2002) y al profesorado en el cuestionamiento y mejora de su práctica (Pacca y Villani, 2000), dando la oportunidad de crear climas favorables al diálogo (Villani y Franzoni, 2001). Por esta razón, la reflexión ha sido incorporada por varios autores asociada a cómo se implementa en estudios de trabajos prácticos de laboratorio (TPL) (Séré, 2002; Acevedo Díaz, 2009). Se ha reconocido su aporte al análisis de experiencias de prácticum, al estudio de sus concepciones didácticas y al analizar secuencias de enseñanza-aprendizaje en formación inicial de ciencias en torno a diversas temáticas curriculares de ciencias que dan cuenta de los retos y las limitaciones (Jiménez-Tenorio y Oliva, 2016).

Numerosos estudios han analizado el desarrollo de la práctica reflexiva al identificar niveles crecientes en complejidad y alcance del análisis reflexivo (Larrivee, 2008; Salinas, 2019). Para Larrivee (2008), el sujeto reflexivo debe tener la capacidad de autorreflexionar sobre su sistema de creencias y valores personales y profesionales, lo que en palabras de Fernández-Balboa (1998) implica no solo observar el futuro o pasado del sujeto, sino también cuestionarse a sí mismo el presente. Por esto, Larrivee (2000) propone un ciclo reflexivo de análisis y cambio que involucra tres estadios en la práctica docente: de examen, de conflicto y de cambio de percepción, como se muestra en la figura 1. Para estos autores, la reflexión crítica se inicia con el análisis o el examen de los aspectos individuales internos, a lo que se agrega las implicancias culturales y sociales-externas que conducen a la transformación de pensamientos, sentimientos y acciones pedagógicas del profesorado.

### **Reflexión al construir secuencias didácticas en práctica**

Uno de los espacios más importantes para el desarrollo de la reflexividad docente lo constituye la práctica profesional inicial (Jones y Ryan, 2014). El profesorado llega a esta práctica con creencias sobre cómo debe ser la enseñanza, haciendo difícil la introducción de cambios o nuevas concepciones (Fernández-Marchesi y Costillo-Borrego, 2020). Al parecer, brindar al profesorado en formación inicial de ciencias la oportunidad de cuestionar sus propias prácticas y las creencias que las sostienen permite que asuman posturas reflexivas y abiertas, condición necesaria para producir cambios (Chamizo y García-Franco, 2013). Investigar la práctica gracias a procesos de reflexión crítica cuando se construyen secuencias de enseñanza-aprendizaje nos lleva a preguntarnos cómo debe ser la formación inicial del profesorado de ciencias para atender al sujeto que aprende según las necesidades del contexto de su práctica.

En nuestra propuesta, el diseño de una secuencia de enseñanza-aprendizaje, a partir de ahora SEA, que hicieron los profesores en práctica se concreta, según Couso (2020) y Sanmartí (2000), tanto en la visión de la enseñanza y el aprendizaje (por qué y para qué aprender) como en el trabajo que se llevará a cabo en el aula (qué se enseña y cómo se hace) y que se ha enriquecido con la metodología de la investigación basada en el diseño (IBD), que actualmente constituye una importante línea de investigación educativa (Domènech-Casal, 2018; Guisasaola y Oliva, 2020).

El diseño de SEA siguió las orientaciones constructivistas y se desarrolló según Propuestas Educación Mesa Social Covid-19 (2020): 1) Expresando y compartiendo los saberes del aprendizaje nuclear; 2) poniendo a prueba los saberes; 3) estructurando el aprendizaje nuclear científico; y 4) aplicando el aprendizaje nuclear. Este aprendizaje nuclear está compuesto por un conjunto de saberes, habilidades y actitudes. Para su formulación se consideró como criterios de selección: el bienestar, la pertinencia, la integración de aprendizajes y la centralidad de conceptos científicos para el aprendizaje de las ciencias. Para el profesorado en formación, delimitar el aprendizaje nuclear implicó el análisis del marco curricular de Biología, Química, Ciencias para la Ciudadanía y el estudio del contexto escolar del estudiantado para definir una pregunta orientadora en la secuencia de enseñanza-aprendizaje y tomar decisiones sobre la progresión de los conceptos científicos de su aprendizaje nuclear y acerca del enfoque didáctico a utilizar en SEA, para posteriormente reflexionar sobre su diseño, implementación y evaluación, como muestra la figura 2.

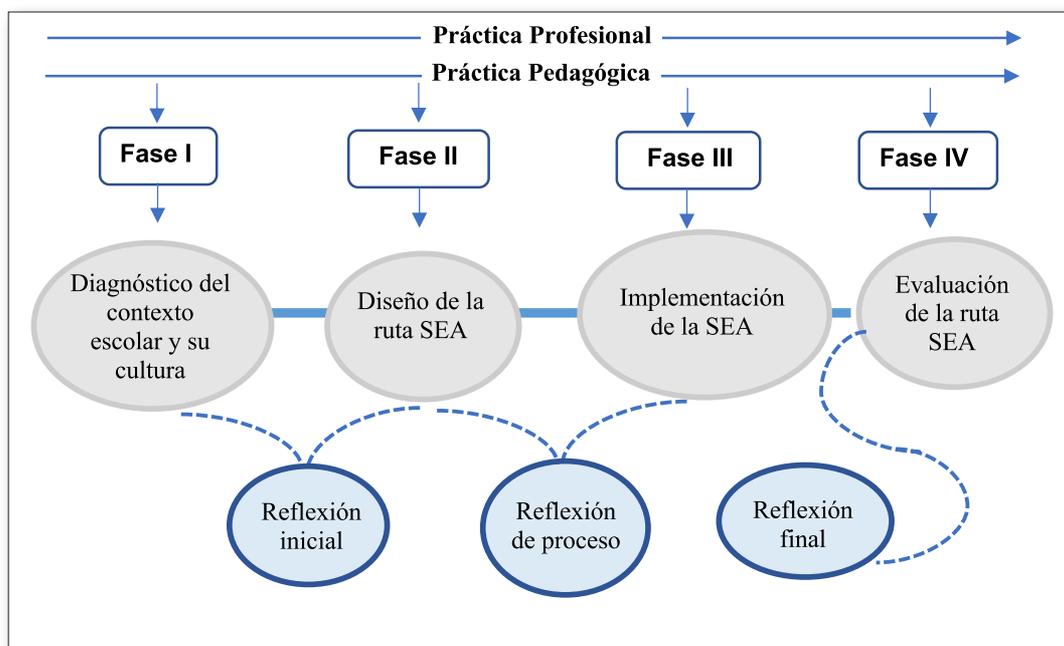


Fig. 2. Construcción de SEA y reflexión del profesorado en formación inicial de Biología y Química.

La figura 2 señala cómo se estudió la práctica en sus trayectorias reflexivas por el profesorado en formación según el diseño metodológico que se detalla en los siguientes apartados.

## METODOLOGÍA

Esta investigación sigue un enfoque cualitativo con diseño exploratorio y descriptivo. Busca dar respuesta a:

¿Cuáles son las características de la reflexión al diseñar, implementar y evaluar secuencias de enseñanza-aprendizaje del profesorado elaboradas en formación inicial de Biología y Química?

Esta pregunta se desarrolla a través de los siguientes objetivos específicos:

Objetivo 1: Caracterizar los niveles y las trayectorias de reflexión del profesorado en formación inicial de Biología y Química al diseñar, implementar y evaluar secuencias de enseñanza-aprendizaje integradoras y contextualizadas.

Objetivo 2: Analizar el discurso reflexivo del profesorado en formación inicial en sus obstáculos y oportunidades al diseñar, implementar y evaluar las secuencias didácticas.

En este sentido, lo que nos ocupa en este estudio es ayudar al profesorado en formación inicial, desde ahora (PFI), de Secundaria en Biología y Química, a explorar y reflexionar sobre cuándo, dónde y cómo aprendemos en una práctica dialógica situada, para así contribuir a comprender el modo de pensar y actuar de un PFI, al implementar sus secuencias didácticas diseñadas en su práctica y reflexionar sobre su desempeño.

El estudio se enmarcó en un diseño de caso múltiple, según la complejidad y singularidad situacional (Stake, 1999), y longitudinal en el año 2021 y 2022 (Davis, 1998), en quinto año de la carrera de Pedagogía en Biología y Química de una universidad pública de Chile, cuyos contextos de práctica y modalidad difieren, y por tanto no son comparables. La muestra se seleccionó a conveniencia en los cursos del año 2021 ( $n = 8$ ) y 2022 ( $n = 4$ ), respondió al criterio de inclusión de continuidad del PFI en el mismo centro de práctica y de sección en las dos asignaturas (tabla 1). Al inicio de cada asignatura se solicitó al PFI el consentimiento informado, se mantuvo el anonimato de los participantes seleccionados, asignando números al caso de estudio (desde el 1 al 12) para los datos recopilados, los cuales se trataron siguiendo los protocolos de resguardos éticos.

Tabla 1.  
Caracterización de la muestra del profesorado en formación inicial de Biología y Química

<i>Año/Sem</i>	<i>Muestra</i>	<i>Asignatura</i>	<i>Práctica</i>	<i>Sesiones SEA</i>
2021-9.ºs	$n = 8$	Didáctica de la Biología	Práctica pedagógica	8-12 semanas
2021-10.ºs	$n = 8$	Didáctica integrada de las Ciencias	Práctica profesional	8-12 semanas
2022-9.ºs	$n = 4$	Didáctica de la Biología	Práctica pedagógica	8-12 semanas
2022-10.ºs	$n = 4$	Didáctica integrada de las Ciencias	Práctica profesional	8-12 semanas

*Nota:* la práctica pedagógica se realiza en 9.º semestre y práctica profesional en 10.º semestre de carrera.

El instrumento utilizado para el seguimiento del proceso reflexivo del PFI corresponde al porfolio de cada asignatura. La investigación siguió cuatro fases en el proceso reflexivo: i) diagnóstico del contexto escolar y su cultura; ii) diseño de la ruta SEA; iii) implementación de la ruta SEA; y iv) evaluación de la ruta y reflexión en cada fase (ver figura 2). El PFI registró las reflexiones de su práctica de aula en Biología, Química o Ciencias para la Ciudadanía durante 8-12 semanas en cada semestre. Estos registros etnográficos incluyeron: descripción de las experiencias de aula, emociones, incidente

crítico vivido (o no), cuestionamientos sobre el análisis de su práctica y propuestas de cambio o ajustes de SEA para las siguientes clases.

### Contexto de la muestra del estudio

Cada participante de la muestra en el noveno semestre de carrera cursó Didáctica de la Biología y Didáctica de la Química asociada a la práctica pedagógica en un curso de Biología y un curso de Química, y en el décimo semestre (último) de carrera, Didáctica Integrada de las Ciencias asociada a su práctica profesional en un mínimo de dos cursos de Biología y dos de Química. En cada curso asignado a la práctica, el PFI debió diseñar, implementar y evaluar una secuencia de enseñanza-aprendizaje establecida por su profesor guía. El primer curso del periodo 2021 consideró ocho casos de PFI cuya docencia directa en práctica pedagógica y práctica profesional ocurrió durante la pandemia y se realizó en modalidad virtual e híbrido (incluye clase presencial y virtual en paralelo). Por su parte, los cuatro casos de PFI del curso 2022 desarrollaron su práctica pedagógica y su práctica profesional en modalidad presencial, según los objetivos de aprendizaje del currículum asignados a los casos de estudio que resultaron similares en los casos de estudio en Biología (primer año Obj. 2 y Obj. 5), en Química (segundo año Obj. 17) y Ciencias para la Ciudadanía tercer año (Obj. 1 Módulo bienestar y salud, Obj. 1 Módulo Prevención, Seguridad y Autocuidado).

### Procedimiento de análisis de datos

En la primera fase de análisis del estudio, se realizó la lectura de cada porfolio de práctica pedagógica y práctica profesional por caso de estudio, para clasificar las reflexiones según su nivel (Larrivee, 2008). A continuación, se seleccionaron los extractos del discurso reflexivo más representativos y se asignaron los niveles de prerreflexivo, reflexión superficial, reflexión pedagógica y reflexión crítica, según la tabla 2. Se consensuaron similitudes y diferencias en la caracterización de estos niveles con cuatro investigadores independientes. En caso de existir discrepancias entre los investigadores, se procedió a una segunda revisión. La asignación del nivel de reflexión se muestra en la tabla 2.

Tabla 2  
Caracterización de los niveles de reflexión

<i>Nivel</i>	<i>Tipo reflexión</i>	<i>Descriptor</i>
Nivel 1	Prerreflexión	Está centrada en la respuesta instintiva del docente frente a situaciones en el aula sin considerar respuestas alternativas. No permite crítica ni mejoras, las situaciones o problemáticas son atribuidas a asuntos externos y su enseñanza no se adapta a las necesidades de los estudiantes.
Nivel 2	Reflexión superficial	Narración anecdótica descriptiva, enfocada en las estrategias, los métodos y los aspectos técnicos utilizados en pos de alcanzar los objetivos (Jay y Johnson, 2002).
Nivel 3	Reflexión pedagógica	El profesorado reflexiona sobre los objetivos educativos, las teorías subyacentes a los enfoques y las conexiones entre los principios teóricos y la práctica.
Nivel 4	Reflexión crítica	Es una reflexión que apunta a una mayor complejidad de análisis que ya incorpora aspectos asociados a la reflexión pedagógica y se centra en analizar criterios éticos, morales y las consecuencias de la práctica en los y las estudiantes. La atención va dirigida a las creencias y valores propios, así como las condiciones de la realidad social y política. Se analizan problemas de equidad y justicia social que ocurren dentro y fuera del aula, buscan así conectar sus prácticas a ideales democráticos.

*Fuente:* elaborado a partir de niveles de reflexión Larrivee (2008).

En la segunda fase de análisis del estudio, las reflexiones escritas en el porfolio se codificaron de forma abierta, se contrastaron en una codificación axial, para establecer categorías según densidad de códigos con el uso del programa Atlas.ti, y se establecieron las dos dimensiones de análisis de las reflexiones para el discurso escrito: obstáculos y oportunidades, que presenta la figura 4.

### RESULTADOS

En esta sección, se presentan los resultados según los objetivos del estudio. En el primer resultado se caracterizan las trayectorias reflexivas para los casos de estudio según los niveles de reflexión basados en la rúbrica de la tabla 2 (Larrivee, 2008). En el segundo, se describen las dimensiones y categorías del discurso escrito del profesorado en formación inicial de ciencias al diseñar, implementar, evaluar y reflexionar sobre su SEA.

#### Trayectorias de los niveles de reflexión de PFI de Biología y Química al diseñar, implementar y evaluar SEA

Los resultados de la figura 3 muestran la diversidad de trayectorias reflexivas obtenidas de los casos de estudio al analizar el discurso escrito. En la figura, los círculos representan los tres momentos de reflexión analizados en los porfolios de práctica, mientras que el número en el interior indica la caracterización del nivel de reflexión: prerreflexivo (1), superficial (2), pedagógico (3) y crítico (4).

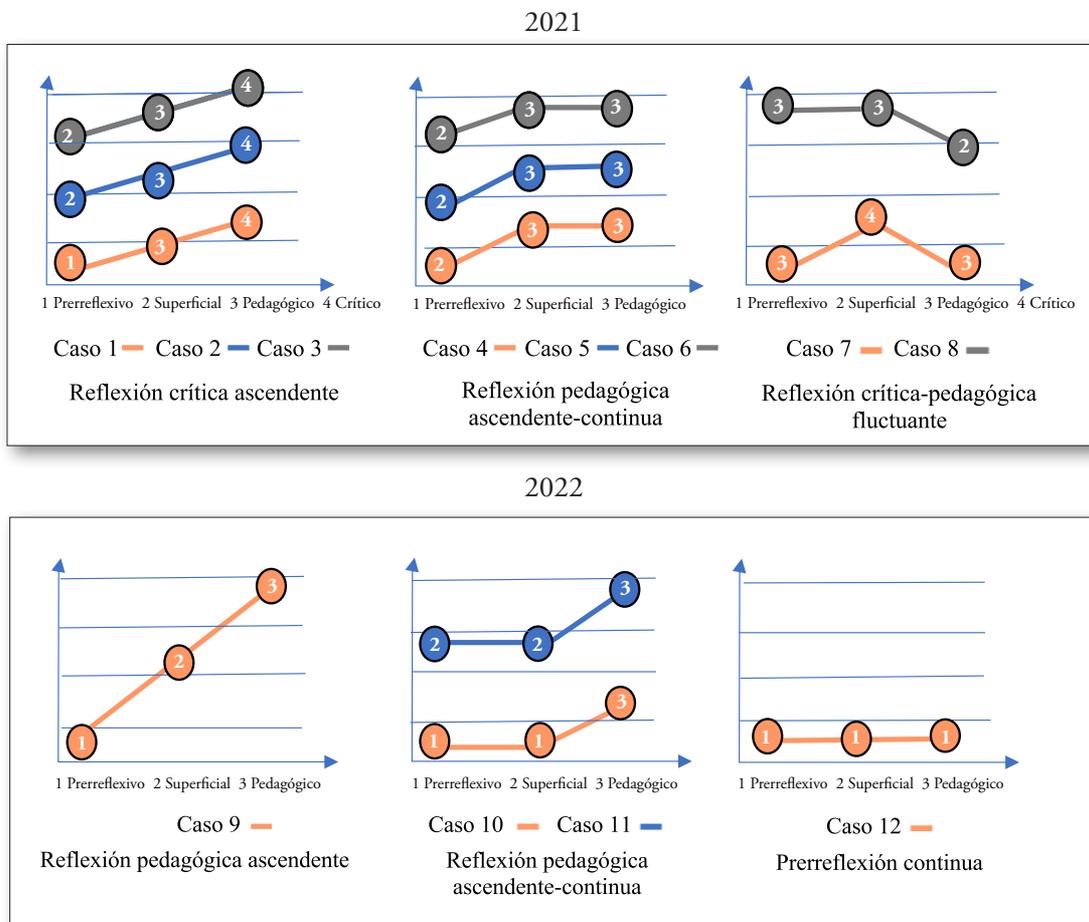


Fig. 3. Trayectoria en niveles reflexión del profesorado en formación Biología y Química (2021-2022).

La figura 3 muestra que el PFI del curso 2021 transitó por diversos niveles de reflexión. Los casos 1, 2 y 3 se caracterizaron por una trayectoria reflexiva crítica ascendente, debido a que en su práctica pedagógica su discurso se inició en un nivel prerreflexivo, avanzó en el proceso de práctica pedagógica a un nivel superficial y al finalizar su práctica profesional la reflexión de estos casos alcanzó un nivel reflexivo crítico. Los casos 4, 5 y 6 presentaron una trayectoria pedagógica ascendente continua, ya que comenzaron su proceso reflexivo en un nivel superficial, avanzaron hacia un nivel de reflexión pedagógico y al finalizar su proceso de práctica profesional se mantuvieron en el mismo nivel de reflexión pedagógica. Los casos 7 y 8 mostraron una trayectoria reflexiva fluctuante. Específicamente, el caso 7 registró un discurso reflexivo entre el nivel pedagógico y el nivel reflexivo crítico, y el caso 8 reflexionó inicialmente en un nivel pedagógico, sin embargo, al final del proceso de práctica profesional descendió a un nivel de reflexión superficial.

La mayor parte del PFI del curso 2022 alcanzó trayectorias reflexivas ascendentes. En el caso 9 la trayectoria se caracterizó por una reflexión pedagógica ascendente, ya que inició su práctica pedagógica en un nivel prerreflexivo (1), y posteriormente ascendió a un nivel de reflexión superficial (2), para finalizar su práctica profesional en un nivel de reflexión pedagógica (3). El caso 10 de trayectoria pedagógica ascendente-continua comenzó su práctica pedagógica en un nivel prerreflexivo, y finalizó en su proceso de práctica profesional hacia un nivel pedagógico. El caso 11 reflexionó al inicio de su práctica en un nivel superficial (2) y se mantuvo durante el proceso en el mismo nivel (2) hasta finalizar en un nivel de reflexión pedagógica (3). Es importante señalar que el caso 12 se caracteriza por una trayectoria de prerreflexión continua en su práctica, debido a que no modificó su trayectoria reflexiva de prerreflexivo a lo largo de todo su proceso de diseño, implementación y evaluación de SEA en práctica pedagógica y profesional. En este curso 2022, al caracterizar la trayectoria reflexiva, ningún caso de estudio alcanzó el nivel de reflexión crítica.

### *Obstáculos y oportunidades en la reflexión al diseñar, implementar y evaluar SEA*

Los resultados de las dimensiones de obstáculos y oportunidades en las reflexiones del PFI se muestran en un resumen en la figura 4. Posteriormente, se presenta por separado cada dimensión con las categorías asociadas, sus códigos y evidencias de reflexión.

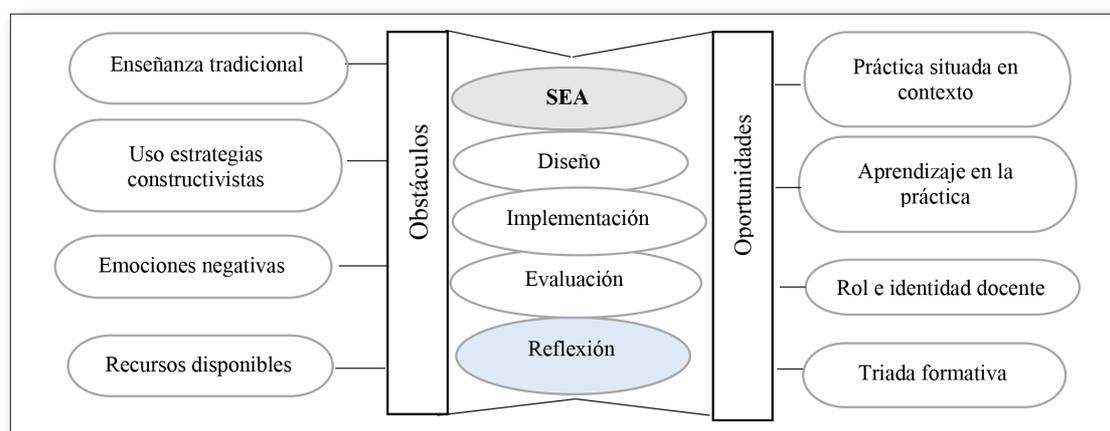


Fig. 4. Obstáculos y oportunidades según las categorías del discurso del PFI de Biología y Química. Elaboración propia.

Al diseñar, implementar y evaluar la SEA en su reflexión, el PFI de Biología y Química presentó obstáculos asociados al conflicto con la enseñanza tradicional, el uso de estrategias constructivistas, las emociones negativas y los recursos disponibles en el centro de práctica. Las oportunidades fueron

referidas a considerar una práctica situada y en contexto, el aprendizaje logrado en la práctica, el rol e identidad docente y el acompañamiento de la triada formativa (profesorado en formación-profesor guía centro escolar-profesor universidad) durante el proceso. A continuación, se detalla cada dimensión con sus categorías resultantes del análisis.

### Categorías de reflexión en los obstáculos al diseñar, implementar y evaluar SEA

En la figura 5 se presentan las cuatro categorías resultantes para esta dimensión de obstáculos, así como los códigos asociados, para luego relacionarlos con los extractos de las reflexiones de los casos de estudio individualizados según su nivel de reflexión (ver rúbrica de la tabla 3).

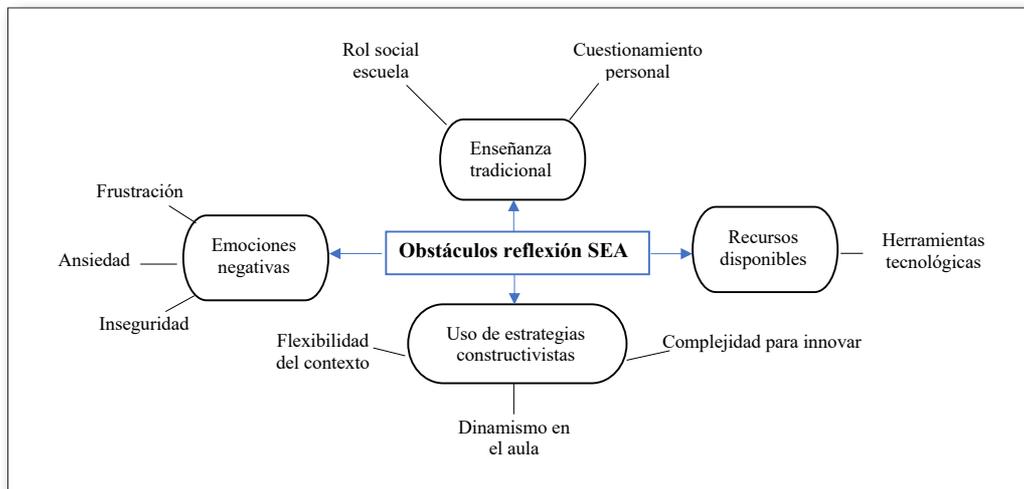


Fig. 5. Dimensión, categorías y códigos al reflexionar sobre obstáculos.

#### *Enseñanza tradicional*

El PFI cuestionó sus creencias durante la práctica pedagógica y la práctica profesional, ya que la formación recibida generó un dilema formativo con una mirada crítica sobre su desempeño, al replicar el modelo tradicional de enseñar las ciencias.

Es difícil romper con el paradigma con el cual crecí, me desarrollé y me formé profesionalmente. La transmisión unidireccional de los contenidos, bajo la guía de un PPT, es mi instinto natural. Sin embargo, mi mente y mi formación docente no me dejan tranquilo cuando me cuestiono una clase tradicional. (Reflexión pedagógica. Caso 9. 3:3. 2022).

Creo que el gran desafío que tenemos por delante consiste en cambiar la mentalidad de los establecimientos educativos, apuntar a la coordinación del profesorado para generar una transición hacia metodologías más constructivistas y enfocarnos en replantear el rol social de cada escuela, para así reducir los índices de vulnerabilidad en los que se han perpetuado (...) y así propiciar el egreso de estudiantes que tengan las habilidades, competencias y herramientas para enfrentar la vida adulta y sus desafíos, en vez de buscar valores numéricos en una tabla de resultados. (Reflexión crítica. Caso 1. 1:110. 2021).

### *Uso de estrategias constructivistas*

El PFI señaló diversas complejidades al diseñar, planificar e implementar SEA en su práctica:

Se me dificulta entender cómo seleccionar los conceptos científicos relevantes para enseñar en biología la nutrición, alimentos transgénicos. esto porque las motivaciones de los/las estudiantes e intereses cambian constantemente. (Prerreflexión. Caso 11. 2:21. 2022).

En el trabajo arduo y difícil que se debe llevar a cabo al planificar cómo realizar las clases, que es más allá de saber el contenido de evolución, sino que hay tomar decisiones en cuáles son prioritarios, una búsqueda de material, recursos, estrategias, para poder llegar a realizar la clase. (Reflexión superficial. Caso 5. 1:54. 2021).

Desde la experiencia práctica [...] se establecen conexiones entre lo teórico-práctico, las múltiples dificultades al implementar una estrategia con un enfoque constructivista. Es complejo, supone desafíos a futuro, con una implementación progresiva y teniendo en cuenta la participación de los/as estudiantes. (Reflexión pedagógica. Caso 6. 1:8. 2021).

El Currículo Nacional hace una propuesta en cuánto a lo que se debe enseñar. Sin embargo, hay una gran ambición por abarcar todos los contenidos científicos, sus habilidades y actitudes [...]. Hay que aterrizar esta ambición a lo que realmente se puede lograr en el aula, ya que debemos flexibilizar y ser conscientes del contexto de los/as estudiantes para así abarcar las diferencias entre los/as mismos/as, porque como docentes tenemos que pensar en ellos/as y ser capaces de enseñar actividades útiles para sus vidas. (Reflexión crítica. Caso 3. 1:102. 2021).

### *Emociones negativas*

El PFI dio cuenta de sus emociones a través de sus reflexiones sobre la práctica educativa:

En la práctica profesional viví varias tensiones al momento de implementar mis clases sobre propiedades de los hidrocarburos, sin duda. Hubo frustraciones cuando los estudiantes no participaban en la clase virtual y mucha ansiedad en cómo planificar actividades para interesarlos. Sin embargo, el poder llegar a didáctica integrada me ayudó a derribar ciertas creencias de cómo se debe realizar las clases y aprendí a que no se puede controlar todo lo que sucede en un aula. (Reflexión superficial. Caso 11. 2:13. 2022).

No puedo desconocer que las equivocaciones y momentos difíciles llevan a mejorar, por lo que el reflexionar en torno a mi temores y reconocerlos ha sido complicado porque no puedo evitar sentirme mal por equivocarme o no tomar las mejores decisiones. Sobre todo, por las, los y les estudiantes, he podido asumir esta instancia que me permitirá mejorar en el futuro ya que la experiencia, como dicen, «no la quita nadie», y el ser consciente de mis falencias me permitirá no volver a cometerlas o poder manejarlas de mejor forma para apoyar y guiar de mejor forma a todas, todos y todes las personas que tenga que acompañar en el camino del aprendizaje en ciencias. (Reflexión pedagógica. Caso 6. 1:81. 2021).

### *Recursos disponibles*

El PFI de Biología y Química reconoció en sus reflexiones el requerimiento de capacitación y adaptación a la educación remota y la accesibilidad de los recursos.

En la práctica no siempre se cumple lo que las orientaciones teóricas muchas veces señalan y que consideran al estudiante con un alto grado de autonomía y con las necesidades básicas cubiertas, como conexión estable, computador para realizar las distintas actividades de aprendizaje del sistema endocrino, para la atención en clases y también el tiempo para hacer actividades fuera de la clase, lo cual dificulta la aplicación de estrategias constructivistas. (Prerreflexión. Caso 1. 1:181. 2021).

Las TIC, sobre todo en este contexto virtual, han formado parte del cotidiano, pero ha sido un desgaste aprender a ocuparlas, tanto para profesores como para estudiantes; se perdió el uso de la pizarra, lo que ha significado al menos para mí un enorme pesar. (Reflexión superficial. Caso 8. 1:86. 2021).

### Categorías de reflexión en oportunidades al diseñar, implementar y evaluar SEA

En la figura 6 se presentan las cuatro categorías resultantes para esta dimensión de oportunidades, así como los códigos asociados, para luego relacionarlos con los extractos de las reflexiones de los casos de estudio individualizados según su nivel de reflexión (ver rúbrica de la tabla 3).

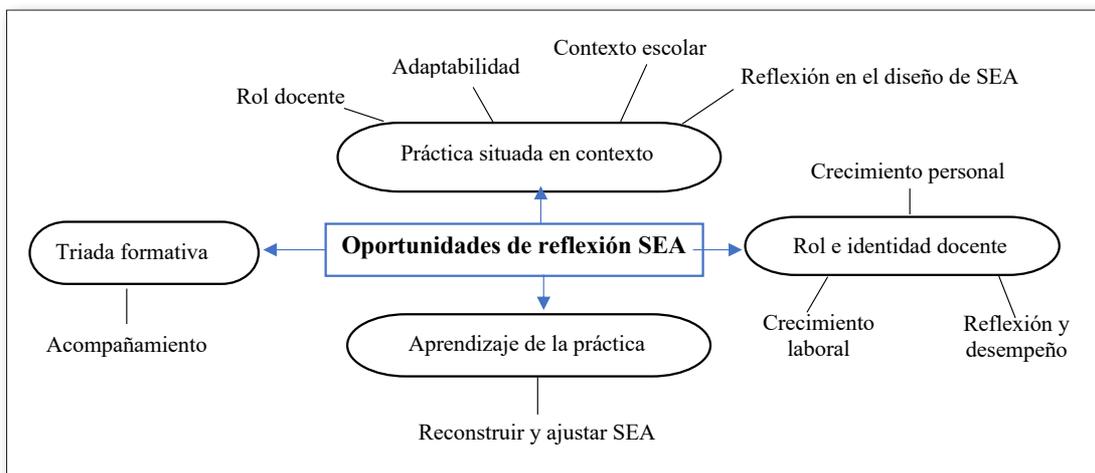


Fig. 6. Dimensión, categorías y códigos al reflexionar sobre oportunidades.

### *Práctica situada en contexto*

Las reflexiones del PFI dieron cuenta de la relevancia del contexto escolar y en la práctica virtual se acrecentó la desigualdad social en el aula.

Destaco la importancia de considerar al estudiar «ecosistemas y sus interacciones» el entorno social, el contexto y las características de los/as estudiantes para la planificación, diseño, implementación y evaluación en mi secuencia. (Reflexión superficial. Caso 1. 1:13. 2021).

No todas las estrategias pedagógicas innovadoras funcionarán de igual forma en dos contextos distintos. Debido a esto, se vuelve parte esencial del rol docente realizar una observación consciente y constante del contexto escolar en busca de evidencias que puedan ser importantes de considerar a los alumnos para el diseño didáctico según sus necesidades. (Reflexión pedagógica. Caso 10. 3:7. 2022).

Hoy en día, es más necesario que nunca tener docentes empáticos con la realidad y el contexto que están viviendo cada uno de los/las estudiantes, puesto que suele menospreciarse ese bienestar emocional o mental, preocupándose solo de dictar la clase y cumplir con lo señalado en el currículum. Si queremos que tanto la educación científica como la sociedad mejoren, es indispensable contribuir en el bienestar de los alumnos y en la calidad del aprendizaje, porque es complicado aprender en un ambiente donde no tienes la tranquilidad para concentrarte en estudiar y esto ocurre en muchos hogares de nuestro país, incluyendo en el mío. (Reflexión crítica. Caso 3. 1:23. 2021).

### *Aprendizaje de la práctica*

El PFI reconoció desde sus reflexiones el aprendizaje adquirido que les permitió repensar su enseñanza para reconstruir y ajustar su SEA en la práctica pedagógica y profesional.

Creo que tengo una serie de falencias metodológicas al momento de implementar y desarrollar tanto una clase de biología o química en el aula, sin embargo, la reflexión constante de mi proceso de formación profesional me ha dado luces de que hacer y cómo actuar para solucionar estas. (Reflexión superficial. Caso 9. 3:2. 2022).

Esto me ha permitido dimensionar los aspectos que subyacen en el ejercicio docente, como la diversidad de escenarios posibles en los cuales podríamos tener que desempeñarnos y los distintos aspectos que influyen en las intervenciones con estudiantes. Independiente de cuál sea el caso, es fundamental saber adaptarnos a las distintas complejidades que surjan, encauzando el aprendizaje de las ciencias para el provecho de los/as estudiantes. Hoy se nos presenta un desafío respecto al contexto actual, sin embargo, no hay que perder de vista la oportunidad para repensar la enseñanza y continuar aprendiendo en cuanto a estrategias y uso de la tecnología. (Reflexión pedagógica. Caso 7.1: 1. 2021).

### *Rol e identidad docente*

El PFI a través de sus reflexiones señaló la capacidad de flexibilizar sus prácticas en un contexto inesperado.

Siento que con el pasar de la experiencia práctica he ido teniendo que formar mi carácter como docente, el cual es diferente a mi carácter personal en el exterior a la comunidad educativa; teniendo cada vez y cada día más claro como quiero ser como docente, por ejemplo, creo que en el presente año, 2022, la educación contextualizada debe ser primordial y cuando escucho a docentes que lo consideran una pérdida de tiempo, cuestiono esas opiniones y me ayudan a formar mi carácter como profesora teniendo claro también la forma en la que quiero enseñar y a la vez como quiero que mis estudiantes aprendan. (Reflexión pedagógica. Caso 9. 2:25. 2022).

Sin duda el futuro es incierto, pero el presente lo construye uno mismo y para su construcción hay que tener las herramientas necesarias para lograrlo y también la capacidad de reflexionar sobre el quehacer docente, ser lo bastante autocrítico respecto al desempeño que se tiene como docente, ya que todo conocimiento se adquiere en el proceso, somos seres que presentamos tanto fortalezas como debilidades en nuestro trabajo, pero depende de nosotros y nosotras enfrentarlas tomándolas como oportunidades. (Reflexión pedagógica. Caso 3. 1:20. 2021).

### *Triada formativa*

El PFI mediante su discurso reflexivo indicó que el acompañamiento del profesor guía y profesor universitario facilitó abordar los desafíos que surgieron en la práctica pedagógica y profesional.

A pesar de esto, gracias a la guía de las profesoras de didáctica de biología y química en la experiencia vivida durante la práctica, hoy en día comprendo y valoro mucho más este modelo innovador de enseñanza, especialmente para el aprendizaje que logré en las ciencias. (Reflexión superficial. Caso 11. 3:9. 2022).

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se presenta un ejemplo en la forma en la que se relacionaron los datos para representar la trayectoria reflexiva del caso de estudio en oportunidades y obstáculos desde los extractos de reflexión y cómo estos datos se cruzaron con los niveles de reflexión del PFI (ver tabla 3), al diseñar e implementar SEA en la práctica pedagógica y práctica profesional en el año 2021 que muestra la figura 7 y en el año 2022 ver figura 8.

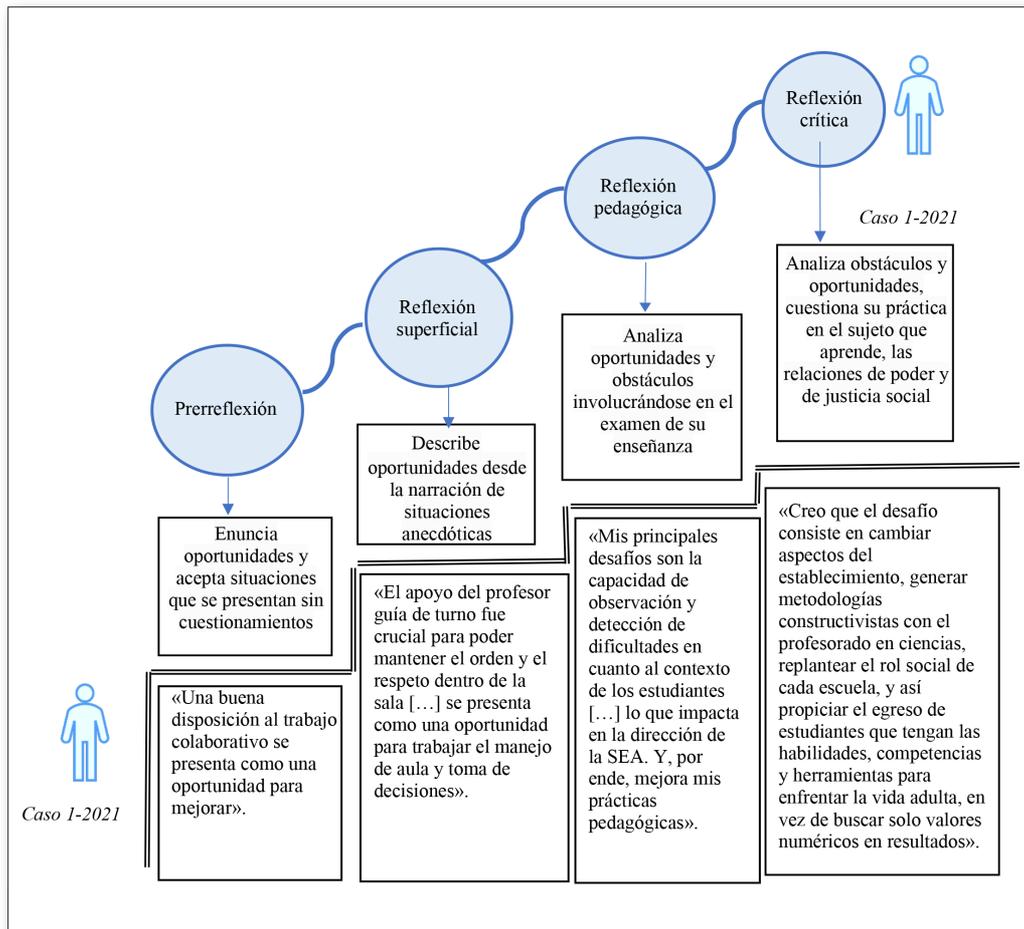


Fig. 7. Niveles de reflexión al diseñar e implementar SEA seguimiento a PFI Caso 1 – 2021.

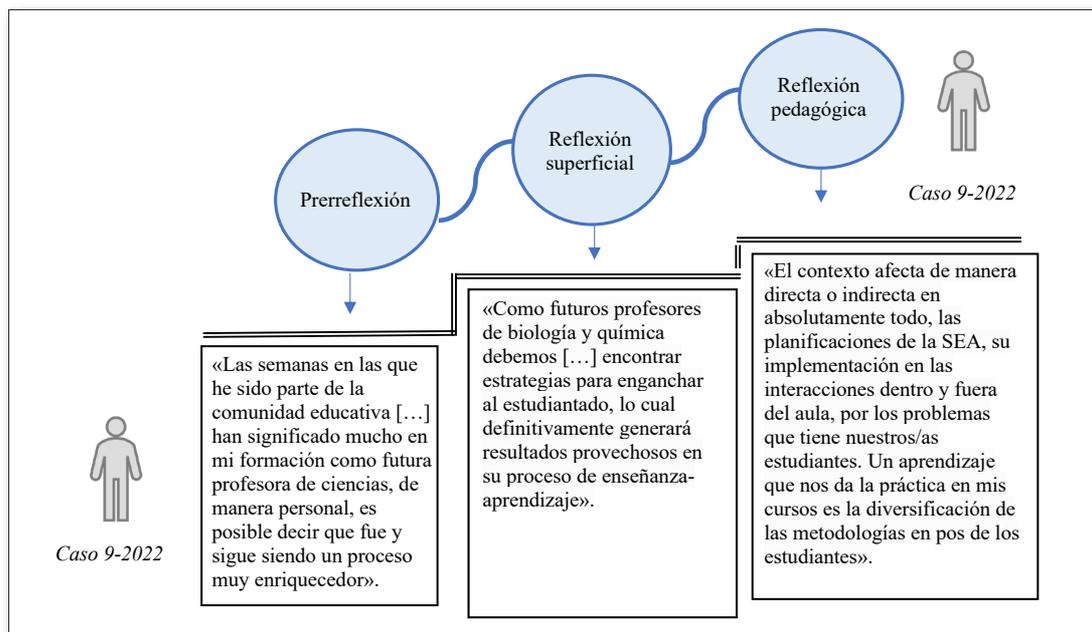


Fig. 8. Niveles de reflexión al diseñar e implementar SEA seguimiento a PFI Caso 9 – 2022.

Los resultados señalan diversos niveles de reflexión durante el proceso de diseño de SEA en cada práctica. La trayectoria de reflexión muestra un patrón ascendente como resultado del análisis del discurso del PFI, pero solo algunos de los casos de estudio alcanzaron el nivel de reflexión crítica, lo que es coherente con los hallazgos de Zhan y Wan (2016), quienes detectaron un bajo número de estudiantes con nivel de reflexión crítica. Sin embargo, en nuestra investigación, quienes reflexionaron en el nivel crítico cuestionan sus creencias y visualizan la práctica más allá del aula en las implicancias de justicia social. En el proceso, PFI logra divisar los propósitos de la escolarización a la luz de la justicia y otros criterios éticos, analizando las dimensiones sociales, políticas educativas y curriculares (Pagés, 2021) y la necesidad de mejorar su enseñanza (Tovar-Gálvez, 2020). No obstante, se observa un patrón similar en los casos que alcanza a un nivel de reflexión pedagógica con una crítica constructiva sobre el proceso de enseñanza, considerando su contexto, pero sin cuestionar la justicia social.

Al analizar las reflexiones del PFI que alcanzan el nivel crítico, sus cuestionamientos se encuentran asociados con el dilema de enseñar de forma tradicional ciencias, frente a la enseñanza constructivista en el aula propuesta mediante su SEA, y son capaces de valorar las oportunidades de desarrollar aprendizajes desde la práctica al estudiar primero el contexto, para así proponer estrategias de innovación al alumnado. Esta forma de reflexionar promueve cuestionar el desempeño, adquirir el conocimiento pedagógico profesional y aplicarlo en su práctica. La reflexión crítica de Larrivee (2008) implica repensar y deconstruir las creencias arraigadas en la práctica para enfrentar los conflictos e implementar cambios en la acción pedagógica. De ahí la relevancia de incorporar dinámicas de reflexión que ayuden al profesorado inicial de ciencias en el cuestionamiento y mejora de su práctica (Pacca y Villani, 2000), por ser una condición para el proceso de construcción del conocimiento (Suckel et al., 2020) que contribuye a consolidar el saber pedagógico para responder a los desafíos del aula.

La reflexión fluctuante entre pedagógica y crítica del profesorado en formación inicial de ciencias cuestionó, en sus experiencias de práctica, sus creencias sobre cómo enseñar biología y química, sobre qué o cuáles conceptos científicos priorizar para tomar decisiones al elaborar el aprendizaje nuclear para su SEA, considerando el contexto de su alumnado, y decidir cuál es la estrategia didáctica apro-

piada para esos contenidos científicos y cuestionar la forma tradicional de enseñar ciencias consolidada a lo largo de su historia escolar (Mellado, 2003). Este proceso generó resistencias al cambio en la práctica docente hacia modelos constructivistas (Jeanpierre et al., 2005), como en el caso estudio n.º 12, que demuestra un predominio de una trayectoria que no cambia en su nivel de reflexión. Por esta razón, concordamos con Chamizo y García-Franco (2013) que brindar al profesorado en formación de ciencias la oportunidad de cuestionar sus propias prácticas y las creencias que las sostienen permite que asuman posturas reflexivas y abiertas, condición necesaria para producir cambios. Así, el PFI toma conciencia de su propio ser pedagógico al interpretar y resignificar sus propias experiencias (Farrel, 2016; Blanco y Sierra; 2013; Sainz y Susino, 2017; Suárez, 2021).

En el PFI, la práctica generó emociones negativas, como frustración por la falta de interacción con sus estudiantes en la forma virtual y por falta de recursos para las actividades de sus clases; es recurrente la inseguridad en las reflexiones de los casos de estudio cuando deben decidir los conceptos científicos involucrados en el aprendizaje nuclear de su SEA de Biología, Química o Ciencias para la Ciudadanía. Además, cuando se analizó las dimensiones de obstáculos y oportunidades la reflexión del PFI, transitó desde un nivel superficial a uno pedagógico. Esta reflexión «también ayuda al docente a mirar debajo de lo superficial y comenzar a explorar y desafiar sus pensamientos, sentimientos y valores frente a situaciones o problemas que le afectan» (McGarr y McCormack, 2016, p. 51). La práctica reflexiva emplea las capacidades cognitivas, emocionales y somáticas para contemplar acciones pedagógicas pasadas, presentes o futuras, con el fin de comprender su actuar y transformarlo (Harvey y Vlachopoulos, 2020). Por tanto, es un proceso necesario en los programas de formación inicial docente de ciencias.

Transitar por esta experiencia reflexiva durante la formación inicial mediante prácticas pedagógicas y profesionales facilitó adaptarse a distintos escenarios educativos. Gracias al acompañamiento de la triada formativa (profesor guía-PFI-profesor universitario), el desafío con estas nuevas experiencias en la interacción dialógica implicó reflexionar sobre su rol y construcción de su identidad profesional (Avraamidou, 2014) en un proceso de interpretación y reinterpretación de experiencias, porque cuestionaron su conocimiento disciplinar en Biología y Química, la propia docencia que impartió, su historia de vida y expectativas sobre su desempeño al desarrollar su SEA.

Desde esta perspectiva, concordamos con Salinas et al. (2019) en que los casos 4, 5, 6 y 9 del profesorado en formación inicial, cuya trayectoria de reflexión va desde el nivel reflexión superficial al pedagógico, se centraron en tres grandes dimensiones: 1) acción del propio docente en su enseñanza de Biología, Química y Ciencias para la Ciudadanía; 2) cómo esa acción tiene consecuencias (en el aprendizaje del alumnado); y 3) dónde se produce esta acción (las condiciones e implicancias del trabajo docente). Sin embargo, en los casos 1, 2 y 3, que alcanzan una reflexión crítica, se agrega otra dimensión (4), al ser capaces de analizar con criterios éticos las consecuencias de su práctica en las y los estudiantes, cuestionar sus creencias sobre cómo enseñar ciencias y analizar los problemas de equidad y justicia social que ocurren dentro y fuera del aula.

## CONCLUSIONES

La investigación demuestra que el proceso reflexivo de cada PFI se desarrolla según trayectorias reflexivas ascendentes y fluctuantes a lo largo de sus prácticas desde una valoración positiva de los participantes. La prerreflexión y reflexión superficial se presenta en aquellos casos que no cuestionan su acción práctica, muy ligada a la necesidad de acompañamiento del profesor guía y profesor universitario, mencionando solo descripciones de oportunidad desde narraciones anecdóticas sobre su desempeño. El proceso reflexivo y crítico solo lo alcanzó un grupo reducido de PFI en el año 2021, debido a que tanto en la práctica pedagógica como en la profesional predominó en el profesorado en formación

de ciencias la reflexión pedagógica centrada en examinar su práctica de enseñanza en relación con sus estudiantes, considerando sus obstáculos y oportunidades. Las diferencias para alcanzar un nivel de reflexión crítica en PFI del año 2022 podrían ser atribuidas a los casi dos años de formación inicial en virtualidad, que disminuyeron el tiempo de clases, interacciones y los espacios de discusión del PFI.

La reflexión pedagógica y la reflexión crítica como formas de pensar están en directa relación con la oportunidad para cuestionar la forma tradicional de enseñar las ciencias, con tomar decisiones sobre los conceptos científicos clave involucrados en un aprendizaje nuclear y con aquellas estrategias didácticas más adecuadas para aprenderlos en una secuencia de enseñanza-aprendizaje para el estudiantado. Es en esta práctica situada donde el PFI, mediante el proceso reflexivo crítico, indagatorio, intencionado y sensible, analiza el contexto escolar y a sus actores en sus implicancias sociales, desde esa mirada emite los juicios sobre las consecuencias que genera su acción práctica en el aula de ciencias, lo que promueve el desarrollo del pensamiento crítico y a su vez favorece un modelo transformador de formación inicial del profesorado de Biología y Química.

La reflexión crítica durante la práctica pedagógica y profesional permitió al profesorado en formación de ciencias de Secundaria visualizar su práctica educativa más allá del aula, desde los contextos culturales y sociales, abordando problemáticas de equidad y justicia social que surgen desde las realidades educativas de sus estudiantes. Así mismo, también permitió tomar conciencia de su identidad, de su rol docente en el aula, al cuestionarse a través del proceso de autoobservación y de reflexión sobre su desempeño al diseñar, implementar y evaluar la secuencia de enseñanza-aprendizaje. Desarrollar este tipo de reflexión es una poderosa herramienta para la creatividad, innovación y compromiso de mejora, de ahí su relevancia para la formación inicial de ciencias.

En razón de lo anterior, la formación inicial del profesorado de ciencias debe incorporar procesos reflexivos de aprendizaje en las prácticas iniciales. Estos procesos deben conducir al profesorado en formación inicial a examinar sus acciones y reacciones, analizar su rol y su identidad docente y problematizar los conflictos y tensiones cuando colaboran en el aula en sus prácticas. Con ello identifican los cambios que se producen en su forma de pensar y en sus creencias sobre cómo enseñar las ciencias, y pueden prepararse para las situaciones o circunstancias que se les presenten al llegar a su práctica pedagógica y, después, a la profesional.

## AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a los profesores en formación de ciencias participantes en este estudio y el apoyo de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, a través del proyecto FONDECYT INICIACIÓN 11220596.

## REFERENCIAS

- Acevedo Díaz, J. A. (2009). Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), 255-386.  
[https://doi.org/10.25267/rev\\_eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2009.v6.i3.04](https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i3.04)
- Aвраamidou, L. (2014). Studying science teacher identity: Current insights and future research directions. *Studies in Science Education*, 50(2), 145-179.  
<https://doi.org/10.1080/03057267.2014.937171>
- Beauchamp, C. y Thomas, L. (2010). Reflecting on an ideal: Student teachers envision a future identity. *Reflective Practice*, 11(5), 631-643.  
<https://doi.org/10.1080/14623943.2010.516975>

- Blanco, N y Sierra, J. E. (2013). La experiencia como eje de la formación: una propuesta de formación inicial de educadoras y educadores sociales. *Archivos Analíticos de Políticas Educativas*, 21, 1-16. <https://doi.org/10.14507/epaa.v21n28.2013>
- Chamizo J. A., García-Franco, A. (2013) Heuristic diagrams as a tool to formatively assess teachers' research. *Teachers and Teaching: Theory and Practice*, 19, 135-149. <https://doi.org/10.1080/13540602.2013.741841>
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En *Enseñando ciencia con ciencia* (pp. 63-74).
- Dewey, J. (1993). *How we think*. Nueva York: Heath & Co.
- Davis, C. S. (1998). The analysis of longitudinal studies having non-normal responses. En B. S. Everitt y G. Dunn (Eds.), *Statistical analysis of medical data. New developments*. Londres: Arnold.
- Domènech-Casal, J. (2018). Aprendizaje Basado en Proyectos en el marco STEM: componentes didácticas para la Competencia Científica. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 21(2), 29-42. <https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.4524>
- Farrell, T. (2016). The practices of encouraging TESOL teachers to engage in reflective practice: An appraisal of recent research contributions. *Language Teaching Research*, 20(2), 223-247. <https://doi.org/10.1177/1362168815617335>
- Fernández-Balboa, J. M. (1998). The practice of critical pedagogy: critical selfreflection as praxis. *Teaching Education*, 9(2), 47-53. <https://doi.org/10.1080/10476210.1998.10335494>
- Fernandez-Marchesi, N. y Costillo-Borrego, E. (2020). Evolución de las concepciones docentes sobre las actividades prácticas de laboratorio a partir de una formación de posgrado reflexiva. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(3), 252-269. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n3p252>
- Fook, J. (2015). Chapter 26: Reflective Practice and Critical Reflection. En *Handbook for Practice Learning in Social Work and Social Care*, 440-441.
- Guisasola, J. y Oliva, J. M. (2020). Nueva sección especial de REurEDC sobre investigación basada en el diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje. *Revista Eureka sobre enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(3), 3001. <https://doi.org/10.25267/RevEurekaensendivulgcienc.2020.v17.i3.3001>
- Harvey, M. y Vlachopoulos, P. (2020). What a difference a day makes: Reflection retreats as academic development in higher education. *Journal of Further and Higher Education*, 44(3), 378-392. <https://doi.org/10.1080/0309877X.2018.1541976>
- Hatton, N. y Smith, D. (1995). Reflection in teacher education: towards definition and implementation. *Review of Educational Research*, 66(4), 507-542. <https://doi.org/10.1080/0309877X.2018.1541976>
- Jeanpierre, B., Oberhauser, K. y Freeman, C. (2005). Characteristics of professional development that effect change in secondary science teachers' classroom practices. *Journal of research in science teaching*, 42(6), 668-690. <https://doi.org/10.1002/tea.20069>
- Jiménez-Tenorio, N. y Oliva, J. Ma (2016). Análisis reflexivo de profesores de ciencias de secundaria en formación inicial en torno a diferentes secuencias didácticas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 423-439. <http://hdl.handle.net/10498/18298>
- Jones, M. y Ryan J. (2014). Aprendizaje en la práctica: involucrar a los docentes en formación en una práctica reflexiva en el espacio en línea. *Asia-Pacific Journal of Teacher Education*, 42(2), 132-146. <https://doi.org/10.1080/1359866X.2014.892058>

- Landín M. y Sánchez S. (2019). El método biográfico-narrativo: una herramienta para la investigación educativa. *Educación*, 28(54), 227-242.  
<http://dx.doi.org/10.18800/educacion.201901.011>
- Larrivee, B. (2000) Transforming Teaching Practice: Becoming the critically reflective teacher, *Reflective Practice: International and Multidisciplinary Perspectives*, 1(3), 293-307.  
<https://doi.org/10.1080/713693162>
- Larrivee, B. (2008). Development of a tool to assess teachers' level of reflective practice. *Reflective Practice*, 9(3), 341-360.  
<https://doi.org/10.1080/14623940802207451>
- Liu, K. (2013). Critical reflection as a framework for transformative learning in teacher education. *Educational review*, 67(2), 135-157.  
<https://doi.org/10.1080/00131911.2013.839546>
- McGarr, O. y McCormack, O. (2016). Counterfactual mutation of critical classroom incidents: implications for reflective practice in initial teacher education. *European Journal of Teacher Education*, 39(1), 36-52.  
<https://doi.org/10.1080/02619768.2015.1066329>
- Mellado Jiménez, V. (2003). Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 21(3), 343-358.  
<https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21943>.
- Pacca, J. L. y Villani, A. (2000). La competencia dialógica del profesor de ciencias en Brasil. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), 95-104.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4060>
- Pagès Blanch, J. (2021). La Formación del Profesorado de Historia y Ciencias Sociales para la Práctica Reflexiva. *Nuevas Dimensiones. Revista de Didáctica de las Ciencias Sociales*.  
<https://doi.org/10.53689/nv.vi8.42>.
- Pérgola, M. y Pérez, G. (2023). La reflexión en la práctica docente en la enseñanza de Ciencias Naturales en primaria. Un estudio desde la Didáctica de las Ciencias Naturales. *Revista de Educación en Biología*, 26(2), 6-23.  
<https://doi.org/10.59524/2344-9225.v26.n2.40014>
- Perrenoud P. (2004). *Desarrollar la práctica reflexiva en el oficio de enseñar: profesionalización y razón pedagógica*. Graó.
- Propuestas Educación Mesa Social Covid-19 (2020). *Didácticas para la proximidad: aprendiendo en tiempos de crisis*. Santiago de Chile.
- Roberts, P., Barblett, L., Boylan, F. y Knaus, M. (2021). Revitalising reflective practice in pre-service teacher education: developing and practicing an effective framework. *Reflective Practice*, 22(3), 331-344.  
<https://doi-org.ezproxy.ubiobio.cl/10.1080/14623943.2021.1881888>
- Saiz, Á y Susinos, T. (2017). Problemas pedagógicos para un Prácticum reflexivo de Maestros. *Revista Complutense de Educación*, 28(4), 993-1008.  
<https://doi.org/10.5209/RCED.50924>
- Salinas, Á., Rozas, T., Cisternas, P. y González, C. (2019). Factores asociados a la práctica reflexiva en estudiantes de pedagogía. *Magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*, 11(23).  
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.m11-23.fapr>
- Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. *Didáctica de las ciencias experimentales*, 239-276.
- Séré, M. G. (2002). La enseñanza en el laboratorio. ¿Qué podemos aprender en términos de conocimiento práctico y de actitudes hacia la ciencia? *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 357-368.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3953>

- Schön, D. A. (1983). *El profesional reflexivo. Cómo piensan los profesionales cuando actúan*. Barcelona: Editorial Paidós.
- Stake, R. E. (1999). *Investigación con Estudio de Casos*. Madrid: Morata.
- Suárez, D. (2021). Investigación narrativa, relatos de experiencia y revitalización del saber pedagógico. *Espacios en Blanco. Revista de Educación*, 2(31), 365-379.  
<https://doi.org/10.37177/UNICEN/EB31-308>
- Suckel, M., Rodríguez, G., Sáez, G. y Campos, D. (2020). El rol de la formación inicial docente en el proceso de construcción del saber pedagógico. *Actualidades Investigativas en Educación*, 20(1), 605-630.  
<https://dx.doi.org/10.15517/aie.v20i1.40121>
- Tovar-Gálvez, J. C. (2020). Reduciendo la brecha entre teoría y práctica durante la pandemia: planificación de un proyecto ambiental virtual complejo. *Revista Internacional de Pesquisa em Didática das Ciências e Matemática*, 1, e020004. <https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/index.php/revin/article/view/21>
- Villani, A. y Franzoni, M. (2000). A competência dialógica e a formação de um grupo docente. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5(3).  
<https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/593>
- Zee, E. H. Van y Roberts, D. (2002). Using pedagogical inquiries as a basis for learning to teach: Prospective teachers' reflections upon positive science learning experiences. *Science Education*, 85(6), pp. 733-757.  
<https://doi.org/10.1002/sce.1036>
- Zhan, Y. y Wan, Z. H. (2016). Appreciated but constrained: reflective practice of student teachers in learning communities in a Confucian heritage culture. *Teaching in Higher Education*, 21(6), 669-685.  
<https://doi.org/10.1080/13562517.2016.1183622>

---

# Critical Reflection by Pre-Service Teachers: Characterization of Trajectories in the Design of Sequences

Edith Herrera San Martín

Departamento Ciencias de Educación, Universidad del Bio-Bio. Chillán. Chile  
eherrera@ubiobio.cl

Departamento Estudios Pedagógicos, Universidad de Chile. Santiago. Chile  
edith.herrera@uchile.cl

The study aims to characterize the levels of reflection among Biology and Chemistry pre-service teachers at a Public University in Chile. It focuses on the creation of teaching-learning sequences (TLS) during the pedagogical practice (ninth semester) and the professional practice sessions (tenth semester). Additionally, the research analyzes obstacles and opportunities within the reflective discourse of the pre-service teachers. This work, conducted over two years as a multiple case study, used a convenience sample. The selection of participants from the fifth year of the teaching program was based on their continuity in the practice center and remaining in the same section of consecutive subjects: 8 from year 2021 and 4 from year 2022.

During their teaching practice, participants in the Biology, Chemistry, or Citizenship Science course were required to develop a TLS over 8 to 12 sessions. This process involved four phases: diagnosing the school context, designing the TLS, implementing it, and evaluating its outcomes. Portfolios were used as instruments to track this process. Portfolio entries included descriptions of classroom experiences, emotions, critical incidents (if any), self-reflections on performance, and proposed changes or adjustments to TLS for subsequent classes. The study aimed to explore how pre-service teachers learn in a situated dialogical practice, characterizing their reflective trajectories by describing and interpreting their thinking and actions, including obstacles and opportunities, about their performance during the TLS implementation.

Reflective trajectories were categorized as the following: pre-reflective, superficial reflection, pedagogical reflection, and critical reflection using adapted rubric descriptors (Larrivee, 2008). Results indicate varying levels of reflection among pre-service teachers. The reflective trajectory showed an ascending pattern, with only some cases (from year 2022) reaching the critical reflection level. These individuals questioned traditional teaching methods, reconsidered innovative proposals in their TLS, and visualized practice beyond the classroom in terms of social justice. Most cases achieved pedagogical reflection, providing constructive criticism on their teaching performance with the TLS, considering the context but without questioning social justice.

Reflections during the design, implementation, and evaluation of Biology and Chemistry TLS revealed obstacles related to traditional teaching, the use of constructivist strategies, negative emotions, and the lack of resources in the school center. Opportunities included learning from the situated practice, understanding their role and identity as teachers, and receiving support from the formative triad (pre-service teacher - school center mentor - university professor) throughout the process.

The study emphasizes the need to promote critical reflection from the early stages of Biology and Chemistry pre-service teacher training. This process should lead them to assess their actions and reactions, analyze their role as teachers, and critically examine conflicts and tensions when collaborating in the classroom or implementing their TLS. This approach helps them identify changes in their thinking and beliefs about teaching science, preparing them for situations that they may encounter in both their pedagogical and professional practice.





# Laboratorios virtuales para la enseñanza de las ciencias: una revisión sistemática

## Virtual Laboratories for Science Education: a Systematic Review

Gabriela Campos Mera  
*Universidad Central del Ecuador*  
gabcampos@correo.ugr.es

Alicia Benarroch Benarroch  
*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación y del Deporte de Melilla.*  
*Universidad de Granada. Melilla, España*  
aliciabb@ugr.es

**RESUMEN** • Se ha realizado una revisión sistemática, adoptando el modelo de Newman y Gough y las directrices de la declaración PRISMA, con el objetivo de caracterizar la producción científica sobre laboratorios virtuales en la enseñanza de las ciencias experimentales en educación secundaria. Se pretendió dar respuesta a seis preguntas de investigación sobre los laboratorios virtuales. La búsqueda se realizó en tres bases de datos: Scopus, ERIC y WoS. Se identificaron 221 artículos, de los cuales fueron seleccionados 38, por cumplir con todos los criterios de inclusión. Los hallazgos dan cuenta de que, en las investigaciones, el laboratorio virtual más frecuente es PhET; la asignatura más abordada es la Física y la edad más analizada son los 16 años. Además, se encontró que el uso de laboratorios virtuales arrojaba resultados positivos en la mayor parte de los casos en los que fueron aplicados.

**PALABRAS CLAVE:** Laboratorios virtuales; Ciencias experimentales; Revisión sistemática; Educación secundaria.

**ABSTRACT** • A systematic review has been carried out, adopting Newman and Gough's model and the guidelines of the PRISMA statement, with the aim of characterising the scientific production on virtual laboratories in the teaching of experimental sciences in secondary education. The aim was to answer six research questions on virtual laboratories. The search was carried out in three databases: Scopus, ERIC and WoS. A total of 221 articles were identified, of which 38 were selected as they met all the inclusion criteria. The findings show that the most frequent virtual laboratory used in the research is PhET, the most common subject is Physics, and the most analyzed age group is 16 years old. Furthermore, it was found that the use of virtual laboratories yielded positive results in most of the cases in which they were applied.

**KEYWORDS:** Virtual laboratories; Experimental sciences; Systematic review; Secondary education.

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

Campos Mera, G. y Benarroch Benarroch, A. (2024). Laboratorios virtuales para la enseñanza de las ciencias: una revisión sistemática. *Enseñanza de las Ciencias*, 42(2), 109-129.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6040>

## INTRODUCCIÓN

Al hablar de ciencias experimentales, la práctica de laboratorio es esencial para enseñar a los estudiantes la práctica científica, incluidos el diseño experimental, la recopilación y el análisis de datos, así como la elaboración de conclusiones basadas en la evidencia (Chua y Karpudewan, 2017). Según Onyesolu (2009), el aprendizaje de las ciencias se ha visto frenado por la deficiencia o inadecuación del equipo de laboratorio en las escuelas. Desde este punto de vista, existe la necesidad de un nuevo entorno de laboratorio alternativo para que los estudiantes realicen experimentos de forma segura y flexible (Faour y Ayoubi, 2018). Una de las soluciones que puede ayudar a superar estos obstáculos es el uso de laboratorios virtuales.

Para Aldrich (2005), los laboratorios virtuales son un tipo de simuladores que emulan a los laboratorios reales. Según la Unesco (2000), se puede definir un laboratorio virtual como un «espacio electrónico de trabajo concebido para la colaboración y la experimentación a distancia cuyo objetivo es investigar o ejecutar otras actividades creativas, y elaborar y difundir resultados mediante las tecnologías de información y comunicación» (p. 3). En la literatura suele existir ambigüedad entre los términos «simuladores» y «laboratorios virtuales». Algunas investigaciones utilizan estos términos indistintamente, mientras que otras destacan diferencias claras, dependiendo del contexto cultural y educativo en el que se utilizan estas herramientas. Por esta razón, en el presente estudio, al hablar de laboratorios virtuales, se hace referencia a simuladores que permiten emular experimentos de algún tipo en las asignaturas de ciencias.

Los laboratorios virtuales empezaron su desarrollo en el año 1997, en el centro de investigación académica de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica, por lo que se convirtieron en los primeros laboratorios virtuales para enseñanza a distancia a nivel mundial (Torres, 2017).

En la actualidad, los laboratorios virtuales son considerados herramientas útiles para profesores y estudiantes en todos los niveles educativos (Sharifov, 2020). Ofrecen importantes ventajas, como el ahorro de tiempo y dinero, la posibilidad de experimentar sin riesgos y la flexibilidad de horarios y ubicación (Angreani et al., 2022). Asimismo, según Herga et al. (2014), en la asignatura de Química permiten a los estudiantes obtener una visión general a nivel macroscópico, submicroscópico y simbólico, de máximo interés para incrementar su comprensión en esta área.

En la asignatura de Biología, los laboratorios virtuales permiten a los estudiantes la ejecución de experimentos que de otro modo no serían posibles o atentarían contra las formas de vida, como la disección u observación de los sistemas fisiológicos y las interrelaciones de los animales (Akpan, 2001). En el ámbito de la Física, los laboratorios virtuales permiten visualizar fenómenos invisibles en entornos reales, como las líneas del campo magnético, y también realizar cambios en las variables estudiadas, para observar y contrastar los diferentes resultados obtenidos (Potkonjaka et al., 2016). Por su parte, en la asignatura de Geología, los laboratorios virtuales permiten reemplazar eficazmente las condiciones geológicas de alto riesgo, ambientes extremos u operaciones inaccesibles e irreversibles, como la radiación. Además, complementan y consolidan la práctica de campo (Weifan et al., 2020).

En todas las asignaturas de ciencias experimentales, los laboratorios virtuales permiten a los estudiantes vincular procesos no observables con fenómenos observables, fomentando el pensamiento crítico y la abstracción en los estudiantes. Además, pueden permitir a los estudiantes investigar conjeturas no viables en experimentos físicos, por ejemplo, cambiar el campo magnético de la Tierra, variar la acumulación de gases de efecto invernadero o estudiar el impacto de la frecuencia cardíaca y la presión arterial extremas (De Jong et al., 2013). En general, por tanto, es posible afirmar que los laboratorios virtuales ayudan a relacionar el comportamiento real de la naturaleza con las explicaciones teóricas y abstractas del conocimiento científico.

Otra de las ventajas de los laboratorios virtuales es que aumentan la motivación de los alumnos al ofrecerles la oportunidad de aprender de sus errores, los convierte en aprendices activos y les brinda la oportunidad de aprender a su propio ritmo para comprender conceptos científicos difíciles (Ojo y Owolabi, 2020).

Con respecto al uso de laboratorios virtuales, se han elaborado varias revisiones sistemáticas y bibliográficas. Por ejemplo, Raman et al. (2022) realizaron una revisión histórica y un análisis bibliométrico de publicaciones sobre laboratorios virtuales en educación superior. Zaturrahmi et al. (2020) realizaron un metanálisis de los laboratorios virtuales para identificar las variables que se ven influenciadas por su uso en el aprendizaje y los campos científicos abordados. Por su parte, Fadda et al. (2022) realizaron una revisión sistemática de segundo orden sobre la eficacia de los laboratorios virtuales y remotos en la educación STEM en la escuela secundaria. De igual forma, Chan et al. (2021) realizaron también una revisión sistemática sobre los laboratorios virtuales, esta vez específica para la asignatura de Química, en la que analizaron qué elementos se consideran importantes en términos de tecnología y diseño instruccional para el uso de estas herramientas. Asimismo, Sypsas y Kalles (2018) realizaron una revisión de la literatura sobre las aplicaciones de los laboratorios virtuales en una variedad de entornos educativos relacionados con la Biología, Biotecnología y Química. Por su parte, Ali et al. (2022) realizaron una revisión sistemática de la literatura en la que describieron las contribuciones potenciales de los laboratorios científicos interactivos existentes para Física, Química y Biología. También Sapriati et al. (2023) realizaron una revisión sistemática sobre el impacto del uso de los laboratorios virtuales en el aprendizaje autorregulado de los estudiantes.

Si bien se reconoce el avance que suponen las aportaciones mencionadas anteriormente, queda pendiente el análisis de cuáles son los principales laboratorios utilizados en general en la enseñanza de las ciencias experimentales, los contenidos y edades que abordan y qué tecnología utilizan los laboratorios virtuales de otras asignaturas de ciencias diferentes a la Química, por lo que se pretende abordar estos aspectos en el presente artículo.

El objetivo de esta investigación es caracterizar la producción científica sobre laboratorios virtuales en la enseñanza de las ciencias experimentales en educación secundaria. Para dar respuesta a este objetivo general, se han planteado las siguientes preguntas de investigación sobre laboratorios virtuales:

- PI-1. ¿Cuáles son los laboratorios más investigados para la enseñanza de las ciencias experimentales?
- PI-2. ¿Cuáles son las asignaturas más abordadas en las investigaciones sobre laboratorios virtuales?
- PI-3. ¿Qué contenidos se han abordado en las investigaciones sobre laboratorios virtuales?
- PI-4. ¿Cuál es la tecnología utilizada para ejecutar los laboratorios virtuales investigados?
- PI-5. ¿Qué edades son las más abordadas en la aplicación de los laboratorios virtuales investigados?
- PI-6. ¿Qué resultados se han obtenido aplicando los laboratorios virtuales investigados para la enseñanza de las ciencias experimentales?

## MÉTODO

Se desarrolló una revisión sistemática para recopilar y sintetizar los hallazgos de los estudios individuales y responder a las preguntas de investigación. Para ello, se adoptó el modelo de Newman y Gough (2020), que consta de las siguientes etapas: formulación de la pregunta de investigación, definición de un marco conceptual, construcción de los criterios de inclusión, desarrollo de las estrategias de búsqueda, selección de los artículos utilizando los criterios de inclusión, codificación, evaluación de los estudios, síntesis de los resultados para responder la pregunta de investigación y reporte de hallazgos.

Para apoyar el proceso de revisión sistemática se utiliza la guía para la publicación de revisiones sistemáticas PRISMA 2020 (Page et al., 2021).

La revisión de la literatura se realizó durante los meses de marzo a mayo de 2023. Las bases de datos consideradas en este estudio son las bases de datos de producción científica internacional más relevantes en el ámbito de la investigación educativa. Son las siguientes:

- Scopus de Elsevier.
- Educational Resource Information Center (ERIC), del Departamento de Educación de Estados Unidos de América.
- Web of Science (WoS), de Clarivate Analytics.

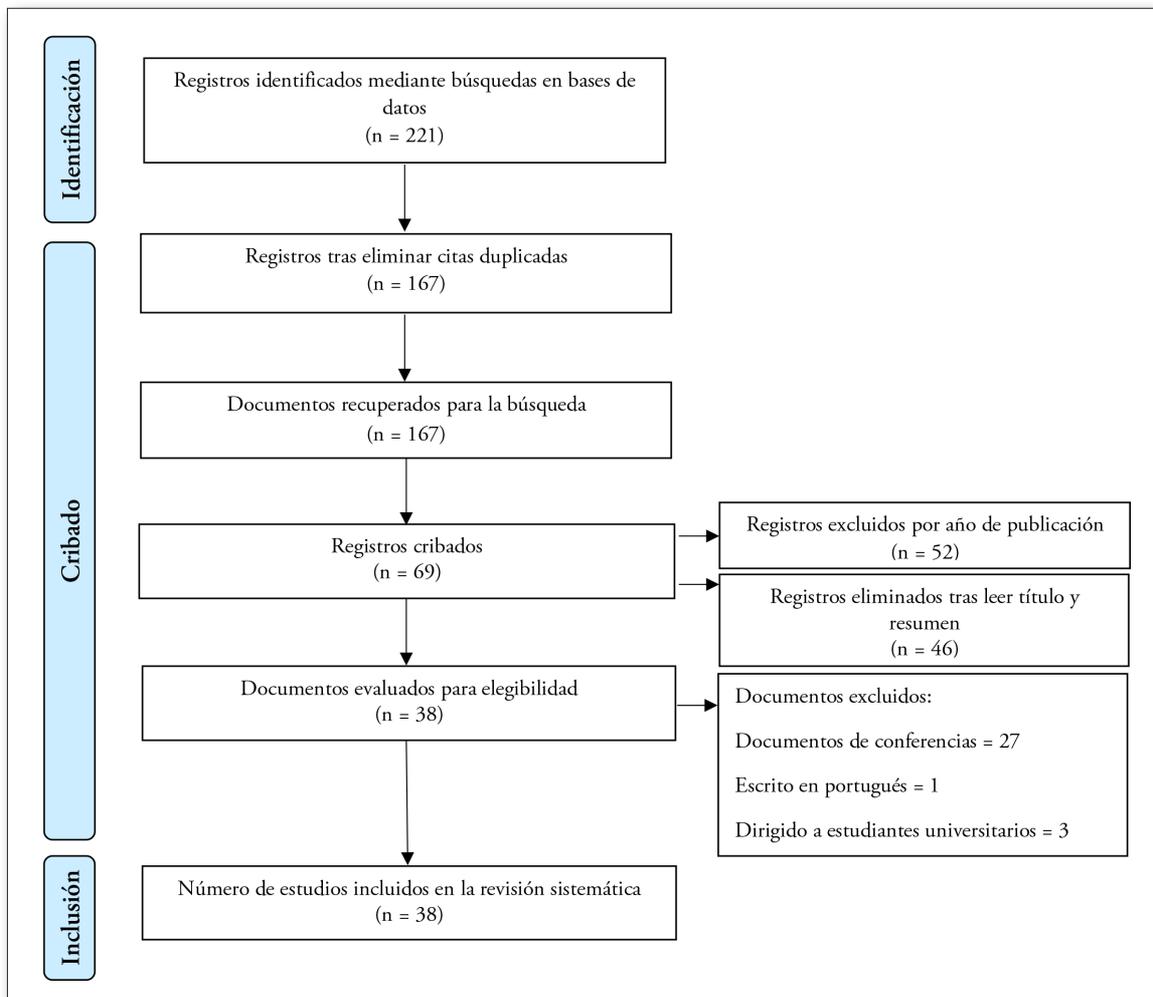


Fig. 1. Diagrama de flujo, según la declaración PRISMA.

Las cadenas o ecuaciones de búsqueda utilizadas se muestran en la tabla 1. En las ecuaciones de búsqueda se utilizó el término clave «virtual laboratory» o «virtual laboratories», y no el término «simulators», para filtrar aquellos simuladores que permitan emular la experimentación de algún tipo en las asignaturas de ciencias experimentales.

De esta forma, la búsqueda inicial proporcionó 221 documentos. En la primera etapa se eliminaron citas duplicadas (54), y quedaron como resultado 167 documentos; posteriormente, de acuerdo con

los criterios de inclusión, se filtró por año de publicación (52) y se cribaron registros tras leer el título y resumen (46), con lo que quedaron 69 artículos. Posteriormente, se analizaron los 69 documentos a texto completo utilizando los siguientes criterios de inclusión:

1. Artículos publicados entre el año 2015 y el año 2023 (ambos años inclusive).
2. Artículos escritos en inglés (ámbito internacional) o español (ámbito iberoamericano).
3. Artículos en las bases de datos establecidas, excluyéndose los *proceeding papers* o documentos de conferencias, ya que se entiende que estos últimos son documentos que no siempre recogen investigaciones finalizadas.
4. Artículos que incluyan estudios empíricos o programas de intervención, propuestas didácticas o innovaciones que utilicen laboratorios virtuales.
5. Artículos que impliquen el trabajo con laboratorios virtuales en las áreas de Física, Química, Biología y Geología (se excluyen las restantes áreas).
6. Artículos dirigidos a estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato.

Sobre la base de estos criterios se descartaron 27 documentos de conferencias, un artículo escrito en portugués y tres artículos dirigidos a estudiantes universitarios, lo que dio como resultado 38 artículos que se incluyen dentro de la revisión sistemática (figura 1)

Tabla 1.  
Protocolo de búsqueda

Base de datos	Ecuación	Resultados
Scopus	TITLE-ABS-KEY («virtual laboratory») AND TITLE-ABS-KEY («experimental science» OR physics* OR chemistry* OR biology* OR geology*) AND TITLE-ABS-KEY («secondary school» OR «secondary education» OR «high school») AND NOT TITLE-ABS-KEY («virtual reality»)	75
WoS	((TS = («virtual laboratories» OR «virtual laboratory»)) AND TS = (experimental science OR physics OR chemistry OR biology OR geology)) AND TS = (secondary school OR secondary education OR high school) NOT TS = («virtual reality»)	85
ERIC	(«virtual laboratory») AND (experimental science OR physics OR chemistry OR biology OR geology) AND («Secondary school» OR «secondary education» OR «high school») NOT («virtual reality»)	61

## RESULTADOS

Se presentarán los resultados por cada pregunta de investigación.

### PI-1.- ¿Cuáles son los laboratorios más investigados para la enseñanza de las ciencias experimentales?

El laboratorio más utilizado para realizar las investigaciones correspondientes a esta revisión sistemática es PhET, el cual fue investigado por ocho autores. En segundo lugar, se encuentra al laboratorio virtual Go-Lab, analizado por dos autores. Ningún otro laboratorio se repitió en la investigación. Entre otros laboratorios comunes que fueron investigados se encuentran Chem Collective, Crocodile Chemistry, Learn Genetics, Stellarium, LabPro de Vernier, Open Learning Laboratory Environment, Lab Interactive platform, laboratorio de circuito eléctrico virtual WebLab, Labster y eCLOSE Institute, UCSF ChimeraX 3D, Cruzando moscas y LabLessons. En la tabla 2 se muestran los trabajos en los que se investigaron cada uno de los laboratorios mencionados.

Algunos laboratorios virtuales que se utilizaron en las investigaciones fueron elaborados por sus autores. Así, se encuentran: Paquete de Laboratorio de Física Virtual, Laboratorio químico virtual con sensor Kinect, Laboratorio de Química Virtual Multimodal, Paquete de Laboratorio de Física Virtual, ViPhyLab, Laboratorio Virtual de Química, Sistema de modelado de datos interactivo, Semi second life, Scialience y módulos digitales que contienen un laboratorio virtual. La tabla 2 muestra los autores que desarrollaron e investigaron el impacto de estos laboratorios virtuales.

En la investigación también se encontraron cinco trabajos que, aunque usaron un laboratorio virtual en su investigación, no especificaron detalles, como su nombre o su enlace, como se muestra en la tabla 2. Finalmente, el trabajo de Angreani et al. (2022) no cita el nombre del laboratorio virtual utilizado, pero sí proporciona el enlace: <https://vlab.agsdigital.id/index.php?page=kdid>, aunque este hoy día no está disponible.

Tabla 2.  
Laboratorios virtuales utilizados en las investigaciones

<i>Nombre del laboratorio virtual</i>	<i>Autores que lo investigaron</i>	<i>Número</i>
Laboratorios virtuales disponibles		
PhET	Hale-Hanes (2015); Faour y Ayoubi (2018); Maulidah y Prima (2018); Famani et al. (2019); Husnaini y Chen (2019); Sharifov (2020); Puspitaningtyas et al. (2021); Yildirim, (2021)	8
Go-Lab	Kapici et al. (2022); Sui et al. (2023)	2
Chem Collective	Hale-Hanes (2015)	1
Crocodile Chemistry	Herga et al. (2015)	1
Learn Genetics	Oser y Fraser (2015)	1
Stellarium	Prima et al. (2017)	1
LabPro de Vernier	Špernjak y Šorgo (2017)	1
Open Learning Laboratory Environment (OLLE u Opti-Lab)	Taramopoulos y Psillos (2017)	1
Lab Interactive platform	Rosenberg y Lawson (2019)	1
Laboratorio de circuito eléctrico virtual WebLab del centro de ciencias y Museo de Tecnología (NOESIS) en Tesalónica	Taramopoulos y Psillos (2019)	1
Labster y eCLOSE Institute	Hanley et al. (2022)	1
UCSF ChimeraX 3D	McGuire et al. (2022)	1
Cruzando moscas	Robles Moral y Martínez Ballesteros (2022)	1
LabLessons	Qu et al. (2022)	1
Laboratorios virtuales desarrollados por los autores		
Paquete de Laboratorio de Física Virtual	Falode et al. (2015)	1
Laboratorio químico virtual con sensor Kinect	Jagodziński y Wolski (2015) Wolski y Jagodzinski (2019)	2
Laboratorio de Química Virtual Multimodal (MMVCL)	Ullah et al. (2016)	1
Paquete de Laboratorio de Física Virtual (VPLP)	Falode y Gambari (2017)	1
ViPhyLab	Arista y Kuswanto (2018)	1
Laboratorio Virtual de Química (CVL)	Gambari et al. (2018)	1

<i>Nombre del laboratorio virtual</i>	<i>Autores que lo investigaron</i>	<i>Número</i>
Sistema de modelado de datos interactivo (IDMS)	Hung y Tsai, (2020)	1
Semi second life (s-SL)	Amin y Ikhsan (2021)	1
Scialience	Cheng et al. (2022)	1
Módulos digitales que contienen laboratorio virtual	Wirdiyatusyifa et al. (2022)	1
Laboratorios cuyo nombre no se menciona		
No se menciona	Gunawan et al. (2019)	1
No se menciona	Gunawan et al. (2019)	1
No se menciona	Ojo y Owolabi (2020)	1
No se menciona	Manyilizu (2022)	1
No se menciona	Sasmito y Sekarsari (2022)	1
<a href="https://vlab.agsdigital.id/index.php?page=kdid">https://vlab.agsdigital.id/index.php?page=kdid</a>	Angreani et al. (2022)	1
TOTAL		38

## PI-2.- ¿Cuáles son las asignaturas más abordadas en las investigaciones sobre laboratorios virtuales?

La asignatura que ocupa el primer lugar en las investigaciones revisadas es la Física, en 18 artículos, que representan el 47,36 % del total de artículos revisados. En segundo lugar, se encuentra la asignatura de Química, con 10 artículos, que representan el 26,31 %. En tercer lugar, se encuentra la asignatura de Biología, con siete artículos, el 18,42 % del total. En último lugar se encuentra la asignatura de Ciencias Naturales, con 3 artículos, que representan el 7,89 %. La tabla 3 muestra los trabajos que investigaron laboratorios virtuales en cada una de las asignaturas mencionadas.

Tabla 3.  
Asignaturas abordadas por los laboratorios virtuales utilizados

<i>Asignatura</i>	<i>Autores</i>	<i>Número</i>	<i>Porcentaje</i>
Física	Falode et al. (2015); Falode y Gambari (2017); Taramopoulos y Psillos (2017); Arista y Kuswanto (2018); Faour y Ayoubi (2018); Maulidah y Prima (2018); Famani et al. (2019); Gunawan et al. (2019); Gunawan et al. (2019); Husnaini y Chen (2019); Rosenberg y Lawson (2019); Taramopoulos y Psillos (2019); Hung y Tsai (2020); Ojo y Owolabi (2020); Sharifov (2020); Puspitaningtyas et al. (2021); Kapici et al. (2022); Wirdiyatusyifa et al. (2022).	18	47,36 %
Química	Hale-Hanes (2015); Herga et al. (2015); Jagodziński y Wolski (2015); Ullah et al. (2016); Gambari et al. (2018); Wolski y Jagodzinski (2019); Amin y Ikhsan (2021); Manyilizu (2022); Sasmito y Sekarsari (2022); Qu et al. (2022).	10	26,31 %
Biología	Oser y Fraser (2015); Špernjak y Šorgo (2017); Cheng et al. (2022); Hanley et al. (2022); McGuire et al. (2022); Robles Moral y Martínez Ballesteros (2022); Sui et al. (2023).	7	18,42 %
Ciencias Naturales	Prima et al. (2017); Yildirim (2021); Angreani et al. (2022).	3	7,89 %

**PI-3.- ¿Qué contenidos se han abordado en las investigaciones sobre los laboratorios virtuales?**

Los contenidos abordados en las investigaciones con laboratorios virtuales se muestran en la tabla 4, en la que se observa que los contenidos de Física que más se repiten son los relacionados con los circuitos eléctricos, que han sido trabajados en seis de los documentos revisados (Taramopoulos y Psillos, 2017; Faour y Ayoubi, 2018; Famani et al., 2019; Taramopoulos y Psillos, 2019; Sharifov, 2020; Kapici et al., 2022). Le siguen el péndulo simple, la ley de Hooke y experimentos de impulso que se han analizado en dos de los artículos revisados (Falode et al., 2015; Falode y Gambari, 2017). En las asignaturas de Química y Ciencias Naturales no se repiten los contenidos, mientras que, en la asignatura de Biología, se encuentran tres investigaciones asociadas a la genética (Oser y Fraser, 2015; Robles Moral y Martínez Ballesteros, 2022; Sui et al., 2023).

Tabla 4.  
Contenidos abordados por los laboratorios virtuales utilizados

<i>Asignatura</i>	<i>Temas</i>	<i>Autores</i>
Física	Péndulo simple, ley de Hooke y experimentos de impulso.	Falode et al. (2015); Falode y Gambari (2017)
	Circuitos eléctricos.	Taramopoulos y Psillos (2017)
	Dinámica rotacional.	Arista y Kuswanto (2018)
	Circuito eléctrico de corriente continua.	Faour y Ayoubi (2018)
	Ondas y sonidos.	Maulidah y Prima (2018)
	Ley de Inducción de Faraday.	Famani et al. (2019)
	Calor.	Gunawan et al. (2019)
	No se menciona.	Gunawan et al. (2019)
	Péndulo simple.	Husnaini y Chen (2019)
	Termodinámica: teoría de partículas de la materia y difusión.	Rosenberg y Lawson (2019)
	Circuito cerrado, corriente eléctrica, voltaje y resistencia.	Taramopoulos y Psillos (2019)
	Calor y calor específico.	Hung y Tsai (2020)
	No se menciona.	Ojo y Owolabi (2020)
	Electromagnetismo, ley de Faraday.	Sharifov (2020)
	Ondas de luz.	Puspitaningtyas et al. (2021)
	Electricidad.	Kapici et al. (2022)
Leyes de Newton.	Wirdiyatusyifa et al. (2022)	
Química	Modelos ácido-base (Arrhenius y Brønsted-Lowry).	Hale-Hanes (2015)
	La materia, sus características y cambios. Sustancias puras y mezclas.	Herga et al. (2015)
	Comparación de la reactividad química de los metales, caracterización de dióxido de carbono, síntesis de ácido clorhídrico por disolución de cloruro de hidrógeno en agua, estudio del efecto de la temperatura sobre la solubilidad de gases en agua, efecto de la temperatura sobre la velocidad de reacción química, prueba de reactividad de hidróxidos y ácidos sobre óxidos.	Jagodziński y Wolski (2015)

<i>Asignatura</i>	<i>Temas</i>	<i>Autores</i>
Química	Estandarización de solución de hidróxido de sodio por solución estándar de ácido oxálico.	Ullah et al. (2016)
	Introducción al análisis cualitativo, Identificación de cationes y aniones.	Gambari et al. (2018)
	Ácidos, hidróxidos y sales.	Wolski y Jagodzinski (2019)
	Equilibrio químico.	Amin y Ikhsan (2021)
	Concepto de mol y cálculos relacionados, análisis volumétrico y técnicas de laboratorio y seguridad.	Manyilizu (2022)
	Reacciones exotérmicas y endotérmicas.	Sasmito y Sekarsari (2022)
	Velocidades de reacción y modelos de moléculas orgánicas.	Qu et al., (2022)
Biología	Genética.	Oser y Fraser (2015)
	Intercambio de gases, actividad de la levadura y frecuencia cardíaca.	Špernjak y Šorgo (2017)
	Determinación de azúcar y árbol filogenético.	Cheng et al. (2022)
	El cáncer.	Hanley et al. (2022)
	Estructura de aminoácidos de la proteína espiga del SARS-CoV-2 y su interacción con el receptor humano ACE2: organismos, química básica relacionada con organismos vivos, biomoléculas y actividad celular.	McGuire et al. (2022)
	Genética: reconocimiento de la importancia del uso de organismos modelo en las investigaciones científicas ( <i>Drosophila melanogaster</i> ); identificación de las características de <i>Drosophila</i> y cómo se trabaja con ella para realizar experimentos que permitan analizar los resultados a través de las leyes de Mendel y el planteamiento de hipótesis; e introducción del funcionamiento de los cromosomas sexuales y la herencia genética ligada al sexo.	Robles Moral y Martínez Ballesteros (2022)
Leyes de herencia de Mendel: ley de dominancia, segregación y distribución independiente.	Sui et al. (2023)	
Ciencias Naturales	Sistema Solar.	Prima et al. (2017)
	Presión: variables que afectan la presión de sólidos, líquidos y gases y relación entre estas variables.	Yildirim (2021)
	Alfabetización ambiental	Angreani et al. (2022)

#### PI-4.- ¿Cuál es la tecnología utilizada para ejecutar los laboratorios virtuales investigados?

Con respecto a la tecnología utilizada (tabla 5), se encontró que el grupo más numeroso está formado por los 15 trabajos que utilizaron en sus investigaciones laboratorios ejecutados como aplicaciones web. En segundo lugar, se encuentran las aplicaciones para computadora, con nueve trabajos que utilizaron laboratorios con esta tecnología; le sigue el *software* de computadora, utilizado por nueve trabajos, y, finalmente, hay dos trabajos que utilizan aplicaciones móviles para los laboratorios virtuales. Por último, hay tres trabajos en los que no se menciona la tecnología que utilizan los laboratorios virtuales investigados.

Tabla 5.  
Tecnología utilizada por los laboratorios virtuales analizados

<i>Tecnología utilizada</i>	<i>Laboratorios virtuales</i>	<i>Autores</i>
Aplicaciones en la web	PhET, LabLessons, Labster y eCLOSE Institute, Learn Genetics, Chem Collective, Lab Interactive platform, Cruzando moscas, Go-Lab.	Hale-Hanes (2015); Oser y Fraser (2015); Faour y Ayoubi (2018); Maulidah y Prima (2018); Famani et al. (2019); Husnaini y Chen (2019); Rosenberg y Lawson (2019); Sharifov (2020); Puspitaningtyas et al. (2021); Yildirim (2021); Hanley et al. (2022); Kapici et al. (2022); Robles Moral y Martínez Ballesteros (2022); Qu et al. (2022); Sui et al. (2023)
Aplicaciones para computadora	Paquete de Laboratorio de Física Virtual (VPLP), LabPro de Vernier, Open Learning Laboratory Environment (OLLE u OptiLab), Laboratorio de circuito eléctrico virtual Weblab del centro de ciencias y Museo de Tecnología (NOESIS) en Tesalónica, Módulos digitales que contienen laboratorio virtual, Paquete de Laboratorio de Física Virtual	Falode et al. (2015); Falode y Gambari (2017); Špernjak y Šorgo (2017); Taramopoulos y Psillos (2017); Taramopoulos y Psillos (2019); Angreani et al. (2022); Manyilizu (2022); Sasmito y Sekarsari (2022); Wirdiyatusyifa et al. (2022)
<i>Software</i> de computadora	Semi second life (s-SL), Laboratorio Virtual de Química (CVL), Laboratorio químico virtual son sensor Kinect, Stellarium, Laboratorio de Química Virtual Multimodal (MMV-CL), Crocodile Chemistry, UCSF ChimeraX 3D.	Herga et al. (2015); Jagodziński y Wolski (2015); Ullah et al. (2016); Prima et al. (2017); Gambari et al. (2018); Wolski y Jagodziński (2019); Ojo y Owolabi (2020); Amin y Ikhsan (2021); McGuire et al. (2022)
Aplicaciones móviles	ViPhyLab, Scialience	Arista y Kuswanto (2018); Cheng et al. (2022)
No se menciona	Sistema de modelado de datos interactivo (IDMS)	Gunawan et al. (2019); Gunawan et al. (2019); Hung y Tsai (2020)

**PI-5.- ¿Qué edades son las más abordadas en la aplicación de los laboratorios virtuales investigados?**

En la tabla 6 se muestran las edades abordadas en los 38 trabajos analizados. En primer lugar, destaca la de los 16 años, con un total de 11 artículos destinados a esta etapa etaria específica, además de otros 5 destinados a esta y a otras edades. A continuación, se sitúan las edades de 13, 14, 15 y 17 años. En tercer lugar, se encuentran las edades de 11, 12, 18 y 19 años, con un número inferior de trabajos.

Tabla 6.  
Edades abordadas en las investigaciones sobre laboratorios virtuales

<i>Edad</i>	<i>Autores</i>	<i>Número</i>
16 años	Falode et al. (2015); Hale-Hanes (2015); Falode y Gambari (2017); Arista y Kuswanto (2018); Gambari et al. (2018); Gunawan et al. (2019); Ojo y Owolabi (2020); Amin y Ikhsan (2021); Puspitaningtyas et al. (2021); Robles Moral y Martínez Ballesteros (2022); Wirdiyatusyifa et al. (2022)	11
13 años	Prima et al. (2017); Maulidah y Prima (2018); Hung y Tsai (2020); Yildirim (2021); Sui et al. (2023)	5
14 a 18 años	Hanley et al. (2022); Sasmito y Sekarsari (2022); Qu et al., (2022)	3

<i>Edad</i>	<i>Autores</i>	<i>Número</i>
15 años	Husnaini y Chen (2019); Angreani et al. (2022); Manyilizu, (2022)	3
16 a 17 años	Taramopoulos y Psillos, (2017); Taramopoulos y Psillos (2019); Cheng et al. (2022)	3
14 años	Famani et al. (2019); Sharifov (2020)	2
14 y 17 años	Jagodziński y Wolski (2015); Wolski y Jagodzinski (2019)	2
11 a 15 años	Špernjak y Šorgo (2017)	1
12 a 13 años	Herga et al. (2015)	1
12 a 14 años	Kapici et al. (2022)	1
13 a 15 años	Oser y Fraser (2015)	1
14 a 16 años	Faour y Ayoubi (2018)	1
16 a 19 años	Ullah et al. (2016)	1
17 años	Rosenberg y Lawson (2019)	1
No se menciona	Gunawan et al. (2019); McGuire et al. (2022)	2

### PI-6.- ¿Qué resultados se han obtenido aplicando los laboratorios virtuales investigados para la enseñanza de las ciencias experimentales?

En la mayoría de los estudios analizados se obtuvieron resultados positivos al aplicar laboratorios virtuales. Así, tenemos que los estudiantes de los grupos experimentales obtuvieron mejores resultados académicos que sus compañeros que no los utilizaron (Herga et al., 2015; Faour y Ayoubi, 2018; Gambari et al., 2018; Gunawan et al., 2019; Taramopoulos y Psillos, 2019; Wolski y Jagodzinski, 2019; Hung y Tsai, 2020; Amin y Ikhsan, 2021; Yildirim, 2021; Angreani et al. 2022; Sasmito y Sekarsari, 2022; Qu et al., 2022). Otros resultados positivos de la aplicación de laboratorios virtuales fueron que:

- Mejoraron la comprensión de los estudiantes sobre los temas analizados, incluyendo temas complejos (Hale-Hanes, 2015; Taramopoulos y Psillos, 2017; Famani et al., 2019; Rosenberg y Lawson, 2019; Taramopoulos y Psillos, 2019; Puspitaningtyas et al., 2021; McGuire et al., 2022; Sui et al., 2023).
- Mejoraron la implicación emocional y autoeficacia de los estudiantes en el laboratorio, resultando en calificaciones más altas y mayor interés en la asignatura de Química (Jagodziński y Wolski, 2015).
- Mejoraron el aprendizaje de los estudiantes y su desempeño en situaciones reales (Ullah et al., 2016).
- Mejoraron la comprensión del sistema solar en los estudiantes, lo que les permitió crear un medio creativo que apoye el juego de roles (Prima et al., 2017).
- Mejoraron el rendimiento académico de los estudiantes (Falode y Gambari, 2017).
- Mejoraron la independencia de aprendizaje y la comprensión conceptual de los estudiantes (Arista y Kuswanto, 2018).
- Mostraron un resultado favorable tanto en el aspecto cognitivo como en el entorno del laboratorio de ciencias (Maulidah y Prima, 2018).
- Tuvieron un efecto significativo en las habilidades del proceso científico, especialmente en las habilidades: hipotetizar, practicar y comunicar (Gunawan et al., 2019).

- Mejoraron efectivamente la creatividad verbal, figural, numérica y procedimental de los estudiantes en el aprendizaje de la Física (Gunawan et al., 2019).
- Mejoraron el desempeño estudiantil al recordar información, realizar prácticas y aplicar conocimientos en tareas conocidas (Wolski y Jagodzinski, 2019).
- Tuvieron efectos positivos en las competencias de modelado de datos de los estudiantes (Hung y Tsai, 2020).
- Mejoraron la actitud de los estudiantes hacia la práctica de Física (Ojo y Owolabi, 2020).
- Mejoraron del pensamiento crítico, habilidades creativas y resolución de tareas físicas complicadas relacionadas con el electromagnetismo en los estudiantes (Sharifov, 2020).
- Ayudaron a los estudiantes a comprender temas abstractos y a aumentar su interés y motivación hacia las ciencias (Yildirim, 2021).
- Aumentaron las habilidades de alfabetización ambiental del estudiantado (Angreani et al. 2022).
- Mejoraron la comprensión y la retención del tema, y aumentaron experiencias de investigación y compromiso cognitivo y social (Cheng et al., 2022).
- Facilitaron el aprendizaje, fomentaron habilidades de investigación y motivaron a algunos estudiantes a considerar carreras científicas y relacionadas con el cáncer (Hanley et al., 2022).
- Mejoraron el desempeño de los estudiantes en un laboratorio real (Manyilizu, 2022).
- Permitieron a los estudiantes adquirir conocimientos básicos y ampliar contenidos sin ayuda directa del profesor (Robles Moral y Martínez Ballesteros, 2022).
- Mejoraron las habilidades del proceso científico SEP (*Science, Engineering, and Practices*) de los estudiantes (Wirdiyatasyifa et al. 2022).

Sin embargo, hay cuatro trabajos en los que los resultados de usar laboratorios virtuales no fueron significativamente mejores que al utilizar laboratorios reales. Por ejemplo, en el estudio de Falode et al. (2015) no hubo una diferencia significativa entre el rendimiento de los estudiantes a los que se les enseñó usando el Paquete de Laboratorio de Física Virtual y los enseñados usando instrucción de laboratorio convencional. De igual manera, Špernjak y Šorgo (2017) compararon el conocimiento adquirido por estudiantes al usar laboratorios tradicionales, asistidos por ordenador y virtuales. No hubo diferencias en el conocimiento, pero los estudiantes prefirieron los laboratorios asistidos por ordenador sobre los tradicionales, dejando los virtuales en último lugar. Asimismo, Husnaini y Chen (2019) encontraron que tanto el laboratorio virtual (VL) como el laboratorio físico (PL) fueron efectivos para enseñar conceptos simples. Sin embargo, el PL fue más eficaz para mejorar conceptos difíciles y la autoeficacia en la indagación científica, especialmente en actividades cruciales como planificación y experimentación. Ambos laboratorios promovieron el disfrute y se consideraron exitosos para diferentes objetivos de aprendizaje.

Por su parte, Kapici et al. (2022) encontraron que tanto un laboratorio virtual como un laboratorio práctico son efectivos para el desarrollo del conocimiento y las habilidades de investigación en estudiantes de secundaria.

Finalmente, en un estudio (Oser y Fraser, 2015) se determinó que los laboratorios virtuales no fueron efectivos en general para todos los estudiantes, siendo ventajosos para los hombres, pero no tanto para las mujeres. Lamentablemente, el estudio no explica ni discute las posibles razones de estos resultados, y en este trabajo tampoco podemos dar ninguna explicación a estas diferencias, por lo que se mantiene como reto para investigaciones futuras.

## DISCUSIÓN

En la presente investigación se determinó que la asignatura más investigada al analizar laboratorios virtuales es la Física, seguida de la Química, la Biología y, en último lugar, las Ciencias Naturales. Esto coincide con lo reportado por Zaturrahmi et al. (2020). Estos resultados muestran que existe un mayor interés por investigar el uso de laboratorios virtuales en la enseñanza de la Física que en otras asignaturas de ciencias. La abstracción de los conceptos físicos y la dificultad de relacionar la teoría con la práctica en esta asignatura pueden influir en esta preferencia (Zaturrahmi et al., 2020).

Por otro lado, otro de los resultados de esta investigación es que el principal beneficio del uso de los laboratorios virtuales es el rendimiento académico de los estudiantes. Este resultado también coincide con los de Zaturrahmi et al. (2020) y con los del Fadda et al. (2022), así como con los de Sypsas y Kalles (2018), quienes concluyeron que los laboratorios en línea benefician el aprendizaje, la carga cognitiva, las habilidades científicas y la motivación de los estudiantes. Otras investigaciones, como la de Ali et al. (2022), sugieren que, en la educación científica, los laboratorios virtuales existentes son sistemas eficientes para familiarizar a los estudiantes con las prácticas experimentales. Sin embargo, también se menciona que los laboratorios virtuales tienen varias limitaciones; la más notable es la restricción que tienen los usuarios de agregar nueva información o experimentos.

Asimismo, los resultados de esta revisión sistemática mostraron que, en cuatro estudios revisados, no hubo una diferencia significativa entre usar laboratorios virtuales y laboratorios reales, y se obtuvieron resultados similares en términos de rendimiento académico, conocimiento conceptual y habilidades de investigación (Falode et al., 2015; Špernjak y Šorgo, 2017; Husnaini y Chen 2019; Kapici et al. 2022). Estos resultados coinciden con los reportados por Zacharia y Olympiou (2011), quienes concluyeron que la naturaleza del aprendizaje y los resultados del aprendizaje no cambian sustancialmente cuando los laboratorios físicos se sustituyen por los laboratorios virtuales, por lo que se deben considerar otros factores, como portabilidad, seguridad y rentabilidad, al elegir entre ambos. Es así que, como menciona De Jong et al. (2013), los beneficios de los laboratorios virtuales surgen cuando los estudiantes pueden investigar fenómenos no observables que no se encuentran en la investigación física, realizar muchos más experimentos de los posibles en el entorno físico, vincular fenómenos observables y de nivel atómico, o contrastar diferentes representaciones de fenómenos similares, mientras que los laboratorios físicos tienen ventajas cuando el objetivo de la instrucción es que los estudiantes adquieran una epistemología sofisticada de la ciencia, incluida la capacidad de dar sentido a mediciones imperfectas y adquirir habilidades prácticas.

Del mismo modo, en la investigación de De Jong et al. (2013) se destaca que la combinación de laboratorios virtuales y físicos ofrece ventajas sobre el uso aislado de cualquiera de ellos, pues permite que los estudiantes puedan comparar dos representaciones potencialmente diferentes del mismo fenómeno y usar el razonamiento abstracto para analizar las diferencias, brindándoles una comprensión más matizada de los fenómenos científicos y una comprensión más sólida de la investigación. Estos resultados coinciden con lo analizado por Sypsas y Kalles (2018), quienes concluyeron que los laboratorios virtuales no deberían sustituir a los físicos y que se obtienen mejores resultados combinando las prácticas virtuales con las sesiones prácticas tradicionales.

En esta revisión también se ha encontrado que la mayoría de las investigaciones sobre los laboratorios virtuales buscan identificar su impacto en la enseñanza de las ciencias. De hecho, ya Sapriati et al. (2023) concluyeron que la mayor parte de la investigación actual sobre laboratorios virtuales se ocupa de su efecto en el proceso de aprendizaje autorregulado o el rendimiento académico de los estudiantes tras su uso.

Por otro lado, en esta investigación se pudo determinar que la tecnología predominante para ejecutar los laboratorios virtuales utilizados en las investigaciones analizadas son las aplicaciones web,

seguidas de las aplicaciones para computadora, después, los *softwares* de computadora y, finalmente, las aplicaciones móviles. Estos resultados difieren ligeramente de los encontrados por Chan et al. (2021) para los laboratorios químicos virtuales, quienes concluyeron que las tecnologías más utilizadas eran los *softwares* de escritorio 3D, seguidas de los *softwares* de escritorio 2D y la realidad virtual inmersiva. Este contraste en los resultados puede deberse al diferente enfoque que se le da a la tecnología usada, ya que la presente investigación se enfoca a la tecnología usada para ejecutar los laboratorios virtuales, mientras que la revisión de Chan et al. (2021) se enfoca a la tecnología de visualización de estos.

Por otra parte, en la presente investigación se ha encontrado que más del 25 % de los laboratorios virtuales utilizados en los trabajos revisados son PhET y Go-Lab. Sin embargo, el 75 % restante se distribuye en un abanico muy amplio de laboratorios, algunos de ellos bien conocidos en el ámbito educativo, como son Chem Collective, Learn Genetics y Crocodile Chemistry, y otros no tanto, pero prometedores. Lo que llama la atención en este listado es que no se hayan encontrado trabajos que utilicen los laboratorios virtuales disponibles en la web de forma gratuita. Algunos de estos laboratorios se muestran en la tabla 7.

La existencia de múltiples laboratorios virtuales existentes nos da una idea del recorrido que queda en la investigación sobre su impacto en la enseñanza de las ciencias experimentales, por lo que se espera que estudios futuros cubran este hueco y afronten el análisis del impacto del uso de estas herramientas en el contexto escolar. Esto es especialmente relevante en el área de la Geología, para la cual esta revisión ha puesto de manifiesto el vacío que hay de investigaciones sobre laboratorios virtuales en esta área de conocimiento. De igual forma, quizás por el escaso desarrollo de laboratorios virtuales en esta área, no hemos encontrado revisiones sistemáticas que aborden el uso de laboratorios virtuales enfocados en esta asignatura.

Tabla 7.  
Laboratorios virtuales disponibles no abordados por los estudios revisados

<i>Nombre</i>	<i>Asignaturas</i>	<i>Idioma</i>	<i>Disponible en:</i>
Educaplus	Biología, Química, Física, Ciencias de la Tierra	Español	<a href="https://www.educaplus.org/">https://www.educaplus.org/</a>
Olabs	Biología, Química, Física	Inglés	<a href="http://www.olabs.edu.in/">http://www.olabs.edu.in/</a>
Laboratorio Virtual	Química, Física	Español	<a href="https://labovirtual.blogspot.com/">https://labovirtual.blogspot.com/</a>
VLabQ	Química	Español	<a href="https://vlabq-laboratorio-virtual-quimica.programas-gratis.net/">https://vlabq-laboratorio-virtual-quimica.programas-gratis.net/</a>
Biomodel	Biología	Español	<a href="https://biomodel.uah.es/lab/">https://biomodel.uah.es/lab/</a>
Objetos UNAM	Biología, Química, Física	Español	<a href="http://objetos.unam.mx/">http://objetos.unam.mx/</a>
LabXchange	Biología, Química	Español	<a href="https://www.labxchange.org/">https://www.labxchange.org/</a>

## CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio muestran que los laboratorios virtuales PhET y Go-Lab son los más utilizados en las investigaciones sobre el efecto de los laboratorios virtuales en la enseñanza de las ciencias experimentales en educación secundaria, probablemente debido a su libre acceso web y variedad de temáticas. La asignatura en la que más se centran las investigaciones es la Física, seguida de la Química, la Biología y las Ciencias Naturales, abordando contenidos diversos, entre los que se destacan circuitos

eléctricos en Física y genética en Biología. Esta diversidad de contenidos resalta la versatilidad de estas herramientas para cubrir diferentes áreas de estudio.

La tecnología predominante de los laboratorios virtuales utilizados en las investigaciones analizadas son las aplicaciones web, aunque también se usan aplicaciones de escritorio y móviles. Con esto, se destaca la importancia de la accesibilidad y la facilidad de uso a la hora de usar laboratorios virtuales. Las edades más abordadas en las investigaciones son los 16 y los 13 años, que corresponden a bachillerato y secundaria. En general, las investigaciones analizadas muestran resultados prometedores al usar laboratorios virtuales en la enseñanza de las ciencias experimentales, mostrando mejoras en el rendimiento, comprensión y actitudes de los estudiantes.

Estos resultados son significativos, ya que muestran que los laboratorios virtuales pueden ser herramientas efectivas para la enseñanza de las ciencias experimentales al ser accesibles, económicos y flexibles, lo que los hace ideales para su uso en entornos educativos. Además, permiten a los estudiantes experimentar fenómenos científicos de forma segura y controlada, lo que puede ayudar a mejorar su comprensión de los conceptos científicos. Su uso es muy versátil; podrían ser útiles para familiarizar a los estudiantes con la práctica experimental antes de efectuar experimentos en laboratorios reales, pero también para profundizar en las explicaciones teóricas e incluso para aplicar el conocimiento en nuevas situaciones.

Es importante aclarar que el presente estudio podría haber alcanzado resultados diferentes si en las ecuaciones de búsqueda se hubiera usado el término «simulators» en lugar de «virtual laboratories». Al ser las relaciones entre ambos términos bastante ambiguas, no es posible asegurar que la búsqueda lingüística responda fielmente a las investigaciones realizadas.

Finalmente, la investigación futura en el campo del uso de laboratorios virtuales para la enseñanza de las ciencias experimentales debería centrarse en desarrollar nuevas metodologías para la creación y evaluación de laboratorios virtuales que aborden contenidos específicos y se ajusten a las necesidades cambiantes del currículo educativo. Esto es especialmente relevante en el área de la Geología, ya que existe un vacío grande en cuanto a la investigación del impacto del uso de estas herramientas en esta asignatura. Además, se requiere mayor investigación para determinar metodologías idóneas para integrar óptimamente estas herramientas en distintos contextos educativos y contenidos específicos. Por otra parte, debido a la repercusión de la inteligencia artificial generativa en la educación, se ve necesario investigar su impacto en el desarrollo de nuevos laboratorios virtuales que permitan la personalización del aprendizaje, así como la generación de guías de laboratorio optimizadas para el uso de laboratorios virtuales. Asimismo, se espera que futuros estudios profundicen en los factores que explican las mejoras en el rendimiento y actitudes de los estudiantes al usar laboratorios virtuales, y si estas persisten en el tiempo.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación está financiada por el proyecto TED2021-129474B-I00 del MCIN/AEI /10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/ PRTR.

## REFERENCIAS

Akpan, J. P. (2001). Issues associated with Inserting computer simulations into Biology instruction: A Review of the Literature. *Electronic Journal of Science Education*, 5(3), 17-18. <https://ejrsme.icrsme.com/article/view/7656>

- Aldrich, C. (2005). *Learning by Doing: A Comprehensive Guide to Simulations, Computer Games, and Other Educational Experiences*. San Francisco, CA: Pfeiffer.  
<https://doi.org/10.1145/1104985.1104993>
- Ali, N., Ullah, S., y Khan, D. (2022). Interactive Laboratories for Science Education: A Subjective Study and Systematic Literature review. *Multimodal technologies and interaction*, 6(10), 85.  
<https://doi.org/10.3390/mti6100085>
- Amin, D. I., y Ikhsan, J. (2021). Improving higher order thinking skills via semi second life. *European Journal of Educational Research*, 10(1), 261-274.  
<https://doi.org/10.12973/eu-jer.10.1.261>
- Angreani, A., Saefudin, S., y Solihat, R. (2022). Virtual laboratory based online learning: Improving environmental literacy in high school students. *JPBI (Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia)*, 8(1), 10-21.  
<https://doi.org/10.22219/jpbi.v8i1.18120>
- Arista, F. S. y Kuswanto, H. (2018). Virtual Physics Laboratory Application Based on The Android Smartphone to Improve Learning Independence and Conceptual Understanding. *International Journal of Instruction*, 11(1), 1-16.  
<https://doi.org/10.12973/iji.2018.1111a>
- Chan, P., Van Gerven, T., Dubois, J., y Bernaerts, K. (2021). Virtual Chemical Laboratories: A systematic literature review of research, technologies and instructional design. *Computers and Education Open*, 2, 100053.  
<https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100053>
- Cheng, M.T., Chou, W.C., Hsu, M.E., y Cheng, F.C. (2022). Blending educational gaming with physical experiments to engage high school students in inquiry-based learning. *Journal of Biological Education*.  
<https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2157861>
- Chua, K., y Karpudewan, M. (2017). The role of motivation and perceptions about science laboratory environment on lower secondary students' attitude towards science. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 18 (12), 1-16. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1179318>
- De Jong, T., Linn, M. C., y Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305-308.  
<https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Fadda, D., Salis, C., y Vivinet G. (2022). About the Efficacy of Virtual and Remote Laboratories in STEM Education in Secondary School: A Second-Order Systematic Review. *Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies*, 26, 51-72.  
<https://dx.doi.org/10.7358/ecps-2022-026-fadd>
- Falode, O.C. y Onasanya, S.A. (2015). Teaching and learning efficacy of virtual laboratory package on selected nigerian secondary school physics concepts. *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*, 24(4), 572-583.
- Falode, O.C. y Gambari, A.İ. (2017). Evaluation of virtual laboratory package on nigerian secondary school physics concepts. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 18 (2), 168-178.  
<https://doi.org/10.17718/tojde.306567>
- Famani, S.T.M., Ayub, M.R.S.S.N., y Sudjito, D.N. (2019). Physics Learning Design of Faraday's Induction Law Material Using PhET Simulation. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 15(2), 87-96.  
<https://doi.org/10.15294/jpfi.v15i2.12656>

- Faour, M.A. y Ayoubi, Z. (2018). The effect of using virtual laboratory on grade 10 students' conceptual understanding and their attitudes towards physics. *Journal of Education in Science, Environment and Health (JESEH)*, 4(1), 54-68.  
<https://doi.org/10.21891/jeseh.387482>
- Gambari, A. I., Kawu, H., y Falode, O. C. (2018). Impact of Virtual Laboratory on the Achievement of Secondary School Chemistry Students in Homogeneous and Heterogeneous Collaborative Environments. *Contemporary Educational Technology*, 9(3), 246-263.  
<https://doi.org/10.30935/cet.444108>
- Gunawan Dewi, S.M., Harjono, A., y Susulawati. (2019). Generative Learning Models Assisted by Virtual Laboratories to Improve Students' Creativity in Physics. *Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems*, 11(7), 403-411.  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/2/022013>
- Gunawan, Harjono, A., Hermansyah, y Herayanti, L. (2019). Guided inquiry model through virtual laboratory to enhance students' science process skills on heat concept. *Cakrawala Pendidikan*, 38(2), 1-10.  
<https://doi.org/10.21831/cp.v38i2.23345>
- Hale-Hanes, C. (2015). Promoting Student Development of Models and Scientific Inquiry Skills in Acid-Base Chemistry: An Important Skill Development in Preparation for AP Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 92(8), 1320-1324.  
<https://doi.org/10.1021/ed500814n>
- Hanley, Carol D., Jenni Ho, Chris Prichard, y Nathan L. Vanderford. (2022). The Use of Virtual Research Experiences for Appalachian Career Training in Oncology (ACTION) Program High School Participants During the COVID-19 Pandemic. *Journal of STEM Outreach*, 5(2), 1-12.  
<https://doi.org/10.15695/jstem/v5i2.03>
- Herga, N. R., Grmek, M. I., y Dinevski, D. (2014). Virtual laboratory as an element of visualization when teaching chemical contents in science class. *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 13(4), 157-165.
- Herga, N.R., Glažar, S.A., y Dinevski, D. (2015). Dynamic visualization in the virtual laboratory enhances the fundamental understanding of Chemical concepts. *Journal of Baltic Science Education*, 14(3), 351-365.  
<https://doi.org/10.33225/jbse/15.14.351>
- Hung, J-F, y Tsai, C-Y. (2020). The effects of a virtual laboratory and meta-cognitive scaffolding on students' data modelling competences. *Journal of Baltic Science Education*, 19(6), 923-939.  
<https://doi.org/10.33225/jbse/20.19.923>
- Husnaini, S. J. y Chen, S. (2019). Effects of guided inquiry virtual and physical laboratories on conceptual understanding, inquiry performance, scientific inquiry self-efficacy, and enjoyment. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1).  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010119>
- Jagodziński, P. y Wolski, R. (2015). Assessment of Application Technology of Natural User Interfaces in the Creation of a Virtual Chemical Laboratory. *Journal of Science Education and Technology*, 24, 16-28.  
<https://doi.org/10.1007/s10956-014-9517-5>
- Kapici, H.O., Akcay, H., y Cakir, H. (2022) Investigating the effects of different levels of guidance in inquiry-based hands-on and virtual science laboratories. *International Journal of Science Education*, 44(2), 324-345.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2028926>

- Manyilizu, M.C. (2022). Effectiveness of virtual laboratory vs. paper-based experiences to the hands-on chemistry practical in Tanzanian secondary schools. *Education and Information Technologies*, 28, 4831-484.  
<https://doi.org/10.1007/s10639-022-11327-7>
- Maulidah, S. S., y Prima, E. C. (2018). Using Physics Education Technology as Virtual Laboratory in Learning Waves and Sounds. *Journal of Science Learning*, 1(3), 116-121.  
<https://doi.org/10.17509/jsl.v1i3.11797>
- McGuire, G.P., Luna, C.V., Staehling, E.M., y Stroupe, ME. (2022). From COVID-19 to the Central Dogma: Investigating the SARS-CoV-2 Spike Protein. *The American Biology Teacher*, 84 (7), 410-414.  
<https://doi.org/10.1525/abt.2022.84.7.410>
- Newman, M. y Gough, D. (2020). Systematic Reviews in Educational Research: Methodology, Perspectives and Application. En O. Zawacki-Richter, M. Kerres, S. Bedenlier, M. Bond, y K. Buntins (Eds.), *Systematic Reviews in Educational Research* (pp. 3-22). Springer Fachmedien Wiesbaden.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-658-27602-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-658-27602-7_1)
- Ojo, O. M. y Owolabi, O.T. (2020) Relative Effects of Two Activity-Based Instructional Strategies on Secondary School Students' Attitude towards Physics Practical. *European Journal of Educational Sciences*, 7(3), 123-140.  
<https://doi.org/10.19044/ejes.v7no3a8>
- Onyesolu, M. O. (2009). Virtual Reality Laboratories: An Ideal Solution to the Problems Facing Laboratory Setup and Management. En Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2009 (WCECS 2009) (Vol. I).
- Oser, R. y Fraser, F. J. (2015). Effectiveness of Virtual Laboratories in Terms of Learning Environment, Attitudes and Achievement among High-School Genetics Students. *Curriculum and Teaching*, 30(2), 65-80.  
<https://doi.org/10.7459/ct/30.2.05>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S. et al. (2021). Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799.  
<https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M. y Jovanović, K. (2016). Virtual Laboratories for Education in Science, Technology, and Engineering: a review. *Computers y Education*, 95, 309-327.  
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>
- Prima, E. C., Putri, C. L., y Sudargo, F. (2017). Applying Pre and Post Role-Plays supported by Stellarium Virtual Observatory to Improve Students' Understanding on Learning Solar System. *Journal of Science Learning* 1(1), 1-7.  
<https://doi.org/10.17509/jsl.v1i1.8708>
- Puspitaningtyas, E., Nasera Putri, E. F., Umrotul, U., y Sutopo S. (2021). Analysis of high school student's concept mastery in light wave using structured inquiry learning assisted by a virtual laboratory, *Revista Mexicana de Física*, 18(1), 10-22.  
<https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.18.10>

- Qu, A., Nicolas, M., Leung, E.M., Jones, S.M., Katyal, P., Punia, K., Maxfield, M., y Montclare, J.K. (2022). Exploring the Viability and Role of Virtual Laboratories in Chemistry Education Using Two Original Modules. *Journal of Chemical Education*, 99(4), 1596-1603.  
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00892>
- Raman, R., Achuthan, K., Nair, V., y Nedungadi, P. (2022). Virtual Laboratories - A historical review and bibliometric analysis of the past three decades. *Education and Information Technologies*, 27(8), 11055-11087.  
<https://doi.org/10.1007/s10639-022-11058-9>
- Robles Moral, F. J. y Martínez Ballesteros, A. (2022). La genética mendeliana de secundaria a través del laboratorio virtual. *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (82), 217- 231.  
<https://doi.org/10.21556/edutec.2022.82.2695>
- Rosenberg, J. y Lawson, M. (2019). An Investigation of Students' Use of a Computational Science Simulation in an Online High School Physics Class. *Education Sciences*, 9(1), 49.  
<https://doi.org/10.3390/educsci9010049>
- Sapriati, A., Suhandoko, A. D. J., Yundayani, A., Karim, R. A., Yufiarti, Y., Adnan, A. H. M. y Suhandoko, A. A. (2023). The Effect of virtual laboratories on Improving Students' SRL: An Umbrella Systematic Review. *Education Sciences*, 13(3), 222.  
<https://doi.org/10.3390/educsci13030222>
- Sasmito, A. P. y Sekarsari, P. (2022). Enhancing Students' Understanding and Motivation during COVID-19 Pandemic via Development of Virtual Laboratory. *Journal of Turkish Science Education*, 19(1), 180-193.  
<https://doi.org/10.36681/tused.2022..117>
- Sharifov, G.M.O. (2020). The effectiveness of using a virtual laboratory in the teaching of electromagnetism in the lyceum. *Physics Education*, 55(6).  
<https://doi.org/10.1088/1361-6552/aba7f5>
- Sypas, A. y Kalles, D. (2018) Virtual laboratories in biology, biotechnology and chemistry education: a literature review. En *Proceedings of PCI '18*.  
<https://doi.org/10.1145/3291533.3291560>
- Špernjak, A. y Šorgo, A. (2017). Differences in acquired knowledge and attitudes achieved with traditional, computer-supported and virtual laboratory biology laboratory exercises. *Journal of Biological Education*.  
<https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1298532>
- Sui, C.J., Chen, H.C., Cheng, P.H. y Chang, C.Y. (2023). The Go-Lab Platform, an Inquiry-learning Space: Investigation into Students' Technology Acceptance, Knowledge Integration, and Learning Outcomes. *Journal of Science Education and Technology*, 32, 61-77.  
<https://doi.org/10.1007/s10956-022-10008-x>
- Taramopoulos, A. y Psillos, D. (2017). Complex phenomena understanding in electricity through dynamically linked concrete and abstract representations. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33(2).  
<https://doi.org/10.1111/jcal.12174>
- Taramopoulos, A. y Psillos, D. (2019). Promoting Representational Fluency Through Dynamically Linked Concrete and Abstract Representations in Electric Circuits. *Journal of Science Education and Technology*, 28, 638-650.  
<https://doi.org/10.1007/s10956-019-09793-9>
- Torres, F. (2017). Laboratorios virtuales como estrategia para la enseñanza de la Química. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Ullah, S., Ali, N., y Rahman, S. U. (2016). The Effect of Procedural Guidance on Students' Skill Enhancement in a Virtual Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 93 (12) 2018-2025. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00969>
- Unesco (2000). Informe de la reunión de expertos sobre laboratorios virtuales. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. París. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000119102\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000119102_spa)
- Weifan, Q., Yanjun, G., Zhe, Z., Yongyi, Z. (2020). Review of Virtual Simulation Technique in Geology. *Acta Metallurgica Sinica*, 26(4): 464-471. <https://doi.org/10.16108/j.issn1006-7493.2020024>
- Wirdiyatusyifa, Sunarno, W. y Supriyanto, A. (2022). The Digital Module to Improve Students' SEP Skills during the COVID-19 Pandemic. *Journal of Hunan University Natural Sciences*, 49(8), 1-10. <https://doi.org/10.55463/issn.1674-2974.49.8.14>
- Wolski, R. y Jagodzinski, P. (2017). Virtual laboratory – Using a hand movement recognition system to improve the quality of chemical education. *British Journal of Educational Technology*, 50(1), 218-231. <https://doi.org/10.1111/bjet.12563>
- Yildirim, F. S. (2021). The Effect of Virtual Laboratory Applications on 8th Grade Students' Achievement in Science Lesson. *Journal of Education in Science Environment and Health*, 7(2), 171-181. <https://doi.org/10.21891/jeseh.837243>
- Zacharia, Z. C. y Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual Manipulative experimentation in Physics learning. *Learning and Instruction*, 21(3), 317-331. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2010.03.001>
- Zaturrahmi, Festuyed, y Ellizar, (2020). The Utilization of Virtual Laboratory in Learning: A Meta-Analysis. *Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*, 3 (2), 228-236. <https://doi.org/10.24042/ij sme.v3i2.6474>

---

# Virtual Laboratories for Science Education: a Systematic Review

Gabriela Campos Mera  
Universidad Central del Ecuador  
gabcampos@correo.ugr.es

Alicia Benarroch Benarroch  
Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación  
y del Deporte de Melilla. Universidad de Granada. Melilla, España  
aliciabb@ugr.es

Virtual laboratories are technological tools that allow scientific experiments to be emulated digitally, offering advantages such as resource savings, security and flexibility. These resources have been gaining relevance in the teaching of experimental sciences, so it is important to analyse their application and impact in this educational field. The main objective of this research is to characterise the scientific production on virtual laboratories in the teaching of experimental sciences in secondary education. To this end, the following research questions are posed: Which are the most used laboratories in research on the teaching-learning of experimental sciences? Which are the most addressed topics and contents? Which technology is the most used, which are the most analysed age groups and what are the results obtained when applying these resources? To answer all of these questions, a systematic review was carried out following the Newman and Gough model as well as the PRISMA guidelines. The search was carried out in three databases: Scopus, ERIC and WoS. A total of 221 articles were identified, of which 38 articles published between 2015 and 2023 were selected, as they met all the inclusion criteria. The results show that the most frequent virtual laboratories are PhET and Go-Lab and that Physics is the most common subject, followed by Chemistry, Biology and Natural Sciences. The most recurrent contents are electrical circuits in Physics and genetics in Biology. The predominant technology is web applications and the most frequently analysed age groups are 16 and 13 years old. In most cases, the use of virtual laboratories yielded positive results in terms of academic performance, comprehension and student attitudes. It is concluded that PhET and Go-Lab laboratories are widely used because of their free access and variety of practices, and that there is increasing interest in investigating their use in Physics. More research on optimal methodologies is needed so as to integrate these resources and analyse their long-term impact, as well as to fill the existing gap in Geology. Future research is expected to explore the impact of artificial intelligence on the development of new virtual laboratories.





# El razonamiento del profesorado de Biología sobre el obstáculo epistemológico teleológico

## The Reasoning of Biology Teachers about the Teleological Epistemological Obstacle

Eduardo Ravanal Moreno

*Facultad de Educación, Universidad Santo Tomás, Chile*  
luisravanal@santotomas.cl

Camila Díaz Ramírez

*Facultad de Educación, Universidad Alberto Hurtado, Chile*  
camilaandread@gmail.com

Leonardo González Galli

*Consejo Nacional de Investigación Científica y Técnicas (CONICET). Buenos Aires. Argentina. Instituto de investigaciones CeFIEC. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Argentina*  
leomgalli@gmail.com

**RESUMEN** • El razonamiento pedagógico es fundamental para desarrollar prácticas de enseñanza informadas, pero su pleno potencial se ve limitado por la reflexión convencional que habitualmente se promueve, limitando la capacidad del profesorado para explicar los motivos detrás de su práctica. En ese contexto, se diseñó un estudio cuantitativo con el objetivo de caracterizar el razonamiento pedagógico de 32 profesores de Biología en servicio ante una situación hipotética de clase que, implícitamente, da cuenta de un obstáculo epistemológico teleológico sobre evolución, a partir del cual los participantes perciben, predicen y justifican. Los hallazgos revelan que los profesores noveles son más propensos a identificar un obstáculo epistemológico, mientras que la capacidad para justificar las predicciones es un aspecto desafiante tanto para profesores noveles como experimentados.

**PALABRAS CLAVE:** Razonamiento pedagógico; Obstáculo epistemológico; Teleología; Evolución; Educación secundaria.

**ABSTRACT** • Pedagogical reasoning is crucial for developing informed teaching practices, yet its full potential is constrained by the conventional reflection which is typically promoted. This constrains the teachers' ability to articulate the reasons behind their practice. In this context, a quantitative study was designed to characterize the pedagogical reasoning of 32 in-service Biology teachers who face a hypothetical classroom situation that implicitly addresses a teleological epistemological obstacle concerning evolution, through which participants perceive, predict, and justify predictions. Findings reveal that novice teachers are more likely to identify an epistemological obstacle, while the ability to justify predictions is a challenging aspect for both novice and experienced teachers.

**KEYWORDS:** Pedagogical reasoning; Epistemological obstacle; Teleology; Evolution; Secondary education.

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

Ravanal Moreno, E., Díaz Ramírez, C. y González Galli, L. (2024). El razonamiento del profesorado de Biología sobre el obstáculo epistemológico teleológico *Enseñanza de las Ciencias*, 42(2), 131-151.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6052>

## INTRODUCCIÓN

El profesorado de ciencias se enfrenta diariamente a una enseñanza incierta y multifacética (Alonzo et al., 2019) que exige flexibilidad profesional para coordinar las complejas interacciones del aula y la permanente toma de decisiones (Kam Ho Chan et al., 2021). El excesivo trabajo que tienen las y los profesores en Chile (OECD, 2020) no favorece la reflexión sobre la docencia. Esto a menudo limita la capacidad de evaluar lo que está debajo de lo que se sabe y se es capaz de hacer (Loughran, 2019). En consecuencia, los docentes tienden a buscar actividades que *funcionen* en sus aulas (Appleton, 2002), lo que puede llevar a una falta de razonamiento fundamentado sobre sus prácticas de enseñanza y acentuar su alienación profesional (Álvarez, 2013). Por esa razón es necesario explorar al profesorado más allá de las experiencias que logra significar producto de sus procesos reflexivos e indagar cómo avanzar hacia planos de pensamiento de mayor complejidad.

En Chile se ha enfatizado que la reflexión docente sistemática y permanente es fundamental para la formación y el desarrollo del profesorado (Ministerio de Educación MINEDUC, 2021). Las políticas públicas chilenas y los estudios sobre el efecto positivo de la reflexión docente en la formación y el desarrollo de los profesores la han posicionado como una herramienta de profesionalización (Galaz et al., 2011) profundamente conectada y comprometida con el aprendizaje docente (Black y Plowright, 2010), la generación de conocimiento profesional y la mejora de las prácticas de enseñanza (Marathe y Sen, 2021). No obstante, es importante destacar que esta reflexión no ocurre espontáneamente por la observación o recuperación de las experiencias (Mena et al., 2017), sino por las formas de pensar y dar sentido a dichas experiencias (Van Velzen, 2015).

Es crucial reconocer que el conocimiento profesional orienta y facilita la planificación e implementación de la enseñanza. Por lo tanto, nos planteamos las siguientes preguntas: ¿cómo utiliza el profesorado el conocimiento profesional para pensar(se) la enseñanza y el aprendizaje de un tópico específico de Biología? y ¿hasta qué punto la reflexión docente, como herramienta de profesionalización, contribuye a la construcción de prácticas de enseñanza fundamentadas y comprensibles? En ese marco, es razonable pensar en una herramienta de profesionalización que focalice y promueva la construcción de argumentos como producto de la actividad cognitiva docente y el uso deliberado del conocimiento profesional. Compartimos la idea de que el profesorado no solo debe aprender con más y mejores reflexiones sobre lo que se hace en la enseñanza, sino que también debe aprender a justificar lo que se decide hacer en ella, para dar cuenta del porqué de su práctica (Loughran, 2019), es decir, de su razonamiento pedagógico.

La comprensión del pensamiento docente obliga a ir más allá del qué y cómo se hacen las cosas, o de la persistencia de evaluar si lo que se hace en el aula coincide con los marcos de referencia preestablecidos –reflexión para la verificación– (Bothelo, 2021; Hughes et al., 2020). Deseamos ubicar al profesorado frente a la enseñanza y sus implícitos para explorar sus formas de pensar con relación a lo que logra «ver» y proponer profesionalmente como consecuencia de su razonamiento. Nuestro objetivo de investigación es caracterizar el razonamiento pedagógico de profesores de Biología sobre el obstáculo epistemológico teleológico según la experiencia docente total.

## MARCO TEÓRICO

### Razonamiento pedagógico

El razonamiento pedagógico se define como la capacidad de los profesores y las profesoras para relacionar lo que identifican e interpretan con las acciones que realizan, para formar así un todo interconectado (Bakker et al., 2022; Choy et al., 2017). Corresponde a la actividad de pensamiento, que permite

al profesorado justificar y explicar sus acciones en el contexto de la enseñanza (Bakker et al., 2024). Este proceso implica seleccionar y focalizar (identificar), prever y explicar (interpretar), y finalmente planificar y justificar un curso de acción (decidir) todo basado en una reflexión continua.

Esto implica analizar situaciones específicas del aula, basándose en su conocimiento sobre la enseñanza y su impacto en los aprendizajes del estudiantado (Van Es y Sherin, 2002), así como en juicios profesionales (Shulman, 1998) para tomar decisiones de instrucción. La complejidad inherente al proceso de razonamiento puede ocultar comprensiones más profundas de los análisis y posturas profesionales. Por ello, resulta crucial explorar el razonamiento pedagógico del profesorado para comprenderlo y reconocerlo como una herramienta heurística de crecimiento profesional.

Para fomentar el desarrollo del razonamiento pedagógico, es importante que el profesorado identifique situaciones de enseñanza con potencial para el aprendizaje, discerniendo lo que es relevante para este fin, reflexionando sobre sus experiencias y extrayendo interpretaciones significativas. Además, deben considerar las razones profesionales detrás de las acciones que promueven o piensan promover (Kavanagh et al., 2020).

La competencia pedagógica está relacionada con la comprensión y mejora del aprendizaje del contenido disciplinar curricular, el contenido de la materia (Bakker et al., 2022). Esto pone de manifiesto la importancia de la actividad cognitiva del profesorado en su contexto y su relación con el conocimiento especializado (Rozenszajn et al., 2019). Sin embargo, algunos estudios han evidenciado que los docentes de ciencias dan cuenta de un razonamiento tipo *pinball* (Keast et al., 2017), en el que se pasa rápidamente de un foco a otro, relevando la complejidad del proceso de razonamiento e invisibilizando, a nuestro modo de entender, las comprensiones profundas de sus análisis y posturas profesionales.

En este contexto, razonar implica darse cuenta, predecir y justificar. Para desarrollar este razonamiento, los profesores deben ser capaces de identificar situaciones de enseñanza con potencial para los aprendizajes. Esto conlleva 1) reconocer lo que puede ser relevante para el aprendizaje, 2) reflexionar sobre las experiencias y extraer significados, y 3) interpretar y pensar en las razones profesionales detrás de sus acciones.

## Experiencia profesional docente

Cuando el profesorado se centra en acciones deliberadas en sus prácticas de enseñanza, la experiencia docente se convierte en un factor clave y diferenciador. A menudo, se agrupa al profesorado en niveles, como los de principiante o experimentado, o novel o experto; es decir, se basan en diferentes etapas temporales de su carrera profesional (Imbernon, 2007; Shulman, 1986). Sin embargo, esta tipificación basada en el tiempo de ejercicio docente proporciona poca información sobre las experiencias de los profesores de Biología vivenciadas en su actividad.

Para distinguir a los profesores en función de su experiencia profesional docente se han propuesto diferentes aspectos distintivos.

Según Orgoványi-Gajdos (2016), el profesorado novel o principiante tiene una capacidad limitada para construir conocimiento y tienden a enseñar contenidos aislados con poca transferencia; a menudo, muestra interpretaciones superficiales de los eventos del aula. Sin embargo, el profesorado experimentado posee una mayor integración de conocimiento y puede transferirlo de manera efectiva en la enseñanza.

Ravanel et al. (2021) revelaron que el profesorado principiante tiende a buscar validación a través de cursos de perfeccionamiento para mejorar su comprensión del contenido que debe enseñar, mientras que los experimentados se preocupan por el desinterés de los estudiantes en su materia y cómo abordarlo.

Para Anderson y Taner (2023), el profesorado experto promueve una enseñanza interactiva de toda la clase, utiliza rutinas regulares que se pueden flexibilizar según las necesidades estudiantiles e incorpora la improvisación. Según la teoría de la observación (Miller, 2011), el profesorado experto se caracteriza por monitorear el entorno complejo y caótico del aula y se centra en las características relevantes de las comprensiones estudiantiles para monitorearlas. Este razonamiento de aprendizaje, que consiste en ignorar ciertos rasgos estudiantiles o de los entornos, puede tener dificultades para tomar conciencia de lo que notan o perciben los profesores (Miller, 2011). El profesorado experto se distingue tanto por lo que nota como por lo que no logra notar o darse cuenta.

En resumen, se coincide en que los profesores experimentados tienen un alto conocimiento pedagógico del contenido y desarrollan relaciones interpersonales sólidas con los estudiantes. Sin embargo, creemos que el dominio del conocimiento pedagógico está relacionado con el tópico específico que enseñan y las oportunidades que han tenido para hacerlo, ya que, a partir de estas experiencias, el profesorado construye y reconstruye su conocimiento pedagógico del contenido personal (Stender et al., 2017).

### **Enseñanza y aprendizaje de la evolución de los seres vivos**

Debido a su centralidad para la Biología y sus innumerables impactos en la sociedad y la cultura, la teoría de la evolución es un componente fundamental del currículo de ciencias naturales (Deniz y Borgerding, 2018). Sin embargo, numerosos estudios han demostrado que el aprendizaje de este contenido es deficiente en diversos países. Las razones son variadas y complejas, entre las que se incluyen conflictos con creencias religiosas, concepciones intuitivas incompatibles con la teoría tanto en estudiantes como en profesores, deficiencias en la formación docente y falta de adecuación de los materiales didácticos (Rosengren et al., 2012; Smith, 2010). En este contexto, nos centraremos en la selección natural, uno de los modelos más importantes en la teoría de la evolución debido a su amplio consenso en la comunidad científica y a su alcance explicativo (Futuyma y Kirkpatrick, 2018).

La influencia de las concepciones de los estudiantes en el aprendizaje de este contenido se aborda desde el marco teórico de los obstáculos epistemológicos (OE) (Astolfi, 2001; Camilloni, 2001). Un OE es cualquier concepción transversal (se relaciona con una amplia diversidad de tópicos), funcional (cumple una función heurística y explicativa en la cognición del sujeto) y conflictiva (entra en conflicto, al menos en ciertos casos, con cierto modelo científico que se va a enseñar) (González Galli et al., 2022). Los OE serían así modos de pensar muy generales e implícitos que subyacen tras numerosas concepciones más específicas y explícitas.

Dado que los OE nunca desaparecen, los objetivos didácticos se centran en fomentar el desarrollo de la capacidad metacognitiva del estudiante para regular esos modos de pensar. En otros trabajos (González Galli et al., 2020), hemos denominado «vigilancia metacognitiva» a esta capacidad, que supone saber en qué consiste el OE que dificulta el aprendizaje, reconocer sus diversas expresiones específicas y, finalmente, ser capaz de regular el uso del OE, evaluando contextualmente su adecuación, pertinencia y validez en cada caso. Dada la importancia de los OE, sería esperable que el profesorado haya atendido a este factor como foco de su formación y desarrollo.

A partir de la investigación se han identificado varios OE que dificultan el aprendizaje de la biología evolucionista. Los principales son el pensamiento teleológico o finalista, el pensamiento esencialista y el pensamiento centrado en el individuo (González Galli y Meinardi, 2011, 2015). El primero se refiere a la tendencia a explicar los fenómenos recurriendo a la noción de fin, meta u objetivo. El segundo supone pensar en términos de categorías que se consideran reales, inmutables y homogéneas (ignorando la variabilidad interindividual). El tercero se refiere la tendencia a explicar el cambio evolutivo en términos de transformaciones de los individuos.

## METODOLOGÍA

### Contexto de investigación

Este estudio forma parte de un programa de investigación que se centra en el profesorado y su actividad cognitiva. El objetivo fue analizar el razonamiento pedagógico de profesores de Biología en relación con el obstáculo epistemológico teleológico, considerando su experiencia docente total. La pregunta que guio el estudio fue: ¿Cuáles son las características del razonamiento pedagógico relacionado con el obstáculo epistemológico teleológico en función de la experiencia profesional del profesorado de Biología? Para su abordaje, se diseñó un estudio de tipo cuantitativo y transeccional.

### Participantes

La población participante estuvo conformada por 32 profesores de Biología en servicio de la capital de Chile, que respondieron un cuestionario de pensamiento docente de manera autónoma y consentida. Los participantes fueron 11 profesores y 21 profesoras, que según sus años de experiencia docente total (EDT) están en las categorías de profesores: *noveles*, con 0 a 4 años de experiencia (n = 10; 31,25 %); *intermedio*, con 5 a 9 años de experiencia (n = 12; 37,50 %); y *expertos*, con más de 10 años de experiencia (n = 10; 31,25 %). Las categorías se fundamentan en Imbernon (2007), así como en la legislación chilena (Ley 20.903). En paralelo, se indagó sobre los años de experiencia enseñando el tema de la evolución de los seres vivos, para enriquecer la descripción del perfil de los participantes (tabla 1).

Tabla 1.  
Frecuencia y porcentaje de los participantes considerando la experiencia docente total y enseñando la evolución, según la categoría de la experiencia docente total

Categoría experiencia docente	Experiencia docente total				Experiencia docente enseñando la evolución					
	n	Participantes (n)		Representación (%)		n	Participantes (n)		Representación (%)	
		Mujer	Varón	Mujer	Varón		Mujer	Varón	Mujer	Varón
Novel	10	4	6	19,1	54,5	24	14	10	66,7	90,9
Intermedio	12	10	2	47,6	18,2	6	6	0	28,6	0,0
Experto	10	7	3	33,3	27,3	2	1	1	4,7	9,1
Total	32	21	11	100	100	32	21	11	100	100

Los años de experiencia docente total son de 8,92 años  $\pm$  7,04, y los años de experiencia de los participantes enseñando evolución de los seres vivos es de 4,56 años  $\pm$  3,90.

### Recolección de la información

El cuestionario surge del interés por explorar el pensamiento de profesores en el marco de un proyecto de investigación mayor que se centra en analizar el razonamiento pedagógico de los profesores al examinar fragmentos de clases sobre biodiversidad y evolución. En este contexto, y con el fin de mantener el nivel contextualizado de la actividad de pensamiento docente, decidimos proponer un caso hipotético como estímulo para los participantes. El cuestionario, denominado *Pensamiento docente acerca de la enseñanza de la evolución de los seres vivos*, recopila tres tipos de información: 1) datos generales sobre los participantes; 2) una situación hipotética de enseñanza que sirve como estímulo para

el razonamiento; y 3) instrucciones para los participantes que los invitan a proponer procedimientos, predicciones y justificaciones (figura 1).

La validación del instrumento se realizó a través de jueces expertos, quienes evaluaron tres aspectos: claridad y pertinencia de la situación hipotética y de las instrucciones, considerando que la situación implícitamente presenta un obstáculo de aprendizaje teleológico. Otro aspecto de la validación fue la pertinencia de la instrucción en relación con sus objetivos y contenido. En esta etapa de validación participan dos investigadores con experiencia en la enseñanza de las ciencias experimentales.

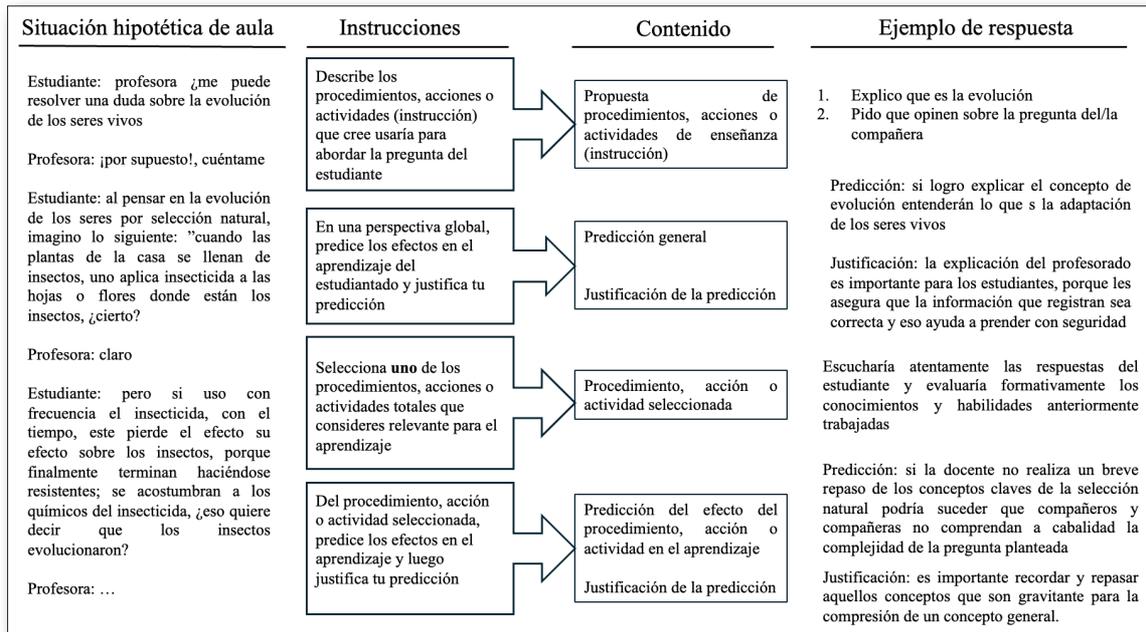


Fig. 1. Representación general del instrumento empleado para caracterizar el razonamiento docente. Se presenta un ejemplo hipotético para una mayor comprensión.

### Operacionalización de las categorías de análisis

Para analizar y caracterizar el razonamiento pedagógico, se definieron cinco categorías de análisis, a saber: identificación (C1), la formulación de procedimientos de enseñanza (C2), la habilidad predictiva (C3), la habilidad de justificar las predicciones (C4) y, por último, la habilidad para fundamentar las predicciones mediante el conocimiento profesional (C5).

Las categorías se definieron y operacionalizaron mediante el desarrollo de una rúbrica analítica (ver Raval, Díaz y González Galli, 2024). Esta se validó desde la perspectiva teórica de la visión profesional, ya que se considera un elemento importante en la experiencia docente (Ho Chan et al., 2020), pues permite a los profesores observar y dar sentido a lo que ocurre en el aula (Blomberg et al., 2011). En este caso, se enfocó en la interacción circunscrita a un obstáculo de aprendizaje.

Para describir los niveles de cada dimensión, se tomó como punto de partida la propuesta de Zaragoza et al. (2021) y se realizaron ajustes graduales basados en ejemplos de respuestas típicas de los participantes. Finalmente, la validez de la rúbrica se confirmó mediante la evaluación de expertos, quienes la juzgaron en términos de pertinencia y claridad de las categorías y descriptores por nivel, usando una escala de apreciación. La validación fue realizada por tres jueces expertos con especialización en enseñanza de las ciencias.

## Procedimiento de análisis

Los análisis de las categorías de análisis C1, C2, C3, C4 y C5 derivan de la reducción de la información por el uso de la rúbrica. Así, los datos obtenidos representan una escala de 3 a 1, donde el valor 3 representa que el profesorado alcanza el nivel de experto para las categorías de análisis (C1 a C5) y el valor 1 representa el nivel inicial.

La codificación se desarrolló en dos momentos: el primero fue de carácter individual y responsabilidad de cada investigador. Luego, se estimó el índice de concordancia de kappa (Abraira, 2000) para evaluar el grado de concordancia entre dos evaluadores. Dado que en todas las categorías el valor de kappa fue moderado ( $k = 0,5 - 0,6$ ), se llevó a cabo un análisis de los códigos no coincidentes. Este análisis se llevó a cabo en tres instancias distintas, a través de discusiones entre investigadores, con el objetivo de maximizar el grado de consenso.

## Técnica de análisis de la información

Realizamos un análisis descriptivo del nivel de razonamiento pedagógico para identificar y caracterizarlo de acuerdo con las descripciones establecidas en la rúbrica para las cinco categorías de interés (C1-C5). Este análisis se llevó considerando la experiencia docente total de los participantes.

Dado que nuestros datos son de naturaleza categórica y nuestro interés radica en explorar la posible relación entre la variable de experiencia docente total y las categorías de razonamiento (C1, C2, C3, C4 y C5), hemos optado por emplear un análisis de correspondencia simple (Greenacre, 2008). Este método, como lo describe el autor, consiste en representar gráficamente tablas de datos, lo que permite construir un diagrama de dispersión que ilustra la relación entre las variables a través de dos ejes coordenadas perpendiculares. El objetivo de este análisis en nuestro artículo es generar un diagrama de dispersión que describa la relación entre las variables desde una perspectiva exploratoria. Se ha prestado especial atención para asegurar que los diferentes tipos de profesores –novel, intermedio y experto– estén adecuadamente representados, con un total de 10, 12 y 10 casos, respectivamente.

En cuanto a que se haya elegido para el análisis de correspondencia fijarse en la experiencia docente total (EDT) en lugar de en la experiencia específica enseñando evolución (EDEv), se debe a que la premisa de reconocer la experiencia docente supone una integración tanto personal como profesional desde la cual una persona que actúa como profesor o profesora de Biología define lo que quiere lograr con su trabajo de enseñanza (Korthagen y Vasalos, 2010). Desde el punto de vista analítico, los casos de EDT están mejor representados que los de EDEv para el análisis de correspondencia. Para llevar a cabo este análisis, se utilizó el *software* SPSS-19.

## RESULTADOS

### Experiencia docente total y nivel de razonamiento docente

Este primer análisis ofrece una visión general del nivel de desarrollo del razonamiento del profesorado de Biología según los indicadores descritos en la rúbrica analítica. Los resultados se presentan por categoría de análisis.

- *Identificación* (C1): advertimos que el 40,6 % de participantes logra identificar en la situación de enseñanza del obstáculo epistemológico teleológico para el tema de la evolución (C1). De los 13 profesores que logran hacerlo, el 38,5 % son noveles, y el 15,4 % son profesores experimentados.

- *Procedimientos de enseñanza (C2)*: comprenden actividades tanto por parte del docente como de las y los estudiantes, diseñadas para abordar la situación de aula identificada. El 34,4 % de los participantes (n = 11) sugiere una secuencia de actividades alineadas con el obstáculo de aprendizaje y, en consecuencia, en sintonía con las concepciones del estudiantado. Dentro de este grupo, el 45,5 % son profesores noveles y el 100 % son profesores experimentados (n = 2)
- *Predicción*: los profesores proponen predicciones (C3) sobre los posibles efectos, positivos o negativos, de los procedimientos propuestos (C2) en los aprendizajes estudiantiles. Encontramos que el 25 % (n = 8) muestra una relación causal entre el procedimiento y el aprendizaje del estudiante según la situación de clase (obstáculo epistemológico teleológico). Un ejemplo sería: «se podría generar una percepción errónea sobre el proceso de evolución [...] creer que un individuo está evolucionando por exposición a un químico». Sin embargo, la mayoría de los participantes presentan relaciones causales que no están directamente relacionadas con el obstáculo, sino más bien con distintos conceptos de evolución (43,8 %). Además, el 31,3 % propone afirmaciones expresadas más como preocupaciones docentes o inquietudes, en lugar de establecer una relación causal. De los profesores que predicen en un nivel experto, siete son profesores noveles y uno es una profesora en nivel intermedio. No evidenciamos profesores expertos para esta categoría.
- *Justificación docente*: al realizar una predicción (C3), el participante la justifica (C4). El 25 % (n = 8) de los profesores logran justificar lo que se predice, es decir, indican una razón teórica o empírica a favor de la predicción. De esos, el 62,5 % son profesores noveles (n = 5), el 25 % profesores en nivel de intermedio (n = 2) y el 12,5 % corresponde a un profesor experto (n = 1).
- *Uso del conocimiento profesional*: cuando la justificación se evalúa en función del uso de conocimiento profesional (C5), tenemos que el 25 % de los participantes lo hace, es decir, hay una referencia explícita al conocimiento profesional sobre la enseñanza y aprendizaje de la evolución. Un ejemplo sería: «debido a la cultura popular se utiliza erróneamente el término evolución como una mejora o un cambio que ocurre en un individuo en particular, esto genera preconcep- tos como entender que la evolución es un proceso que ocurre y se observa en un cambio a corto plazo». Ahora bien, encontramos que el 50 % (n = 16) de los participantes, cuando justifica, (C5) ofrece razones genéricas, inespecíficas y alejadas de la predicción. Un ejemplo se muestra a continuación:

El tema de evolución es un tema abstracto y poco práctico –como experimentación–, requiere de análisis y dominio de algunos conceptos básicos [...] el tema de adaptación y evolución considerando que implícitamente el ADN (Prof. N; 15 años EDT; 5 años EDEv).

El 30,80 % (n = 4) de los profesores que logran el nivel de experto (n = 13) son profesores noveles y el 15,4 % corresponde a profesores en nivel intermedio y experto. Del total de profesores expertos (n = 10) se encasilla en el nivel inicial un 60 %.

### **Análisis de correspondencia simple**

Para el tercer análisis se llevó a cabo un análisis de correspondencia con perspectiva exploratoria. Previamente, se realizó un análisis de chi cuadrado para evaluar la relación entre las variables: el nivel de experiencia total del profesorado (EDT) y las categorías utilizadas para explorar el razonamiento pedagógico (C1, C2, C3, C4 y C5).

Los resultados de chi cuadrado indicaron que la experiencia docente total (EDT) no está relacionada con el nivel de desarrollo de las habilidades pedagógicas, excepto en los caso de identificación del obstáculo de aprendizaje teleológico (C1) y la generación de predicciones basadas en los procedimien-

tos de enseñanza (C3), donde sí se encontró una relación significativa ( $p = .008$  y  $p = .002$ , respectivamente), en el contexto de EDT.

A pesar de la ausencia de una relación estadísticamente significativa entre algunas de las variables de interés, decidimos representar gráficamente todos los datos mediante un análisis de correspondencia (Greenacre, 2008), con el objetivo de reducir la información para explorar y describir el comportamiento de las variables experiencia docente (EDT) y el razonamiento pedagógico según las categorías C1, C2, C3, C4 y C5.

### *Análisis de correspondencia para la categoría C1: identificación*

Se observa en la figura 2 una diferencia significativa en la habilidad de los profesores para identificar los obstáculos de aprendizaje teleológico en relación con su experiencia docente ( $p = .05$ ). Los profesores con más años de experiencia tienden a no identificar el obstáculo en la enseñanza de la evolución. Por otro lado, los profesores noveles son quienes tienden a identificar principalmente los conceptos científicos centrales implícitos en la situación abordada y se preparan para enfrentarlos mediante trabajos de exploración o indagación. El profesorado correspondiente al nivel intermedio logra identificar el obstáculo de aprendizaje para la evolución.

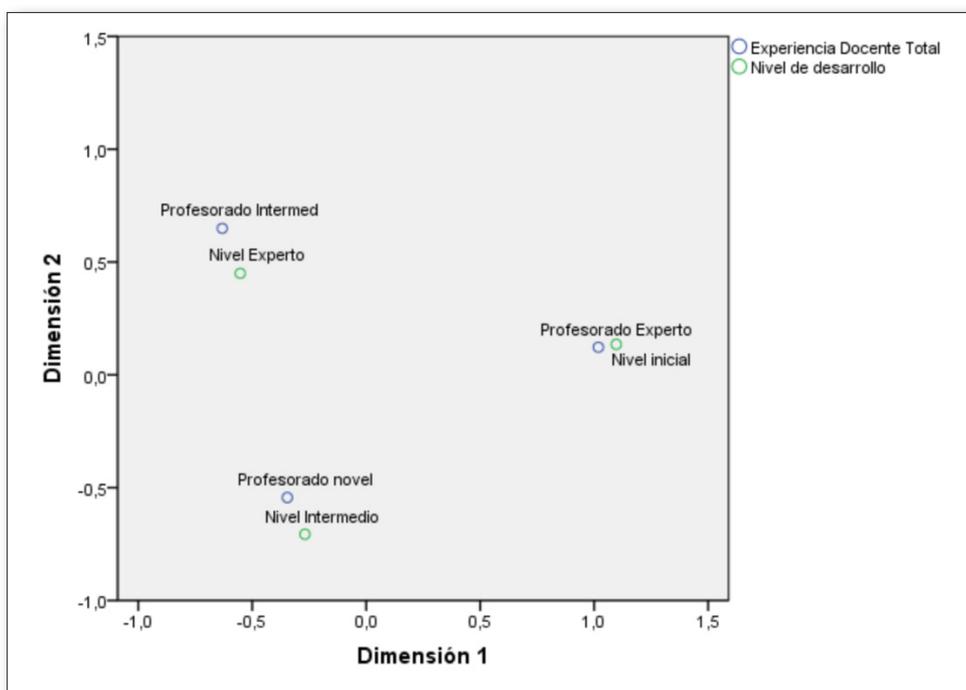


Fig. 2. Análisis de correspondencia para la EDT con relación a la categoría C1: identificación.

### *Análisis de correspondencia para la categoría C2: procedimientos de enseñanza*

La habilidad para proponer un procedimiento de enseñanza en relación con el obstáculo de aprendizaje (C2) revela diferencias entre los profesores según su experiencia docente (figura 3). Los profesores con mayor experiencia tienden a proponer procedimientos de enseñanza centrados en el contenido científico implícito en la situación. Entre tanto, el profesorado de nivel intermedio opta por procedimientos de enseñanza que enfatizan la dimensión pedagógica, como el trabajo grupal, el intercambio

de material o la respuesta a preguntas generales sobre el tema. Estas acciones están centradas en los conceptos científicos inherentes al obstáculo de aprendizaje, de manera similar como lo hacen los profesores noveles.

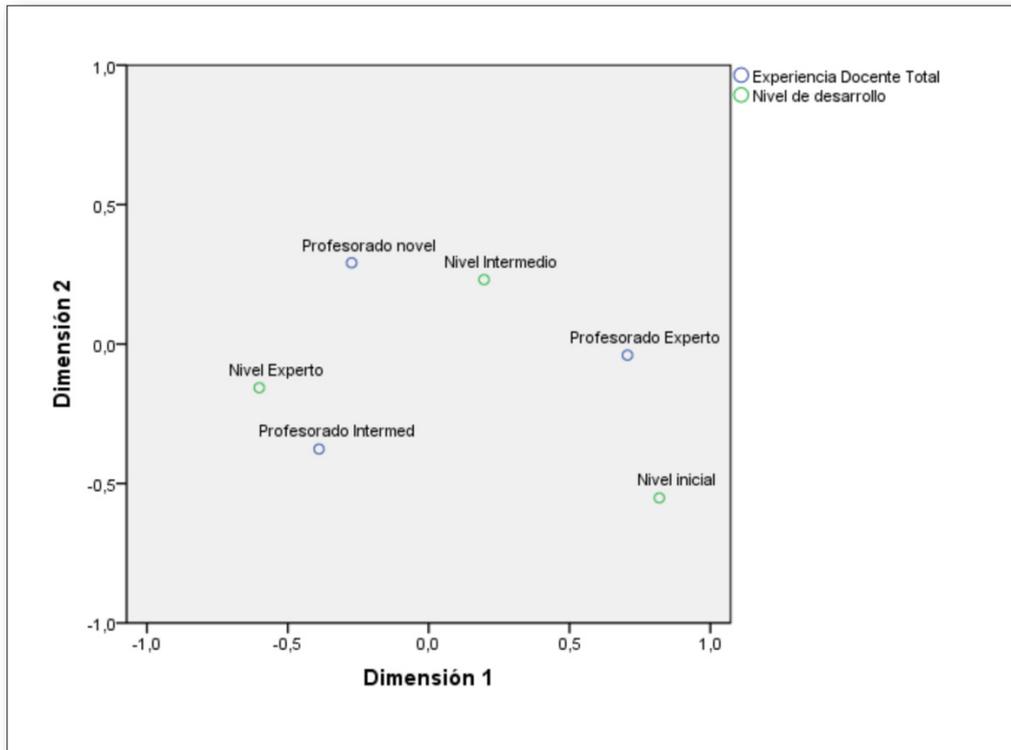


Fig. 3. Análisis de correspondencia para la EDT en relación con la categoría C2: procedimiento de enseñanza.

### *Análisis de correspondencia para la categoría C3: predecir*

En esta categoría, evidenciamos características distintivas y significativas ( $p = .02$ ) en cuanto a la capacidad de predecir las consecuencias de los procedimientos de enseñanza en función del grado de desarrollo profesional (figura 4). Los profesores noveles pueden establecer una relación causal entre los procedimientos y el obstáculo de aprendizaje, situándolos según la rúbrica en el nivel de experto. Los profesores de nivel intermedio ofrecen predicciones que transitan por ideas de tipo conceptual ligadas al tema de la evolución, o se plantean desde la lógica del profesor. Los profesores expertos presentan predicciones que no establecen una relación causal, sino que reflejan dificultades o preocupaciones en la enseñanza y aprendizaje de la evolución.

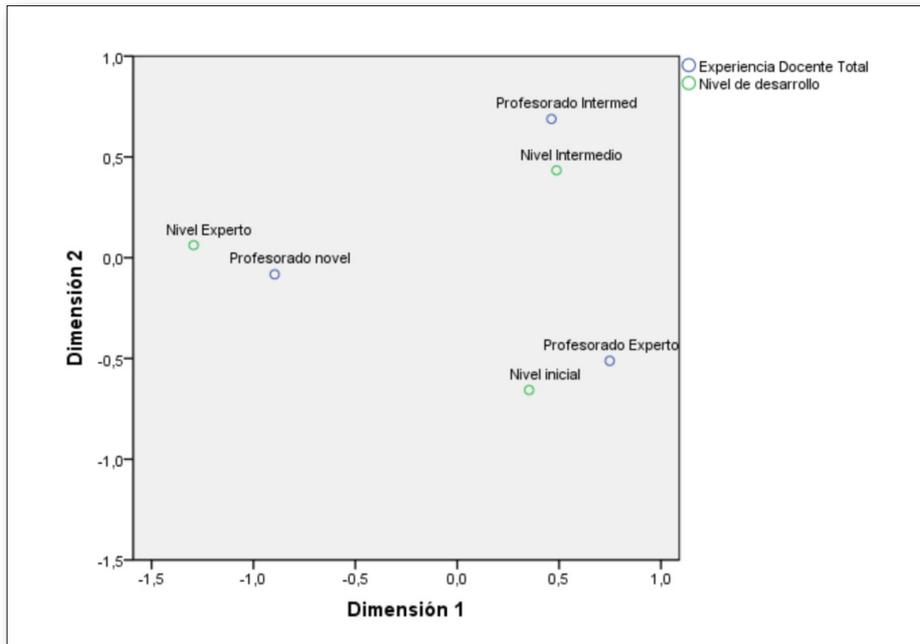


Fig. 4. Análisis de correspondencia para la EDT en relación con la categoría C3: predicción.

#### *Análisis de la correspondencia para la categoría C4: justificar la predicción*

La capacidad de dar razones en relación con el obstáculo de aprendizaje teleológico parece ser un aspecto complejo de caracterizar en el profesorado (figura 5). Los profesores noveles se encuentran en un nivel experto e intermedio en esta habilidad, según la rúbrica, mientras que los profesores de nivel de intermedio y experto están más cerca de ofrecer razones alejadas del obstáculo de aprendizaje (en un nivel inicial).

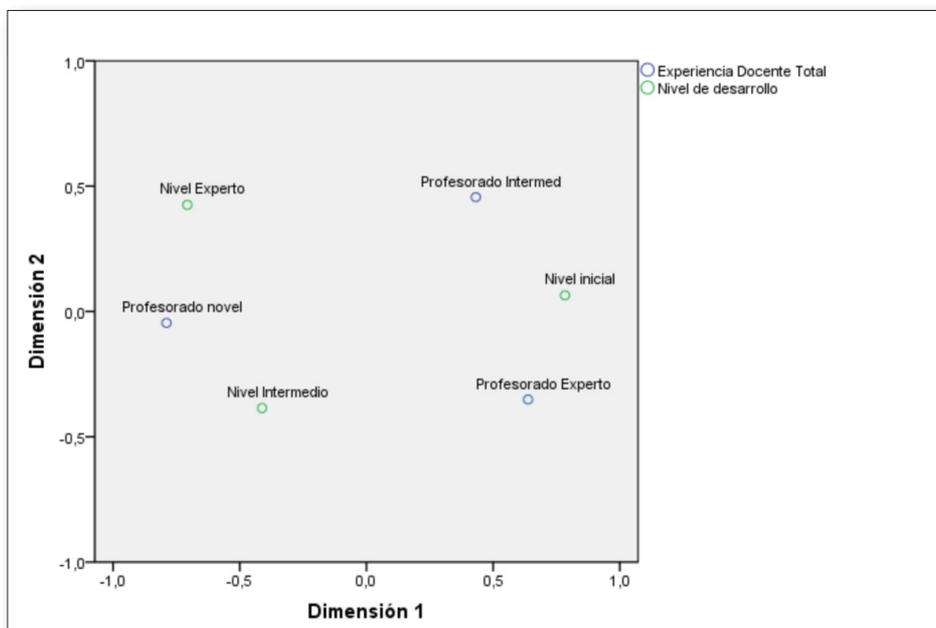


Fig. 5. Análisis de correspondencia para la EDT en relación con la categoría C4: justificación.

*Análisis de correspondencia para la categoría C5: usar conocimiento especializado*

La habilidad para justificar basándose en el conocimiento sobre la enseñanza y el aprendizaje de la evolución, particularmente en relación con el obstáculo de aprendizaje teleológico, se presenta como un atributo desafiante de caracterizar en el profesorado (figura 6). Aquellos que se sitúan en un nivel intermedio y experto ofrecen justificaciones genéricas e inespecíficas, a veces consideradas como ideas de sentido común. Por otro lado, el profesorado novel proporciona razones que hacen referencia explícita al conocimiento sobre la enseñanza y el aprendizaje de la evolución, mientras que otros lo hacen desde contenido de evolución en sí mismo.

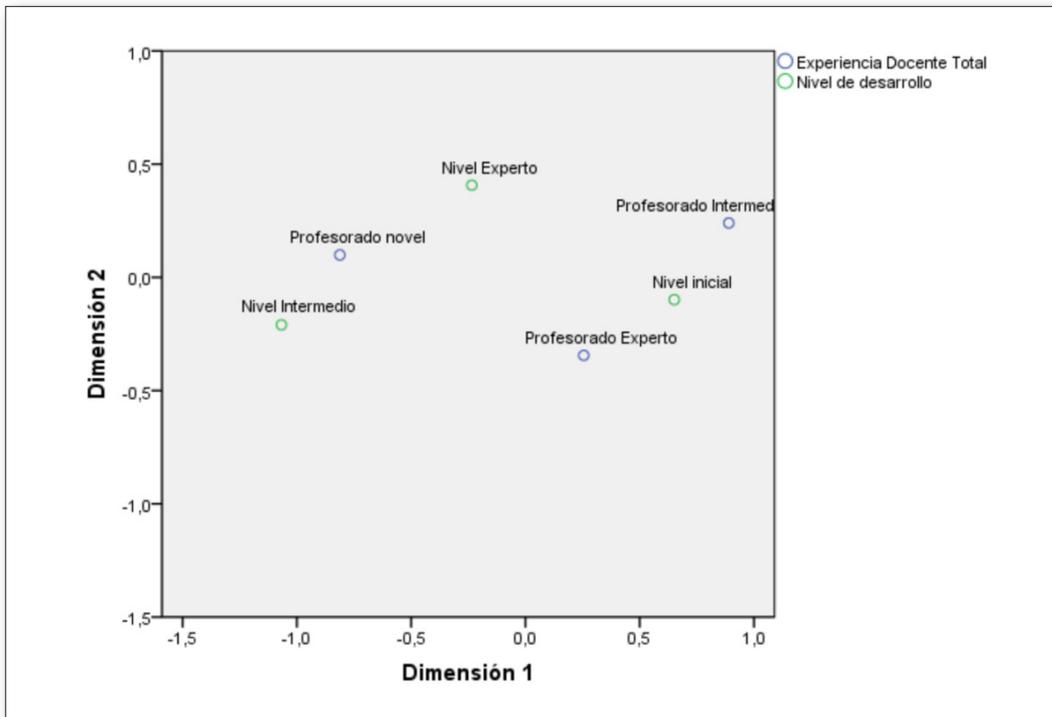


Fig. 6. Análisis de correspondencia para la EDT en relación con la categoría C5: usar conocimiento especializado.

**DISCUSIÓN**

Esta investigación se centra en caracterizar el razonamiento pedagógico de profesores de Biología en servicio en relación con una situación de aula que implícitamente aborda el obstáculo epistemológico teleológico en el aprendizaje de la evolución.

Uno de los resultados principales del estudio es la tendencia de los profesores a justificar sus enfoques de enseñanza basándose en el contenido específico de la evolución. Esto podría estar relacionado con una concepción academicista de la enseñanza o con las dificultades que encuentran al enseñarlo (Becerra et al., 2023). Por lo tanto, se necesita una discusión más profunda sobre el uso o la explicitación del conocimiento profesional relacionado con la enseñanza y el aprendizaje de un tópico específico, como la evolución por selección natural, para enriquecer la comprensión de las prácticas de enseñanza como objeto de indagación.

En este estudio hemos adoptado la idea de que el razonamiento pedagógico es un proceso de pensamiento complejo que implica la capacidad de identificar y seleccionar de manera consciente los ele-

mentos relevantes dentro una situación de enseñanza. Esto significa que el razonamiento pedagógico se refiere a un proceso abierto y flexible en el cual el profesorado atiende, plantea premisas, predice, cuestiona, explica y justifica sus acciones de enseñanza, teniendo en cuenta el qué, el cómo y el porqué de cada acción en su contexto correspondiente. En ese sentido, podría parecer razonable suponer que el profesorado con más años de experiencia profesional, que posee un conocimiento más articulado y una mejor comprensión pedagógica del contenido, así como un mayor manejo de las situaciones de aula y guiones didácticos más desarrollados (Stender et al., 2017), tendría una mayor capacidad para identificar un obstáculo de aprendizaje. Sin embargo, encontramos que los profesores con menos experiencia profesional (noveles) son los que logran identificarlo en mayor medida. Esto implica que el razonamiento pedagógico se fundamenta en el uso de conocimiento especializado sobre la enseñanza y el aprendizaje (Loughran, 2019). En ese contexto, se infiere que el razonamiento pedagógico del profesorado novato, en cuanto a la situación hipotética, la propuesta de procedimientos de enseñanza y su posterior reflexión, se apoya principalmente en el conocimiento sobre el obstáculo de aprendizaje teleológico en cuestión. Mientras tanto, el profesorado experto emplea como base para su razonamiento pedagógico el conocimiento de la evolución por selección natural. Esto indica que el razonamiento pedagógico de los profesores novatos implica poner en juego un componente del conocimiento pedagógico del contenido (CPC): las concepciones de los estudiantes, mientras que, comparativamente, los profesores expertos parecen basar su razonamiento principalmente en el conocimiento de la materia. Esta diferencia implica que el razonamiento varía entre profesores noveles y otros tipos de profesores de Biología. Este hallazgo coincide con los resultados de Pilous et al. (2023) en su estudio con profesores de matemáticas. No obstante, señalan que los profesores principiantes pueden tener menos experiencia en el razonamiento pedagógico y enfocarse más en el conocimiento práctico sobre los procedimientos de enseñanza. En nuestro estudio, compartimos esta tendencia, pero también observamos que los profesores novatos reconocen los obstáculos clásicos asociados al tópico específico de la evolución por selección natural. Es decir, reconocen la naturaleza de la enseñanza de un tópico específico, asunto que consideramos diferente de las particularidades de la Biología en general.

Esto reafirma la idea de que el razonamiento pedagógico acerca de un obstáculo de aprendizaje teleológico se apoya en el conocimiento del tópico específico que se enseña. Sugiere que las experiencias de enseñanza particulares de los tópicos-específicos pueden ser un factor más relevante que simplemente los años de experiencia en la profesión para distinguir entre profesores noveles y expertos en su razonamiento pedagógico. Dado el número de profesores con el que hemos trabajado, no podemos generalizar esta conclusión más allá de nuestra muestra.

Sin embargo, proponemos tres hipótesis interpretativas no excluyentes (podrían complementarse) al respecto:

- a) La formación inicial del profesorado puede haber incluido el OE como objeto de análisis en los últimos años, lo que podría explicar por qué los noveles logran identificarlo mejor que los profesores con más experiencias.
- b) Los programas o actividades de desarrollo profesional continuo no han abordado adecuadamente la cuestión de los OE, ya que su enfoque tiende a centrarse en asuntos pedagógicos generales, al contenido o a estrategias (Bordón et al., 2017), en lugar de explorar detenidamente problemas para el aprendizaje de contenidos específicos como el que hemos analizado.
- c) La calidad del conocimiento pedagógico sobre un contenido específico no está simplemente asociada con la experiencia general del docente, sino más bien con una experiencia específicamente relacionada con el tema en cuestión (Stender et al., 2017). En otras palabras, la mera acumulación de años de experiencia no necesariamente conduce a una mejora en el conocimiento pedagógico en relación con un contenido particular, a menos que esta experiencia esté acompañada de instancias formativas específicas relacionadas con dicho contenido.

Esto nos lleva a concluir que los espacios de discusión en la formación inicial y continua del profesorado deben prestar mayor atención a la importancia de la instrucción, representación y evaluación de un tópico en diálogo con las formas de pensar del estudiantado, siendo conscientes de que la labor del profesorado y su actividad comprometen la integración de lo personal (misión, identidad y creencias) con lo profesional (competencias y comportamientos) (Korthagen y Vasalos, 2010). Dicho esto, la discusión sobre la enseñanza vinculada a las formas de pensar del estudiantado sigue siendo relevante, sobre todo debido a la prevalencia de enfoques de enseñanza basados exclusivamente en el conocimiento disciplinar biológico en lugar de enfocarse en el conocimiento de las complejas interacciones entre esos contenidos con las concepciones de los estudiantes. Esto es especialmente relevante debido a que se ha reportado que un atributo distintivo de un profesor experto es su alto compromiso intelectual y emocional por la materia que enseña, una fuerte crítica a su práctica y un deseo continuo de mejora y aprendizaje a lo largo de su carrera (Anderson y Taner, 2023).

Esto también es consistente con las relaciones causa-efecto que los profesores experimentados suelen considerar al realizar predicciones, con un énfasis particular en el contenido relacionado con la evolución por selección natural. En el razonamiento pedagógico, se espera que los profesores conecten lo que identifican con los procedimientos de enseñanza para decidir cuál es el más adecuado según el contexto que reconocen. Para lograrlo, los profesores reflexionan sobre los aspectos positivos y negativos de una posible acción de enseñanza, profundizando en la situación para otorgarle significado (interpretación). Si los profesores expertos participantes de este estudio encuentran dificultades para anticipar las consecuencias de sus procedimientos de enseñanza en el aprendizaje, podemos concluir que el razonamiento pedagógico no solo se basa en los conocimientos especializados de la enseñanza y aprendizaje de la Biología en general o de los tópicos-específicos en particular, sino también en la capacidad para integrar este conocimiento en relación con lo percibido para comprender su esencia y actuar de manera coherente. Si esta capacidad no se manifiesta en profesores experimentados (figura 4), subrayamos la necesidad de reconsiderar estrategias de desarrollo que fomenten este aspecto del razonamiento pedagógico y, a su vez, reconocer el valor y la necesidad de que los profesores en servicio comprendan cómo piensan la enseñanza.

Al analizar la justificación de las predicciones realizadas por los diferentes tipos de profesores, se hace evidente que es un asunto difícil de determinar (figura 5). Esto nos lleva a plantear que la experiencia de razonamiento pedagógico de los profesores de este estudio es incipiente o está escasamente focalizada en establecer una relación coherente entre el marco de referencia y la práctica. A este nivel, los profesores novatos y experimentados muestran pocas diferencias, y es muy probable que cada uno de ellos haya priorizado los procedimientos de enseñanza como una respuesta práctica, que para ellos constituye un saber profesional y experiencial relevante y de fácil acceso. Esto contrasta con la capacidad de proporcionar argumentos basados en conocimiento profesional para sustentar los procedimientos y, más aún, relacionarlos con un obstáculo de aprendizaje. Esta falta de razonamientos fundamentados debe ser analizada para evitar reforzar las injustas acusaciones que con frecuencia se dirigen contra el profesorado en relación con sus capacidades profesionales. En este sentido, es relevante señalar que tanto la formación (inicial y en ejercicio) como el contexto en el que se ejerce la docencia en los países de nuestra región, caracterizado por una alta carga horaria laboral, cursos de estudiantes muy numerosos y excesivo trabajo administrativo, entre otros aspectos, no contribuyen al desarrollo de esa capacidad de razonamiento ni a su ejercicio frecuente. Cabe recordar que cuanto más estresado está un sujeto más recurre a modos de toma de decisiones poco reflexivos, «automatizadas», en lugar de a procesos más regulados conscientemente. Por otra parte, estos procesos son, justamente, los que podrían incluir el recurso consciente a conocimientos específicos y complejos, como aquellos relacionados con problemas relacionados con el aprendizaje de ciertos contenidos (Kahneman, 2012; Pozo, 2014).

Schäfer y Seidel (2015) indicaban que profesores con poca experiencia son menos hábiles para clasificar e interpretar una situación en contra de su conocimiento; sin embargo, este estudio sugiere que, en el razonamiento pedagógico, se supone el uso de un conocimiento particular y distintivo en un profesor experto o novel, siendo para los primeros el conocimiento de la materia el conocimiento central de su razonamiento, y para los segundos, noveles, el conocimiento sobre un OE, principalmente. Desde esta perspectiva, vemos que, entre el razonamiento pedagógico y el conocimiento que subyace tras aquel, se da la relación que el profesorado establece (o debería establecer) entre sus procedimientos de enseñanza y los propósitos que persigue, lo que revela la complejidad de este proceso de pensamiento que distingue a un profesor de otro (figura 7). Esto, desde nuestro punto de vista, constituye un área de investigación futura importante, ya que ayudaría a comprender con detalle lo que representa un profesor novel o experto desde la perspectiva del razonamiento pedagógico.

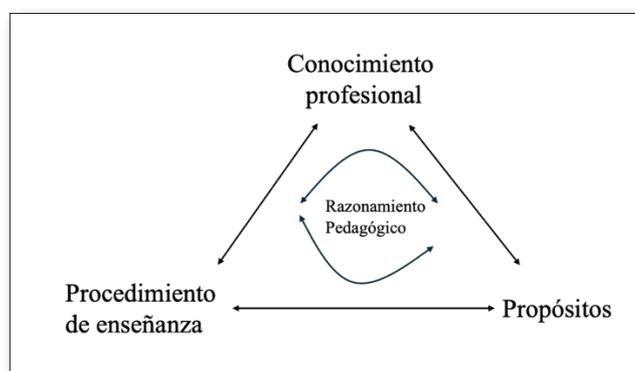


Fig. 7. Razonamiento pedagógico. Fuente: elaboración propia.

Desde una perspectiva global del papel del profesorado de Biología, donde cada participante aborda la enseñanza en función de su representación particular de la situación que enfrenta, se evidencia que el razonamiento pedagógico también implica el aspecto personal del profesorado. Por lo tanto, en ocasiones este se basa en ideas de sentido común o preocupaciones personales. Es esencial tener en cuenta que el profesorado integra su yo personal y profesional en el razonamiento. Por ende, al diseñar estrategias de aprendizaje para fortalecer el razonamiento pedagógico, resulta crucial considerar y abordar esta dualidad en su desarrollo.

## CONCLUSIÓN

Este artículo presenta un estudio sobre cómo los profesores de Biología en servicio abordan una situación de aula que involucra implícitamente uno de los principales obstáculos epistemológicos para el aprendizaje de la teoría de la evolución a través de tres procesos de razonamiento: identificar, predecir y justificar utilizando el conocimiento profesional. A partir de este estudio, concluimos que las características del razonamiento pedagógico con respecto a un OE difieren entre profesores noveles y aquellos con más experiencia, ya que los primeros tienden a ser más perceptivos que los últimos. En ese sentido, cabe destacar dos puntos relevantes: en primer lugar, es importante reconocer que los profesores noveles, a su vez, son quienes reportan más experiencia enseñando el tópico. Esto refuerza nuestra tercera hipótesis interpretativa, pues sugiere que las experiencias específicas relacionadas con la enseñanza de un tópico específico inciden en el razonamiento pedagógico y, en particular, en la habilidad para identificar obstáculos de aprendizaje. En segundo lugar, es importante tener en cuenta que esta conclusión se deriva de una muestra pequeña, por lo que es necesario ampliarla.

Además, el estudio revela que la capacidad para justificar las ideas (predicciones) no está claramente definida para ningún tipo de profesor, lo que sugiere que constituye un aspecto de la profesión que requiere un mayor desarrollo y una promoción para la construcción de prácticas de enseñanza informadas. Si consideramos el razonamiento pedagógico como la capacidad del profesorado para transformar el conocimiento disciplinario y dar sentido profundo a las acciones de enseñanza, teniendo en cuenta la naturaleza y el impacto de las comprensiones estudiantiles en el aprendizaje, entonces este proceso implica: *i*) la identificación del obstáculo a partir de premisas derivadas de los estudiantes (razonamiento como identificar) y *ii*) la propuesta de procedimientos específicos relacionados con el OE para superarlo (razonamiento decisorio). Esto se traduce en la transformación del conocimiento de la evolución por selección natural en una forma de razonamiento que promueve el conocimiento especializado necesario para enseñar un tópico específico, lo que lo convierte en una valiosa herramienta de profesionalización dentro de ese contexto.

Los análisis nos muestran que los profesores de nivel intermedio o experimentado no se diferencian significativamente de los profesores noveles, cuando se trata de un obstáculo epistemológico teleológico. Esto podría deberse a que su enfoque no se centra en el tópico específico en cuestión, sino más bien en la disciplina en general, es decir, en la Biología. Es importante tener en cuenta que, debido al tamaño reducido de la muestra, las conclusiones deben interpretarse con cautela. Esto nos lleva a plantear la idea de que el pensamiento docente sobre qué y cómo enseñar la Biología no es equivalente a pensar qué y cómo enseñar un tópico específico. Esto significa que ciertas habilidades de pensamiento, como comparar, clasificar y analizar la situación significada, no surgen necesariamente de una comprensión profunda y completa del tópico específico y su enseñanza, sino más bien de la enseñanza de la Biología en sí misma como fuente de ideas para la enseñanza del tópico, lo que representa un obstáculo para el desarrollo de prácticas informadas por parte del profesorado. Por lo tanto, un profesor o profesora de Biología puede ser etiquetado como un experto general en Biología, pero como un novato en la enseñanza de un tópico específico.

Además, este artículo sugiere que las acciones de enseñanza en el profesorado no suelen relacionarse con las formas de pensar del estudiantado. A menudo prevalece la concepción de una enseñanza centrada en conceptos clave de la disciplina, cuando el enfoque ideal sería una enseñanza centrada en conceptos clave que orienten al profesorado sobre cómo abordar un OE y otros aspectos relacionados con problemas específicos de aprendizaje. Esto implica emplear conceptos clave que cuestionen el contenido que se enseña como un proceso de razonamiento para su transformación. Sin embargo, también demuestra que el razonamiento pedagógico de algunos profesores de Biología se fundamenta en los conocimientos especializados de la enseñanza y el aprendizaje de la evolución por selección natural, específicamente en la materia y en los obstáculos de aprendizaje. Esto destaca la importancia de promover más espacios de reflexión sobre tópicos específicos que contribuyan a mejorar la comprensión docente sobre la enseñanza de aspectos particulares (el tópico). Si se logra esto, se favorecerá que un profesor o profesora convierta los procedimientos de enseñanza y sus fundamentos en un cuerpo de conocimiento coherente que sirva de base para promover un razonamiento pedagógico que articule de manera comprensible su conocimiento y su práctica.

A pesar de sus limitaciones, como el uso de una muestra pequeña de profesores de Biología en servicio, este artículo aporta un instrumento para caracterizar y analizar el pensamiento del profesorado. Además, destaca el valor del razonamiento pedagógico como una herramienta para la profesionalización docente. Este aporte no solo puede complementar, sino también guiar, otros trabajos sobre el razonamiento del profesorado de ciencias, entendido como un proceso de identificación e interpretación para tomar decisiones basadas en el conocimiento profesional, un campo que aún está en desarrollo.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID). Fondecyt 1230711 dirigido por ERM.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abraira, V. (2000). El índice de kappa. *Semergen*, 27, 247-249.
- Alonzo, A., Berry, A., y Nilsson, P. (2019). Unpacking the complexity of science teacher's PCK in action: Enacted and Personal PCK. En A. Hume, R. Cooper y A. Borowski, A. (Eds.), *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science* (pp. 273-288). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2>
- Álvarez, C. (2013). *Enseñanza y desarrollo profesional docente*. Madrid: La Muralla.
- Anderson, J. y Taner, G. (2023). Building the expert teacher prototype: A metasummary of teacher expertise studies in primary and secondary education. *Educational Research Review*, 38, 100485. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100485>
- Appleton, K. (2002). Science activities that work: Perceptions of primary school teachers. *Research in Science Education*, 32(3), 393-410.
- Astolfi, J. (2001). *Conceptos clave en la didáctica de las disciplinas*. Díada.
- Bakker, C., de Gloppe, K., y de Vries, S. (2022). Noticing as reasoning in lesson study teams in initial teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 113, 103656 <https://doi.org/10.1016/j.tate.2022.103656>
- Bakker, C., de Gloppe, K., y de Vries, S. (2024). Are we jumping into a gap? A study of the interplay between theoretical input and practical knowledge during noticing as reasoning of a lesson study team in initial teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 140, 104468. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2023.104468>
- Becerra, B., Núñez, P., Vergara, C., Santibáñez, D., Krüger, D., y Cofré, H. (2023). Developing an instrument to assess pedagogical content knowledge for Evolution. *Research in Science Education*, 53, 213-229. <https://doi.org/10.1007/s11165-022-10042-0>
- Black, P. y Plowright, D. (2010). A multi-dimensional model of reflective learning for professional development. *Reflective Practice*, 11(2), 245-258. <https://doi.org/10.1080/14623941003665810>
- Blomberg, G., Stürmer, K., y Seidel, T. (2011). How pre-service teachers observe reaching on video: Effects of viewers' teaching subjects and the subject of the video. *Teaching and Teacher Education*, 27(7), 1131-1140. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2011.04.008>
- Bordón, P., Canals, C., Rojas, S. y Serra, C. (2017). Desarrollo profesional de los docentes. En Ministerio de Educación, *Contextualización de la enseñanza en Chile. Resultados de la encuesta internacional TALIS 2013, OCDE* (pp. 49-88). MINEDUC.
- Bothelo, N. (2021). Reflection in motion: an embodied approach to reflection on practice. *Reflective Practice*, 22(2), 147-158. <https://doi.org/10.1080/14623943.2020.1860926>
- Camilloni, A. (Ed.). (2001). *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*. Gedisa.

- Choy, B., Thoma, M., y Yoon, C. (2017). The FOCUS framework: Characterising productive noticing during lesson planning, delivery and review. En E. O. Schack, M. H. Fisher, J. A. Wilhelm (Eds.), *Teacher noticing: Bridging and broadening perspectives, contexts, and frameworks* (pp. 445-466). Springer.
- Deniz, H. y Borgerding, L. (2018). *Evolution Education Around the Globe*. Springer.
- Futuyma, D. y Kirkpatrick, M. (2018). *Evolution*. Oxford University Press.
- Galaz, A., Fuentealba, R., Cornejo, J., y Padilla, A. (2011). *Estrategias reflexivas. La formación de profesores y de formadores de profesores*. LOM.
- González Galli, L. y Meinardi, E. (2015). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural en estudiantes de escuela secundaria de Argentina. *Ciencia y Educação, 21*(1), 101-122.  
<http://dx.doi.org/10.1590/1516-731320150010007>
- González Galli, L. y Meinardi, E. (2011). The Role of Teleological Thinking in Learning the Darwinian Model of Evolution. *Evolution: Education and Outreach, 4*(1), 145-152.  
<https://doi.org/10.1007/s12052-010-0272-7>
- González Galli, L., Pérez, G., y Gómez Galindo, A. (2020). The self-regulation of teleological thinking in natural selection learning. *Evolution Education & Outreach, 13*(6).  
<https://doi.org/10.1186/s12052-020-00120-0>
- González Galli, L., Pérez, G., Cupo, B., y Alegre, C. (2022). Revisión y revalorización del concepto de obstáculo epistemológico para la enseñanza de las Ciencias Naturales. *Ciência & Educação, 28*, e22040.  
<https://doi.org/10.1590/1516-731320220040>
- Greenacre, M. (2008). *La práctica del análisis de correspondencia*. Fundación BBVA.
- Ho Chan, K., Xu, L., Cooper, R., Berry, A., y van Driel, J.H. (2020). Teacher noticing in science education: do you see what I see? *Studies in Science Education*.  
<https://doi.org/10.1080/03057267.2020.1755803>
- Hughes, J., Hong, Y., Shi, Y., y Hsiao, K-H. (2020). Preservice and in-service teachers' pedagogical reasoning underlying their most-valued technology-supported instructional activities. *Journal of Computer Assisted Learning, 36*(4), 549-568.  
<http://doi.org/10.1111/jcal.12425>
- Imbernón, F. (2007). *Diez ideas clave: la formación permanente del profesorado. Nuevas ideas para formar en la innovación y el cambio*. Grao.
- Kahneman, D. (2012). *Pensar rápido, pensar despacio*. Debate.
- Kam Ho Chan, K., Xu, L., Cooper, R., Berry, A., y van Driel, J. (2021). Teacher noticing in science education: do you see what I see? *Studies in Science Education, 57*(1), 1-44.  
<https://doi.org/10.1080/03057267.2020.1755803>
- Kavanagh, S., Conrad, J., y Dagogo-Jack, S. (2020). From rote to reasoned: Examining the role of pedagogical reasoning in practice-based teacher education. *Teaching and Teacher Education, 89*, 102991.  
<https://doi.org/10.1016/j.tate.2019.102991>
- Keast, S., Panizzon, D., Mitchell, I., Loughran, J., Tham, M., y Rutherford, L. (2017). Routes into student engagement as part of the pedagogical reasoning of teachers. *Formiga/MG, 12*(2), 278-283.
- Korthagen, F. y Vasalos, A. (2010). Going to the core: deeping reflection by connecting reflection by connecting the person to the profession. En N. Lyons (Ed.), *Handbook of Reflection and Reflective inquiry: mapping a way of knowing for professional reflective inquiry* (pp. 529-552). Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-0-387-85744-2>

- Loughran, J. (2019). Pedagogical reasoning: the foundation of the professional knowledge of teaching. *Teacher and Teaching*, 25(5), 523-535.  
<http://doi.org/10.1080/13540602.2019.1633294>
- Marathe, A. y Sen, A. (2021). Empathetic reflection: reflecting with emotion. *Reflective Practice*, 22(4), 566-574.  
<https://doi.org/10.1080/14623943.2021.1927693>
- Mena, J., Hennissen, P., y Loughran, J. (2017). Developing pre-service teachers' professional knowledge of teaching: The influence of mentoring. *Teaching and Teacher Education*, 66, 47-59.  
<https://doi.org/10.1016/j.tate.2017.03.024>
- Miller, K. (2011). Situation awareness in teaching: what educators can learn from video-based research in other field. En M. Sherin, V. Jacobs y R. Phillip (eds.), *Mathematics teacher noticing: seeing through teachers' eyes* (pp. 51-65). Routledge.
- Ministerio de Educación (2021). Estándares de la profesión docente – Marco para la Buena Enseñanza. CPEIP. <https://estandaresdocentes.mineduc.cl/Categoria-p/mbe/>
- OECD (2020). TALIS 2018 Results (volumen II): *Teachers and School Leaders as Valued Professionals*, Talis, OECD Publishing, Paris.  
<https://doi.org/10.1787/19cf08df-en>
- Orgaványi-Gajdos, J. (2016). *Teachers' professional development on problem solving. Theory and practice for teachers and teacher educators*. Sense Publisher.
- Pilous, R., Leuders, T. y Rüede, C. (2023). Novice and expert teachers' use of content-related knowledge during pedagogical reasoning. *Teaching and Teacher Education*, 129, 104149.  
<https://doi.org/10.1016/j.tate.2023.104149>
- Pozo, J. (2014). *Psicología del aprendizaje humano. Adquisición de conocimiento y cambio conceptual*. Morata.
- Ravanal, E., Díaz, C., y González Galli, L. (2024). *Rúbrica analítica*. [archivo PDF] [https://figshare.com/articles/dataset/Rubrica\\_art\\_culo\\_Ravanal\\_et\\_al\\_2024\\_pdf/25587450](https://figshare.com/articles/dataset/Rubrica_art_culo_Ravanal_et_al_2024_pdf/25587450)
- Ravanal, E., López-Cortés, F., Amórtegui, E., y Joglar, C. (2021). Preocupaciones docentes y las etapas de desarrollo de profesores chilenos de Biología. *Revista de Estudios y Experiencias en Educación*, 20(42), 213-232.  
<http://dx.doi.org/10.21703/rexe.20212042ravanal13>
- Rosengren, K., Brem, S., Evans, E., y Sinatra, G. (Eds.). (2012). *Evolution Challenges: Integrating research and practice in teaching and learning about evolution*. Oxford University Press.
- Rozenszajn, R., Snapir, Z., y Machluf, Y. (2019). Professional learning and development of two groups of pre-service teachers with different scientific knowledge bases and different teaching training in the course of their studies. *Studies in Educational Evaluation*, 61, 123-137.  
<http://doi.org/10.1016/j.stueduc.2019.03.007>
- Schäfer, S. y Seidel, T. (2015). Noticing and reasoning of teaching and learning components by pre-service teachers. *Journal for Educational Research Online*, 7(2), 34-58.
- Shulman, L. (1998). Theory, Practice, and Education of Professionals. *The Elementary School Journal*, 98(5), 511-526.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15, 4-14.
- Smith, M. (2010). Current Status of Research in teaching and Learning Evolution: I. Philosophical/Epistemological Issues. *Science and Education*, 19, 523-538.  
<https://doi.org/10.1007/s11191-009-9215-5>

- Stender, A., Brückmann, M., y Neuman, K. (2017). Transformation of topic-specific professional knowledge into personal pedagogical content knowledge through lesson planning. *International Journal of Science Education*, 39(12), 1690-1714.  
<http://doi.org/10.1080/09500693.2017.1351645>
- Van Es, E. y Sherin, M. (2002). Learning to Notice: scaffolding new teachers' interpretations of classroom interaction. *Journal Technology and Teacher Education*, 10(4), 571-596. <https://www.learntechlib.org/primary/p/9171/>
- Van Velzen, J. (2015). Are students intentionally using self-reflection to improve how they learn? Conceptualizing self-induced self-reflective thinking. *Reflective Practice*, 16(4), 522-533.  
<https://doi.org/10.1080/14623943.2015.1064378>
- Zaragoza, A., Seidel, T., y Hiebert, J. (2021). Exploring preservice teachers' abilities to connect professional knowledge with lesson planning and observation. *European Journal of Teacher Education*, 47(1), 120-139.  
<https://doi.org/10.1080/02619768.2021.1996558>

---

# The Reasoning of Biology Teachers about the Teleological Epistemological Obstacle

Eduardo Ravanal Moreno  
Facultad de Educación, Universidad Santo Tomás, Chile  
luisravanal@santotomas.cl

Camila Díaz Ramírez  
Facultad de Educación, Universidad Alberto Hurtado, Chile  
camilaandread@gmail.com

Leonardo González Galli  
Consejo Nacional de Investigación Científica y Técnicas (CONICET). Buenos Aires. Argentina. Instituto de investigaciones CeFIEC. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Argentina  
leomgalli@gmail.com

Teaching science entails facing a daily uncertain and multifaceted scenario that demands professional flexibility, as well as the ability to engage in deep thought processes to understand that teaching actions are linked to underlying purposes. In this context, pedagogical reasoning is considered a professionalization tool for building grounded teaching practices. This study used a quantitative analysis to examine and characterize the pedagogical reasoning of 32 in-service Biology teachers, taking into account their teaching experience. Each participant responded to a questionnaire titled: «Teacher thinking about the teaching of the evolution of living beings», which presented a hypothetical situation that involved the epistemological obstacle (EO) of teleological learning for the topic of evolution. The choice of this specific content is based upon the fact that teleological thinking constitutes one of the main obstacles associated with learning evolutionary biology models. Therefore, the extent to which teachers manage to identify and, in some way, have in mind this obstacle is a good indicator regarding the characterization of the pedagogical thinking of Biology teachers. Based on this situation, teachers proposed teaching procedures, predictions, and justifications. Using an analytic rubric, the analysis categories were evaluated and weighted, including: identification, teaching procedures, predictions, and justification. The data obtained on pedagogical reasoning and teaching experience for each category were analyzed using a simple correspondence analysis, with the aim of exploring possible relationships between these variables. One of the findings was the tendency of teachers to justify their teaching approaches based on the specific content of evolution. Additionally, it was observed that the characteristics of pedagogical reasoning regarding the teleological learning obstacle differed between novice teachers and those with more experience. The former tended to be more perceptive than the latter, despite reporting less experience in teaching the topic. This supports our hypothesis that distinct experiences related to teaching a specific topic influence pedagogical reasoning, especially in the ability to identify teleological learning obstacles. In this work, we discuss some hypotheses that could explain these results: *a)* initial teacher training may have included the EO as an object of analysis only in recent years, *b)* continuous professional development programs have not adequately addressed the issue of EO, and *c)* the quality of pedagogical knowledge about a specific content is not simply associated with the teacher's general expertise, but rather with an experience specifically related to the subject in question. Far from offering a complete and well-founded explanation of our findings, these hypotheses rather point to future research directions to advance in the understanding of the nature of teachers' pedagogical knowledge and the factors that shape it. In summary, this study highlights the value of pedagogical reasoning as a tool for teacher professionalization, as it allows understanding the implicit personal and professional aspects that influence teachers' thinking about the teaching of biological evolution.





# Construcción de modelos sobre respuestas biológicas de seres vivos frente a estímulos externos

## Construction of Models on Living Beings' Biological Responses to External Stimuli

Nazira Píriz Giménez\*

*Profesora del Instituto de Profesores Artigas, Consejo de Formación en Educación, Administración Nacional de Educación Pública, Montevideo, Uruguay*

Lydia Galagovsky

*Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Instituto Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CEFIEC), Universidad de Buenos Aires, Argentina.*  
[lydia.galagovsky@gmail.com](mailto:lydia.galagovsky@gmail.com)

**RESUMEN** • Se presenta una experiencia didáctica sobre el fenómeno biológico de la irritabilidad de los seres vivos. La propuesta consistió en que 81 estudiantes, futuros docentes de Biología, crearan modelos *ad hoc* para interpretar las reacciones de seres vivos ficticios insertados en contextos biológicos fantásticos, tomados de dos escenas de la película Avatar\*.

Los dos objetivos fueron a) analizar las dificultades de los estudiantes durante el proceso de modelización; b) detectar las estrategias de la intervención docente que favorecieron la superación de obstáculos de aprendizaje.

Se presentan las características generales de la propuesta didáctica, ejemplos de los tres tipos principales de obstáculos epistemológicos encontrados y las estrategias docentes que contribuyeron a la superación de tales dificultades.

**PALABRAS CLAVE:** Modelizar; Irritabilidad en seres vivos; Formación docente; Modelos ficticios; Modelos científicos.

**ABSTRACT** • A didactic experience is presented concerning the biological phenomenon of irritability in living beings. The proposal consisted of 81 Biology teachers in training that create *ad hoc* models to interpret fictional living beings' reactions inserted in fantastic biological contexts, taken from two scenes from the movie Avatar\*.

The two objectives were a) to analyze the students' difficulties during the modeling process; b) to detect the teaching strategies that favored the overcoming of learning obstacles.

The general characteristics of the didactic proposal, the examples of the three main types of epistemological obstacles encountered, and the teaching strategies that contributed to overcome such difficulties are presented.

**KEYWORDS:** Modeling; Living beings' irritability; Teacher training; Fictional models; Scientific models.

\* Dulce e incansable Nazira (17/06/1968-08/03/2023), nos has dejado tu inmenso legado

Recepción: enero 2023 • Aceptación: febrero 2024 • Publicación: junio 2024

## INTRODUCCIÓN

Numerosas publicaciones refieren la importancia de que los estudiantes logren aprender modelos científicos (Izquierdo, 2005; Develaki, 2007; Sensevy et al., 2008; Galagovsky, 2011; Tamayo Alzate, 2013; Adúriz-Bravo, 2015; Gomez Galindo, 2013, 2014; Lombardi et al., 2016; Acevedo-Díaz et al., 2017; Upmeier zu Belzen et al., 2019; Oliva, 2019; Díaz Guevara et al., 2019; Machado y Levy, 2021; Garrido Espeja et al., 2022). Sin embargo, aprender ciencia no es solo repetir contenidos de modelos científicos –en tanto productos teóricos obtenidos por la ciencia–, sino también adquirir la propia actividad de generarlos (Couso et al., 2020).

Aprender a modelizar es aprender a idear marcos interpretativos que permitan desarrollar competencias tales como describir, predecir, explicar e intervenir en fenómenos apelando a sus mecanismos causales, de acuerdo con lo que ya se sabe y con la capacidad de transferir esos saberes a otros contextos (Thagard, 2010; Schwarz et al., 2009; Acher, 2014; Couso et al., 2020). Modelizar en situación de aula, por lo tanto, impone el gran desafío de generar ambientes didácticos en los cuales los estudiantes desarrollen representaciones mentales originales que articulen las competencias mencionadas, y adquieran capacidades de argumentar y comunicar dichas representaciones mentales.

Específicamente, comprender un modelo biológico requiere vincular procesos que atraviesan niveles de organización, con coherencia vertical de mecanismos no lineales, donde confluyen explicaciones físicoquímicas, acciones de moléculas a nivel bioquímico, mecanismos de señalización celular, mecanismos fisiológicos, etc. (Fröhlich, 1986; Adúriz Bravo y Revel Chion, 2019; Gómez Galindo y García Franco, 2021; Ocelli, Pomar y Gómez Galindo, 2022; Couso, 2020; Píriz et al., 2023). Sin embargo, a pesar de una enseñanza correcta, frecuentemente se ha confirmado que estudiantes de biología suelen aprender fragmentos de contenidos, desconectados entre sí (Mora Zamora, 2002; Marzábal et al., 2014; Píriz et al., 2018; Jördens et al., 2016; Umpiérrez et al., 2023; Schneeweiß y Gropengiesser, 2019; Pérez et al., 2021).

El presente trabajo es parte de una experiencia didáctica que se desarrolló en la asignatura de Biofísica para estudiantes del primer año de una carrera pública de formación docente en Biología –Profesorado de Ciencias Biológicas, en el Instituto Artigas, de Montevideo, Uruguay–, en el nivel terciario no universitario.

La propuesta didáctica amplió el tema del sistema nervioso animal –recurrentemente enseñado desde la escuela primaria (Gómez Galindo, 2014)–, incluyendo la irritabilidad como respuesta biológica de los seres vivos (Cingolani y Houssay, 2000; Cooper y Hausman, 2006; Cortés, 2013; Varela, 2010; Píriz, 2016; González Novoa, 2016). Debido a la complejidad y variedad de los mecanismos biofísicos, bioquímicos, subcelulares, celulares y fisiológicos involucrados, el tema se aborda, generalmente, en el nivel de los estudiantes de profesorado, donde se han detectado dificultades en su aprendizaje (Píriz et al., 2018; Píriz y Galagovsky, 2021; Píriz, 2022).

La propuesta didáctica se extendió por un período de diez semanas dentro de la modalidad de enseñanza virtual, durante 2020 y 2021. La experiencia fue monitoreada desde dos aspectos: por un lado, se deseaba investigar qué competencias cognitivas lograban desarrollar los estudiantes en relación con el proceso de modelización (Umpiérrez et al., 2023) y, por otro, interesaba detectar sus dificultades frente a la tarea de modelizar. El presente trabajo remite a este último aspecto.

Los objetivos del presente trabajo son a) analizar las dificultades sistemáticas de los estudiantes durante el proceso de modelización y b) detectar las estrategias de la intervención docente que favorecieron la superación de dichos obstáculos de aprendizaje.

La consigna didáctica para los estudiantes fue la de generar modelos biológicos *ad hoc* sobre dos escenas de la película Avatar<sup>®</sup>, donde se mostraban respectivos fenómenos de irritabilidad táctil en seres vivos ficticios (figuras 1 y 2). Para resolver la consigna los estudiantes debían imaginar estructuras

biológicas, sus mecanismos de funcionamiento y su intercomunicación, insertando modelos científicos validados por la ciencia en una argumentación coherente y consistente, que atravesara diferentes niveles biológicos (físicoquímico, bioquímico, fisiológico, etc.).

## **MARCO TEÓRICO SOBRE IRRITABILIDAD DE LOS SERES VIVOS FRENTE A ESTÍMULOS**

El sistema nervioso de mamíferos suele ser el tema central con el que escolarmente se enseña la irritabilidad de los seres vivos; además, la capacidad de su excitabilidad fue originariamente asociada exclusivamente a los tejidos muscular y nervioso, mediante el disparo de potenciales de acción. Actualmente, las respuestas a estímulos han sido conceptualmente ampliadas y corroboradas en diversidad de células y organismos, incluyendo plantas y seres unicelulares (Piríz, 2016).

Dentro del modelo de irritabilidad de seres vivos se destacan las respuestas eléctricas de las membranas celulares, entendidas como cambios relativamente breves en el potencial de membrana, determinados por el pasaje de iones a través de ellas. Estas respuestas pueden ser graduadas (electrotonos) o «todo o nada» (potenciales de acción) (Piríz, 2016). Las respuestas graduadas toman nombres específicos como «potencial receptor» o «potencial postsináptico» –según la célula en la que ocurran–, y tienen particular interés tanto en la transducción sensorial como en las sinapsis químicas (Kandel et al., 2001). La capacidad de generar electrotonos está presente en todas las células vivas, y sus características principales son: la conducción con decremento y la sumación en el tiempo y en el espacio, que puede alcanzar el umbral y disparar un potencial de acción.

Las respuestas «todo o nada» cobran importancia en procesos de rápida propagación hacia sitios distantes manteniendo su amplitud.

La presente propuesta plantea desafíos: porque, por un lado, Cortés Cortés (2013) y González Novoa (2016) han señalado específicamente dificultades para un aprendizaje contextualizado sobre el potencial de acción y, por otra parte, Garrido Espeja et al. (2022) han planteado que incluso docentes titulados han encontrado dificultades generales para contextualizar procesos que ocurren a nivel molecular.

## **LA ELECCIÓN DE DOS EVENTOS FICTICIOS COMO DISPARADORES PARA LA MODELIZACIÓN**

Las escenas para las cuales los estudiantes debían crear modelos interpretativos tenían 10-12 segundos de duración cada una y estaban a disposición de los estudiantes. En la escena 1, los avatares recorren un bosque de manera que al tocar o pisar en cada lugar se produce una emisión de luz (figura 1). En la escena 2 se visualizan estructuras similares a plantas que se pliegan y cierran ante el contacto físico con el avatar (figura 2).



Fig. 1. Se muestran cuatro imágenes representativas de la escena 1. Las imágenes a) y b) muestran a un avatar justo antes y después de tocar con la mano una estructura que responde generando luz. La imagen c) muestra que se enciende luz cuando el avatar pisa y la d) señala que se enciende luz cuando pisan los avatares y que tales rastros luminosos van quedando con disminución temporal de la intensidad de luz. Fuente: Avatar\*.

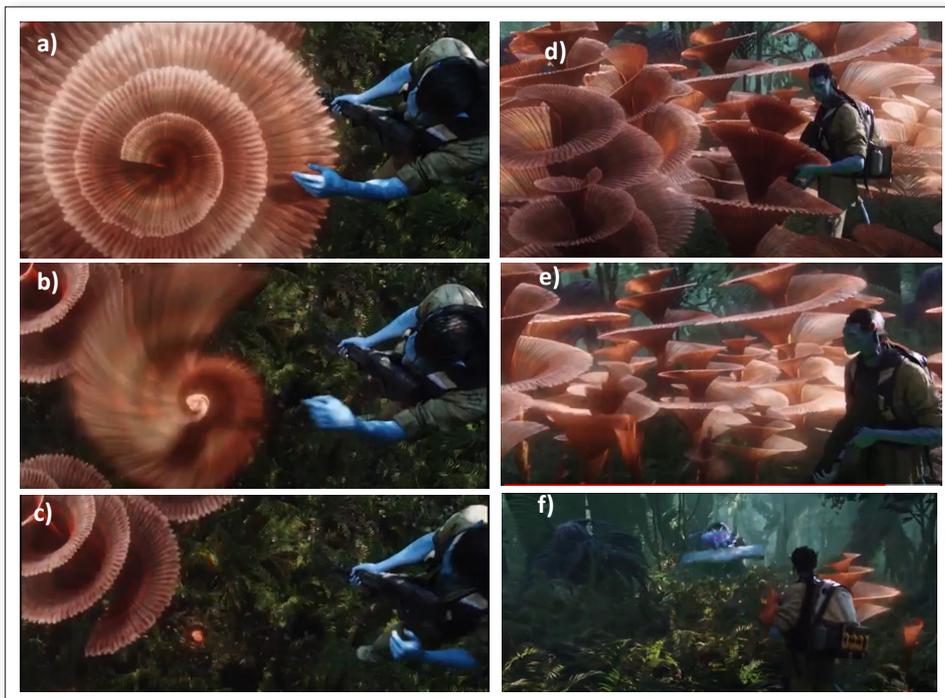


Fig. 2. Se muestran imágenes representativas de la escena 2. Las imágenes a)-c) muestran a un avatar justo antes y después de tocar una estructura que responde repliegándose sobre sí misma. Las imágenes d)-e) muestran la desaparición secuencial de estructuras reactivas más lejanas ante la repetición del estímulo a una de ellas. Fuente: Avatar\*.

En sus intentos de modelización, se esperaba que los estudiantes encontraran en referencias bibliográficas numerosos elementos teóricos, tales como estructuras y mecanismos, con explicaciones sobre modos de respuesta frente a estímulos externos para variados organismos, presentados para diferentes niveles de organización (físicoquímico, bioquímico, fisiológico, etc.) (Cooper y Hausman, 2006; Píriz, 2016). Sin embargo, dichos elementos solo podrían serles de utilidad en la medida en que ellos supieran insertarlos en un relato explicativo original, imaginado *ad hoc* para interpretar las escenas. Es decir, modelizar les demandaba a los estudiantes comprender los contenidos encontrados en la literatura y, llegado el momento, constituirlos en «evidencias» (Guillaumin, 2005) explicativas parciales dentro de un modelo explicativo completo en el que logran articular –con imaginación y creatividad– relaciones de estructura–función.

En la tabla 1 se resumen aspectos descriptivos de las escenas de Avatar\* y los correspondientes dispositivos teóricos –que se encuentran en libros e internet– que podrían integrarse como elementos explicativos de un modelo final imaginario sobre cómo responderían los respectivos seres vivos ficticiales de las escenas, ante los estímulos externos.

Tabla 1.  
Relaciones entre aspectos macroscópicos de respuestas a estímulos en las escenas ficticias elegidas y propiedades de respuestas eléctricas de membranas celulares como elementos teóricos para construir posibles modelos explicativos.

<i>Descripción de hechos ficticios macroscópicos que disparan el proceso de modelización</i>	<i>Dispositivos teóricos posibles de ser integrados como elementos explicativos en el modelo final</i>
Escena 1: La emisión de luz se inicia en el sitio de estimulación con una intensidad máxima y continúa en zonas progresivamente más alejadas con una intensidad que decae.	La amplitud en el registro de una respuesta electrofónica (graduada) se reduce a medida que esta se conduce (conducción con decremento), es decir, que decae con la distancia (Píriz, 2016; Kandel et al., 2001).
Escena 1: La repetición de un estímulo en una zona recientemente estimulada no modifica la intensidad de la luz emitida, que se mantiene intensa.	La aplicación de un segundo estímulo en una zona donde se disparó un potencial de acción no produce una nueva respuesta; propiedad denominada refractariedad, que es una de las propiedades típicas del potencial de acción (Latorre et al., 1996; Píriz, 2016; Cingolani y Houssay, 2000).
Escena 2: La aplicación de estímulos aislados genera respuestas de plegamiento aisladas, en tanto que la repetición de estímulos determina el cierre de estructuras que no fueron estimuladas (respuesta múltiple).	La aplicación de estímulos subumbrales determina la generación de respuestas electrofónicas (graduadas). La repetición de estímulos puede determinar la <i>sumación temporal</i> de dichas respuestas, alcanzando el umbral necesario para disparar un potencial de acción, el cual se propagará sin decremento a lo largo de toda la célula que recibió el estímulo, o bien en células diferentes que se comunicarían por uniones del tipo «gap» (Cingolani y Houssay, 2000; Kandel et al., 2001).

## LA PROPUESTA DIDÁCTICA

### Población involucrada

La experiencia didáctica virtual se realizó en nueve cursos anuales de la asignatura de Biofísica, durante 2020 y 2021. Esta asignatura consta de 3 horas semanales de 45 minutos cada una. Las tareas desarrolladas fueron idénticas en ambos años y los datos que aquí se exponen provienen de una selección sobre ambos períodos.

Las actividades tomaron las últimas diez semanas de cada año lectivo; las clases virtuales se desplegaron sobre la plataforma Schoology\* donde quedaron registrados todos los escritos y discusiones. La

conductora de la propuesta didáctica fue la docente titular de la asignatura. El análisis de todos los datos recogidos y documentados fue realizado en colaboración. Los aportes explícitos de los estudiantes registrados en los foros, en los documentos escritos y en las defensas orales constituyeron las unidades de análisis para dos objetivos de indagación sobre la propuesta didáctica.

Por su alta demanda en compromiso de tiempo y esfuerzo, la propuesta se planteó como optativa, dentro del segundo parcial del curso, donde se evaluaría la comprensión sobre mecanismos teóricos de respuesta de seres vivos frente a estímulos, acorde con la información presentada en los materiales bibliográficos. Iniciaron la tarea 81 estudiantes con edades comprendidas entre 18 y 40 años; la gran mayoría trabajaba y tenía responsabilidades familiares y personales diversas. Se organizaron 19 grupos con 2-3 integrantes cada uno. Si bien los grupos se mantuvieron hasta el final, fueron desgranándose algunos de sus integrantes, de tal forma que fueron 44 estudiantes quienes completaron las tareas.

### Desarrollo de la experiencia didáctica

Para el desarrollo de la consigna se plantearon tareas y momentos de discusión, pautados para trabajos sincrónicos o asincrónicos (Ruiz y Dávila, 2016; Kutugata Estrada, 2016; Fernández Oliveras et al., 2020; da Silva Machado et al., 2021; Rodríguez et al., 2021).

Los 81 estudiantes iniciales conformaron un total de 19 grupos, integrado por 2 o 3 estudiantes cada uno. Los grupos se mantuvieron hasta el final, aunque fueron desgranándose algunos de sus integrantes, de tal forma que 44 estudiantes fueron quienes completaron la tarea. El desgranamiento era previsible dado que la propuesta didáctica requería un compromiso y dedicación mayores que el estudio tradicional del tema; por lo cual la actividad no se planteó como obligatoria, sino como un complemento optativo del segundo parcial del curso.

En la plataforma Schoology® se habilitaron siete encuentros sincrónicos: uno de presentación, uno de cierre y cinco foros comunes de discusión (FC) en los que se trabajaba sobre la interpretación de dispositivos teóricos encontrados por los estudiantes en libros o internet. Cada grupo contaba con dos foros específicos asincrónicos (FE) –uno para cada escena a modelizar–. En la tabla 2 se resumen las actividades desarrolladas cada semana. En total se analizaron 76 creaciones: 38 instancias de modelización inicial (en la 4.ª semana) y 38 modelos finales (cada uno de los 19 grupos generó modelos para sendas escenas ficticias).

Tabla 2.  
Cronograma de actividades desarrolladas durante las últimas diez semanas del curso virtual anual de Biofísica, indicando encuentros sincrónicos (ES), foros específicos por grupo (FE) y foros comunes de discusión (FC).

<i>Semana</i>	<i>Actividad realizada por estudiantes</i>	<i>Tipo de actividad</i>
1	Explicación de la consigna de trabajo. Visionado de escenas de película.	ES
	Cada grupo aportó descripciones iniciales sobre las escenas.	FE
	Presentación de simulador Nerve <sup>7</sup> (Benzanilla, 1998). Interpretaciones de resultados a partir de su uso y resolución de problemas.	FC
2 y 3	Cada grupo amplió sus descripciones y propuso términos de búsqueda de información.	FE
	Continuó el uso y discusión de problemas sobre el simulador Nerve.	FC
	Cada grupo mejoró la terminología utilizada y avanzó en la propuesta de aspectos parciales de la modelización	FE

<i>Semana</i>	<i>Actividad realizada por estudiantes</i>	<i>Tipo de actividad</i>
4	Cada grupo presentó un primer esbozo de modelo explicativo.	FE
5	Resolución y discusión de situaciones problemas sobre bases moleculares del potencial de acción del axón gigante del calamar.	FC
	Discusión de situaciones problema sobre el potencial de acción.	ES
	Cada grupo recibió la devolución escrita de su primer modelo explicativo.	FE
6 y 7	Resolución de situaciones problema sobre contracción muscular.	FC
	Revisión y mejora de modelos construidos a partir de devoluciones de la docente.	FE
8 y 9	Continúan ajustes y mejoras de modelos construidos a partir de devoluciones de la docente.	FE
10	Presentación y defensa oral de modelos explicativos finales aplicados a cada contexto ficticio.	ES

Cada grupo generó dos modelos, uno para cada escena ficticia. En la 4.<sup>a</sup> semana se presentaron los modelos iniciales y en la 10.<sup>a</sup> los modelos finales. En total fueron 19 modelos, totalmente diferentes entre sí, para cada escena (38 modelos en total).

La evaluación de los estudiantes en relación con esta propuesta fue de tipo procesual, hasta llegar a modelos finales apropiados; es decir, la evaluación fue muy diferente de una tradicional (Álvarez Valdivia, 2005).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente estudio se centró sobre las dudas, errores y obstáculos transitados por los estudiantes durante sus procesos de aprender a modelizar, así como el análisis de las respectivas estrategias docentes que contribuyeron a su superación. Paralelamente a este, otro estudio utilizando categorías derivadas de un Repertorio de Competencias Científicas (RCC) (Umpiérrez, 2019) mostró que los estudiantes lograron 15 de las 27 competencias modelizadoras propuestas por el RCC (Umpiérrez et al., 2023).

Los resultados se presentan a continuación discriminados en tres fases, en consistencia con tres tipos de obstáculos epistemológicos encontrados durante el proceso de modelización. Estas fases no se corresponden con esquemas o partes de ciclos tradicionales sobre cómo indagar, argumentar o modelizar en clase (Couso et al., 2020), dado que no se esperaba arribar a un único modelo científico «final o verdadero», sino que se esperaba libertad imaginativa para articular creativamente diferentes modelos finales, utilizando informaciones sobre modelos teóricos parciales ya validados en la literatura científica.

Las tres fases se articulan con ubicaciones temporales de la propuesta didáctica (tabla 2) y fueron:

- Primeras descripciones de las escenas (semana 1, tabla 2).
- Primeras propuestas de relaciones estructura-función (semanas 2 y 3, tabla 2).
- Primeros modelos explicativos (semanas 4-9, tabla 2).

A continuación, se ejemplifica cada fase discutiendo los obstáculos epistemológicos detectados y las estrategias pertinentes dadas por la docente para orientar a los estudiantes a superar sus estancamientos en el proceso de modelización. Los ejemplos han sido seleccionados a partir de todos los datos registrados (Vasilachis, 2006; Monge Acuña, 2015), en función de sustentar cada obstáculo epistemológico; es decir, donde no tiene importancia el tamaño muestral, sino la relevancia representativa de estos.

### Primeras descripciones de las escenas

La mayoría de los relatos iniciales se focalizaron en descripciones de aspectos macroscópicos de las escenas, con utilización de un lenguaje cotidiano, poco preciso. Ejemplos de estas descripciones son: i) «Se trata de seres bioluminiscentes, los cuales se sienten invadidos, reaccionan a modo de defensa haciendo que se produzca luz»; ii) «Se transmite algo que se propaga»; iii) «Con el contacto se prenden luces en diferentes lugares»; iv) «Al contacto se produce luz o se produce movimiento»; v) «Cuando el estímulo se repite no se cierra una sola estructura, sino varias».

Las intervenciones docentes orientaron para que las descripciones involucraran variables dentro de cada par estímulo-respuesta. Por ejemplo, se hicieron preguntas sobre el tiempo entre estímulo y la reacción, sobre la intensidad, la propagación –o no–, la sincronicidad –o no– y las relaciones entre intensidades y distancias de propagación de las respuestas. En la tabla 3 se presentan cuatro ejemplos de orientaciones, con las respectivas respuestas de los estudiantes. En la columna de la derecha se presenta cómo la precisión de variables permitiría encontrar elementos teóricos correlacionables.

Tabla 3.  
Orientaciones docentes para mejorar las descripciones iniciales de las escenas y sus impactos para el posterior aprendizaje.

<i>Orientaciones docentes</i>	<i>Ejemplos de respuestas de los estudiantes</i>	<i>Elementos teóricos correlacionables</i>
Uds. plantearon que a partir del contacto físico del avatar se produce una emisión de luz. ¿Ambos eventos ocurren en el mismo lugar?, ¿veríamos la luz si esta se emitiera únicamente en el lugar donde se pisa?	«No la veríamos si fuera solo en el lugar de contacto y se parara allí... El fenómeno se produce desde la zona en donde llegó el estímulo físico al tocar o rozar alguna parte de dichas especies y se va expandiendo». «¡Ah! La respuesta es que se va expandiendo...»	Reflexionar sobre la distancia espacial y temporal entre el estímulo y la respuesta de emisión de luz, para deducir alternativas de respuestas eléctricas según la propagación (sin decremento) o conducción (con decremento) del estímulo.
Cuando un avatar pisa un tronco determina la emisión de luz. Enseguida, el segundo avatar pisa exactamente en el mismo lugar. ¿Qué ocurre con la emisión de luz?, ¿cambia la su intensidad?	«No cambió la intensidad de la luz. No sé si estará bien, pero se podría relacionar con un período refractario...».	Reconocer la no existencia de cambios en la intensidad de las respuestas ante la reiteración del estímulo permite llegar al concepto de refractariedad aplicado al disparo de potenciales de acción.
El avatar toca y la respuesta es el cierre de estructuras. ¿Cambia el tipo de respuesta a medida que se repite la estimulación?	«Ocurre una reacción en cadena de varias plantas... Podemos suponer que están conectadas entre sí, por un sistema semejante al sistema nervioso en el cuerpo humano». «Tal vez cada una de esas «plantas» sean una única célula, entonces cuando toca el avatar el estímulo no sea demasiado grande y logre solo una reacción solo local».	Reflexionar sobre la comunicación entre diversas estructuras biológicas –ficticias para estas escenas– permitirá explicar que la estimulación aplicada en una de ellas genere respuesta en otras; o bien, que se trate de una única estructura que pudiera actuar por diversos mecanismos.
¿Cómo es posible que un primer estímulo determine una respuesta aislada, y que su repetición determine una respuesta múltiple?	«Al aumentar el estímulo por repetición se logra que sea suficiente para generar un potencial de acción y que eso se expanda a las demás células...» «Hay que poder diferenciar bien las reacciones individuales de las reacciones en conjunto... pienso en que sea un proceso semejante a las sinapsis».	Buscar mecanismos que expliquen la respuesta múltiple. El caso del mecanismo de sumación se explica con la repetición del estímulo.

Estas primeras orientaciones fueron muy fructíferas: por un lado, cada grupo logró visualizar posibles articulaciones estructura-función para orientarse en búsquedas bibliográficas sobre mecanismos teóricos que abordaran tales cuestiones (Piríz y Galagovsky, 2021). Por otro lado, se facilitaron ajustes en el vocabulario (Almeida et al., 2021), ya que fue necesario, por ejemplo, diferenciar entre los términos «irritabilidad» o «excitabilidad», «estímulo» o «impulso», «tacto» o «estímulo mecánico» (Latorre et al., 1996; Kandel et al., 2001; Piríz, 2016).

Estos hechos configuran un primer obstáculo epistemológico detectado, constituido por una descripción ingenua, superficial, de las situaciones biológicas mostradas en las escenas disparadoras. La orientación docente impulsó a los estudiantes a profundizar en la observación de las escenas, de tal forma que se identificaran posibles variables dentro de cada fenómeno; es decir, se les solicitaba imaginación para discriminar y nombrar componentes desconocidos de un fenómeno biológico ficticio. Un indicador indirecto de este obstáculo podría ser el hecho de que 37 de los 81 estudiantes que iniciaron el proceso se desgranaron en esta etapa.

### **Primeras propuestas de relaciones estructura-función**

Si bien los seres vivos ficticios de las escenas fueron, en general, considerados por los diferentes grupos como plantas, algas o microorganismos, las informaciones traídas desde la bibliografía a los primeros FE sobre estructuras teóricas de reactividad biológica frente a estímulos estuvieron fuertemente sesgadas hacia elementos del sistema nervioso animal, formado por neuronas, sinapsis y neurotransmisores. Las orientaciones docentes sugirieron incluir la irritabilidad de otros seres vivos.

Tras nuevas búsquedas bibliográficas, los estudiantes pudieron recoger e interpretar información ampliada sobre conceptos tales como sensor, receptor sensorial, mecanorreceptor, termorreceptor, feromonas, turgencia, plasmólisis, luciferina, luciferasa, electrotono, conducción, sumación, potencial de acción, propagación, refractariedad, entre otros. Si bien estas informaciones enriquecieron la variedad de los nuevos modelos incipientes, fueron insertadas como bloques aislados, desarticulados.

Esta situación fue evidencia de un segundo obstáculo epistemológico que consistía en la tendencia de exponer acríticamente información encontrada en literatura científica sobre relaciones estructura-función, manteniendo su funcionalidad teórica original. Es decir, los estudiantes tendían a presentar explicaciones teóricas fragmentadas, descontextualizadas, no correlacionadas con el caso ficticio. La orientación docente estimuló a los estudiantes a establecer inserciones imaginativas adaptadas a las situaciones ficticias.

### **Primeros modelos explicativos (semanas 4-9, tabla 2)**

Durante la semana 4 cada grupo hizo la entrega de su primer modelo a través de una tarea en la plataforma Schoology®.

Los primeros modelos presentados aún persistían en incluir fracciones teóricas tomadas de bibliografía insertadas como partes aisladas, sin total articulación con argumentos que describieran mecanismos desde el estímulo inicial hasta la respuesta final, para cada escena ficticia. Las indicaciones docentes orientaron sobre la necesidad de hacer precisiones entre elementos estructurales y sus relaciones con: a) la detección de estímulos; b) la comunicación intercelular; c) la propagación de información; d) los mecanismos bioquímicos elegidos para las respuestas. Con cada grupo la docente promovió aquellas reflexiones específicas que incidían en la organización de un relato modelizado descriptivo-argumentativo; es decir, se estimularon habilidades cognitivas esperables en el pasaje de un estudiante novato a uno experto (Lyon, 2015). Así mismo, las orientaciones docentes señalaron para cada grupo la conveniencia de expresar sus modelos utilizando diferentes lenguajes (gráfico, verbal, de fórmulas químicas, etc.) (Buckley, 2000; Treagust y Tsui, 2013; Gómez Galindo et al, 2017; Ocelli et al., 2022).

El tercer obstáculo epistemológico fue, por lo tanto, la dificultad de integrar un modelo explicativo-argumentativo que atravesara todos los niveles biológicos y que se expresara en múltiples lenguajes para optimizar su comunicación. Haber utilizado escenas ficticias como disparadores fue un punto clave del diseño didáctico porque ponía en evidencia que el aprendizaje aislado de elementos teóricos encontrados en la literatura científica no resultaba suficiente para cumplir la consigna de modelizar.

A continuación se presentan tres ejemplos de modelos iniciales y las respectivas indicaciones docentes para mejorarlos:

**Ejemplo 1: Necesidad de precisar la comunicación bioquímica o biológica entre componentes estructurales**

Para la modelización de la escena 1, un grupo presentó la figura 3, acompañada por el siguiente texto: «El proceso de «recepción sensorial» en los seres vivos, inicia lo que se denomina la «transducción sensorial», que consiste en la generación de una respuesta eléctrica (potencial receptor), de manera que el potencial de membrana ( $V_m$ ) se modifica por el pasaje de iones a través de la membrana celular». El escrito era la copia idéntica de un párrafo de un texto educativo utilizado como bibliografía del curso.

En la figura 3 el grupo indicaba con flechas rojas una secuencia desde el estímulo hasta la respuesta de luminiscencia. En el sector superior izquierdo se representa con forma de sombrero la estructura macroscópica sensible, nombrando la existencia de «células nerviosas y glandulares» como receptores ubicados en su superficie. En el sector derecho se presentaba un oportuno canal iónico mecanosensible, a modo de sensor del estímulo, que vincula mediante un electrotono (potencial receptor) con un tipo de «célula glandular fotoluciferina», que desencadenaría la respuesta de producción de luz. En el sector inferior izquierdo se presentaba un esquema de la reacción de luminiscencia. Excepto la imagen del sombrero, las restantes fueron tomadas de la web y ensambladas *ad hoc*.

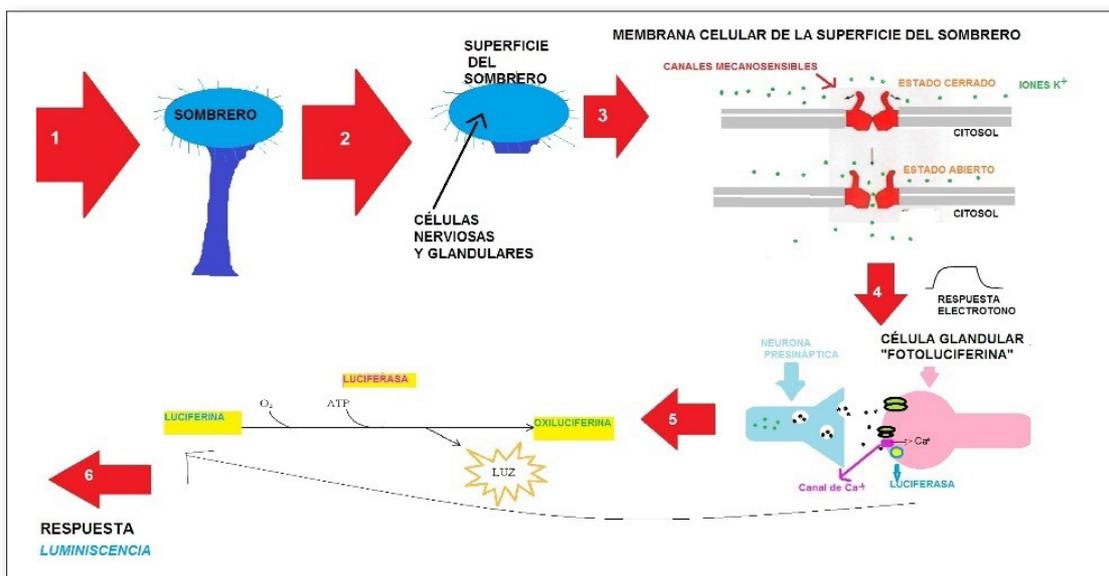


Fig. 3. Dibujo elaborado por un grupo para ilustrar su modelo inicial asociado a la escena 1.

La orientación docente señaló la necesidad de una mejora explicativa en cada asociación estructura-respuesta, involucrando las comunicaciones entre los diversos niveles de organización biológica (moléculas, organelos, células, tejidos, órganos), que estaban representadas en el dibujo por las flechas

rojas. Por ejemplo, se señaló que faltaba aclarar entre qué células ocurría la sinapsis, y que la inclusión de la representación de una reacción de luciferina-luciferasa no era suficiente como relato modelizado, pues no daba cuenta de por qué la emisión de luz no se daba en forma permanente si el oxígeno y los cofactores requeridos estuvieran presentes en el medio bioquímico de la reacción.

**Ejemplo 2: Necesidad de incorporar mecanismos de articulación desde el estímulo inicial**

En las respuestas que refieren al cierre de estructuras en la escena 2, el mecanismo mayoritariamente propuesto fue el de plasmólisis (Varela, 2010; Piríz et al., 2019), similar al que ocurre en plantas como la *Mimosa pudica*. Otros grupos explicaron el mecanismo por un proceso contráctil que involucra al citoesqueleto (Cingolani y Houssay, 2000; Cooper, 2006; Piríz, 2016), o una combinación de estos mecanismos.

La figura 4 fue presentada por un grupo que propuso un modelo de plasmólisis. En ella se incorporaban estructuras tales como pulvínulos y vacuolas, para explicar la pérdida de turgencia en las respuestas macroscópicas de las plantas ficticias.

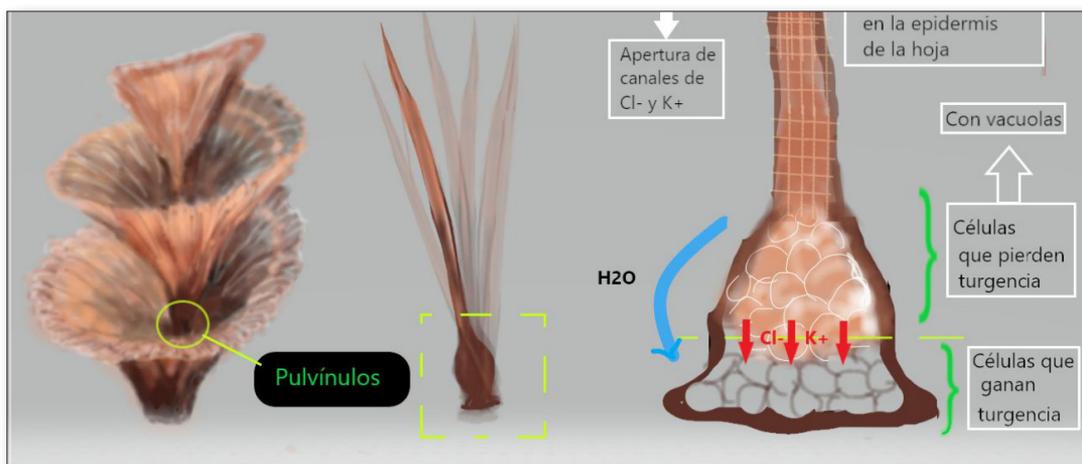


Fig. 4. Modelo inicial de un grupo que explicaba el plegamiento y cierre de las estructuras ficticias de la escena 2 mediante la rápida pérdida de agua, mediada por gradientes osmóticos a través de los pulvínulos.

Este grupo puso en evidencia cómo los estudiantes pudieron indagar en literatura procesos similares en seres vivos reales, para luego adaptarlos a la explicación de la escena 2. Las orientaciones docentes hicieron notar que faltaba explicar con qué estructuras y cómo se detectaría el estímulo macroscópico que luego desencadenaría las respuestas.

**Ejemplo 3: Necesidad de incorporar mecanismos para la comunicación entre diversos tipos de células**

En la figura 5 se presenta el dibujo elaborado por un grupo que incorporó para la escena 2 una posible «fitoneurona» intraestolón, que permitía la comunicación entre diversas células, habilitando una respuesta múltiple.

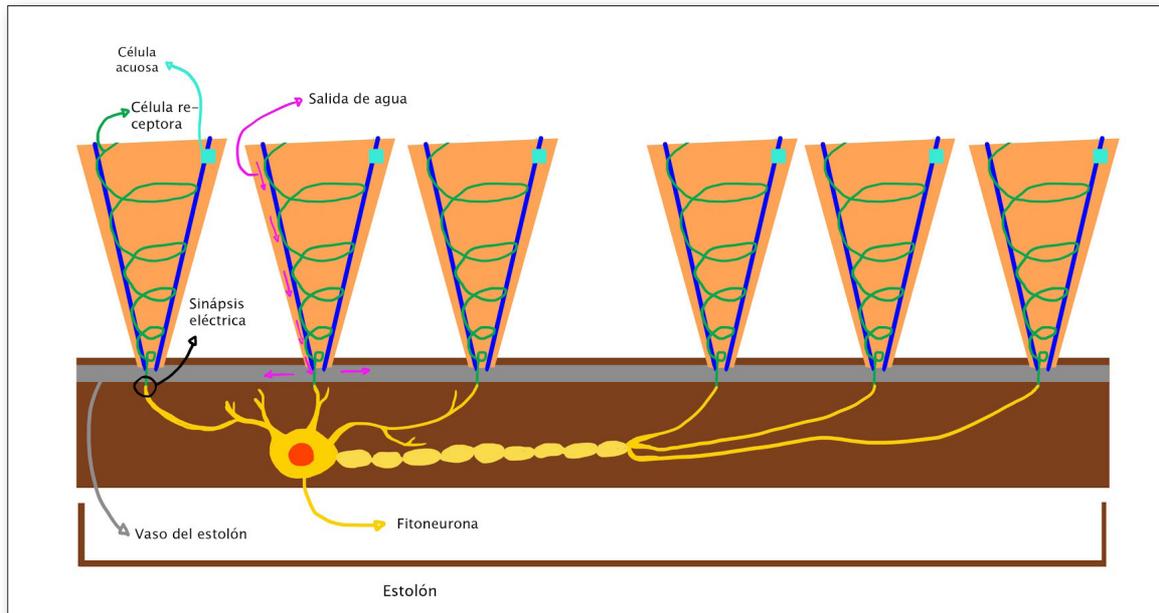


Fig. 5. Modelo para la escena 2 que incluye una «fitoneurona» intraestolón, como ajuste adaptativo para explicar la rápida comunicación entre diferentes células macroscópicas.

La incorporación de una sinapsis eléctrica al modelo constituía un elemento ficticio valioso, ya que permitía explicar tanto la conducción de un electrotono con una respuesta de plegamiento única, como la propagación de un potencial de acción con un plegamiento múltiple. Las orientaciones docentes estuvieron focalizadas en la necesidad de detallar los mecanismos celulares y moleculares implicados tanto en la recepción del estímulo como en el disparo de la respuesta, para lograr completar el modelo.

## MODELOS FINALES

Dada la variedad y extensión de los 38 modelos finales producidos, a continuación se presentan solo dos representaciones parciales incluidas en modelos finales completos, a fin de ilustrar dispositivos creados *ad hoc*, que expresaban correctamente relaciones estructura-función imaginarias para la comunicación entre niveles biológicos.

La figura 6 ilustra la parte inicial de un modelo completo para la escena 1 donde con textos y dibujos se explicaba cómo inicialmente células receptoras sensibles a estímulos mecánicos disparaban potenciales de acción que eran, a su vez, los desencadenantes de la liberación de transmisores a una «hendidura» que separaría dicha célula de la célula luminiscente; es decir, se describen tres niveles biológicos con sus interacciones (macroscópico, celular y bioquímico). A la izquierda de la figura 6 se muestra el sistema macroscópico; en el centro se representa la interacción entre dos tipos de células: una mecanoreceptora y otra emisora de luz, mecanismo que se amplía a la derecha, precisando esa interacción como proceso bioquímico que desencadena la emisión de luz.

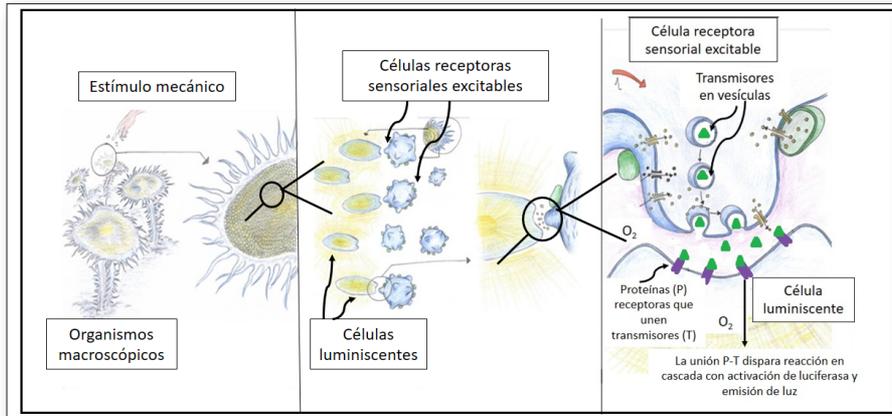


Fig. 6. Parte de un modelo final posible para la escena 1 donde se articulan tres niveles de interacción biológica: un inicio en una célula mecanorreceptora, una célula luminiscente y la descripción bioquímica de un posible mecanismo de comunicación entre ambas.

La figura 7 ilustra parte de un modelo completo generado para interpretar la escena 2. Este grupo ya había propuesto que las estructuras aéreas visibles podrían formar parte de un ser vivo que se comunicara por una estructura subterránea (estolón). En la parte izquierda de la figura 7 se representan gráficamente relaciones causa-efecto entre estímulos repetidos con intervalos de 30 o de 2 segundos, respectivamente, y la respuesta de cierre de una o más estructuras comunicadas bajo tierra. A su vez, en la parte derecha de la figura 7 se muestra una simulación realizada con Nerve<sup>®</sup>. En las explicaciones, el grupo destacó que, por un lado, el caso de dos estímulos separados por 30 segundos –respuestas graduadas separadas– desencadenaría el cierre repetido de una única estructura, lo cual se correspondería a las imágenes a)-c) de la figura 2. Por otro lado, el caso de estímulos separados por 2 segundos determinaría una suma temporal con disparo de un potencial de acción que, al propagarse sin decremento por el espolón, produciría el cierre de múltiples estructuras. Esta secuencia se correspondería con las imágenes d)-e) de la figura 2.

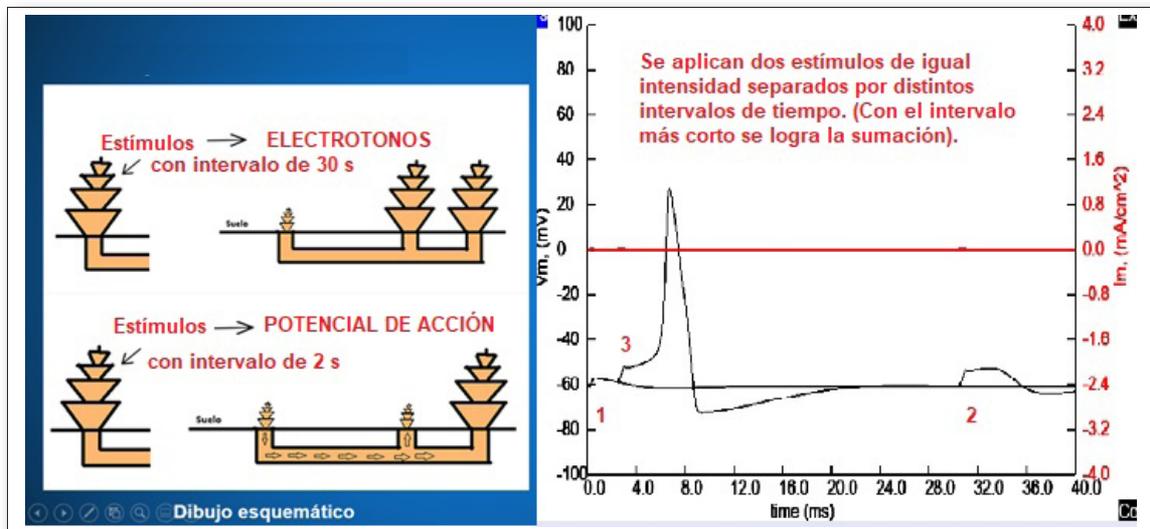


Fig. 7. Parte de un modelo final para la escena 2 donde se vinculan alternativas de respuestas graduadas o «todo o nada» en los mecanismos implicados en el cierre de las estructuras ficticias. A la derecha se incluye un gráfico proveniente del simulador Nerve<sup>®</sup>.

Para cada grupo, arribar a su modelo final requirió vencer dificultades durante el proceso de modelización. Esos obstáculos epistemológicos se resumen en la figura 8, conjuntamente con las estrategias didácticas que estimularon pensamientos reflexivos para su superación.

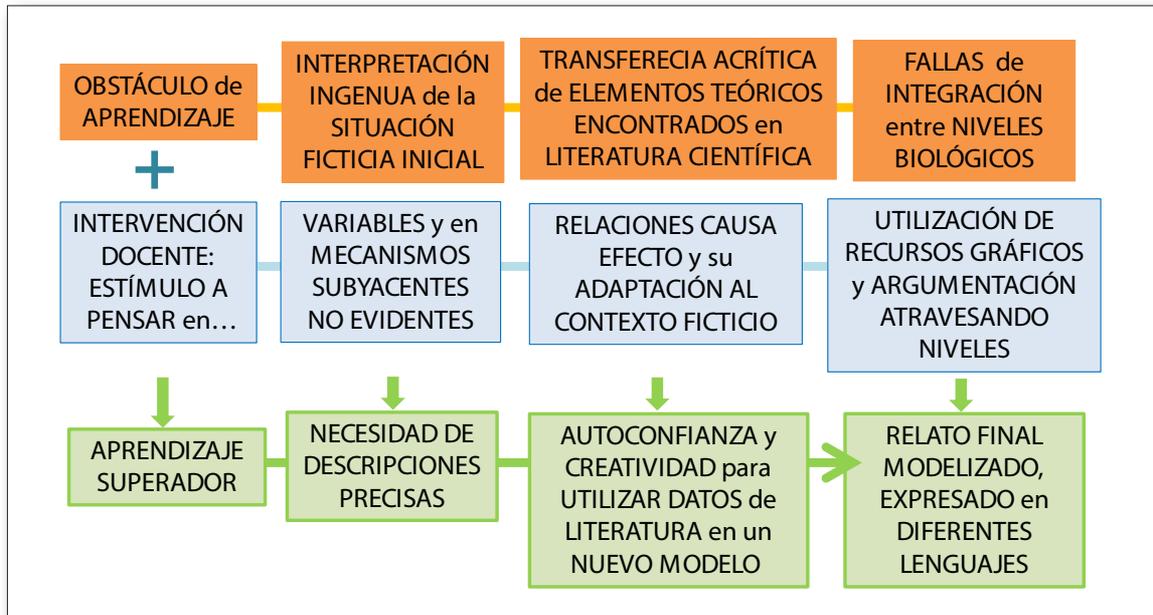


Fig. 8. Tres obstáculos de aprendizaje detectados durante el proceso de modelización y las respectivas orientaciones didácticas para superarlos.

## CONSIDERACIONES FINALES

La modelización aporta autenticidad a la enseñanza de ciencias naturales, en cuanto que se permite que los estudiantes participen en prácticas que muestren a la ciencia como una actividad centrada en la generación de nuevo conocimiento, en lugar de como un cuerpo de conocimientos acabados (Couso, 2020). Este escenario se hace imprescindible para el nivel del profesorado (Amador-Rodríguez et al., 2023).

Sin embargo, la actividad de modelización no es frecuentemente abordada desde la investigación didáctica. Por ejemplo, Schwarz et al. (2009) han señalado que los docentes suelen asociar los modelos científicos solo con explicaciones de contenidos específicos para ser enseñados, sin considerar la importancia de la acción de modelizar. Así mismo, estos autores han relevado la escasez de materiales didácticos que sostengan el uso de modelización en el aula, y la consecuente falta de experiencia al respecto que suelen tener los docentes, lo que significa que desconocen cómo ayudar a los estudiantes a modelizar (Píríz et al., 2023).

El presente trabajo es un aporte innovador sobre el proceso didáctico de modelización, aplicada al contenido de la irritabilidad de los seres vivos, y realizado con estudiantes de profesorado de Biología. Tras haber publicado competencias desarrolladas por los estudiantes en sus intentos de modelización (Píríz et al., 2023), se presentan aquí las dificultades sistemáticas con las que ellos se enfrentaron, así como las estrategias de las intervenciones docentes específicas que los ayudaron a la superación de obstáculos epistemológicos.

Más allá de las dificultades de cada grupo, la clase final de presentación de todos los modelos finales (tabla 2) permitió a los estudiantes valorar la creatividad y el ingenio de sus compañeros. Desde la pers-

pectiva docente, se destaca que la propuesta logró la toma de conciencia sobre tres aspectos respecto de la naturaleza de la ciencia: por un lado, poder cuestionar aquella visión positivista que pregona la existencia única de una ciencia objetiva, lineal y secuencial, que se dirige asertivamente hacia el descubrimiento de verdades (Galagovsky, 2011; Amador Rodríguez et al., 2023). Es decir, aquel estudiante que pudo haber construido previamente la idea de que la observación-descripción de fenómenos es siempre objetiva y «ateórica», pudo vivenciar la necesidad de hacerse nuevas preguntas e inventar respuestas apropiadas –una actitud subjetiva, reflexiva y creativa– para poder avanzar en la modelización. Por otra parte, que es posible recrear en los estudiantes un sentimiento de satisfacción semejante al que atraviesan los científicos en su actividad; es decir, la propuesta didáctica resultó una recreación escolarizada de «hacer ciencia». La perspectiva de los estudiantes se puso en evidencia en sus respuestas a un cuestionario voluntario, que fue solicitado tras finalizar el año lectivo y contestado por 24 de los 44 estudiantes que entregaron los modelos finales. Dicha encuesta consistía en un formulario de Google con dos partes. La parte estructurada era de elección de palabras en relación con aspectos tales como el de trabajar a partir de las escenas ficticias, el tener que buscar información científica autónomamente para elaborar un modelo, el trabajo en pequeños grupos, el escuchar modelos de otros compañeros. En ella, el 87,5 % de los estudiantes eligieron solo términos de connotación positiva, y el 25 % agregaron palabras tales como «difícil», o «complicado» para algún ítem. La segunda parte del cuestionario solicitaba sus opiniones en formato no estructurado: todas las opiniones fueron muy positivas, enfatizando la importancia de vivenciar este tipo de experiencias didácticas innovadoras como forma de incorporar ideas para sus futuras prácticas docentes. A modo de ejemplo citamos algunas de esas opiniones: «si hay algo que admiro es la capacidad de jamás dar una respuesta y siempre lograr que lleguemos a ella»; «me encantó la propuesta. Al principio me pareció compleja y después empezó a tomar forma y me entusiasme muchísimo»; «fue una experiencia nueva e inolvidable, buenísima para tenerla en cuenta, por momentos complicada y entretenida»; «la propuesta me pareció muy interesante, distinta, difícil sí, pero muy productiva». Es decir, los estudiantes que respondieron la encuesta valoraron positivamente la propuesta, más allá de las dificultades que debieron sortear.

El aporte del presente trabajo es mostrar la importancia de una articulación efectiva entre las capacidades de los estudiantes para animarse a generar un modelo creativo y la necesaria orientación docente específica que –sin dar las respuestas– encauza con preguntas y alienta a superar obstáculos de aprendizaje, en la difícil tarea global de modelizar. Este punto resulta importante por tratarse de estudiantes que serán futuros profesionales de la educación y que, necesariamente, podrán dar nuevo sentido al concepto de creatividad humana, en épocas de pleno desarrollo de la inteligencia artificial (Quiroga, 2023).

## 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, 155-166.  
<https://doi.org/10.14483/23448350.12288>
- Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné, episteme y didaxis*, 36, 63-76.  
<https://doi.org/10.17227/01213814.36ted63.75>.
- Adúriz Bravo, A. (2015). Pensamiento «basado en modelos» en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista del Instituto de Investigaciones en Educación*, 6 (año 6), 1-65.  
<https://doi.org/10.30972/riie.063680> .

- Adúriz Bravo, A. y Revel Chion, A. (2019). Modelización y argumentación en la enseñanza de las ciencias experimentales. *Didacticae*, 5, 3-6. Monográfico. DOI: 10.1344/did.2019.5.3-6
- Almeida, S. A; Aguiar, O. G y Caixeta de Castro Lima, M. E. (2021). A língua absolvida: as palavras das crianças nas aulas de ciencias. *Ciência & Educação*, 27, e21040.  
<https://doi.org/10.1590/1516-731320210040>
- Álvarez Valdivia, I. (2005). Evaluación como situación de aprendizaje o evaluación auténtica. *Perspectiva Educacional, Formación de Profesores*, 45, 4568. <https://www.redalyc.org/pdf/3333/333329100004.pdf>
- Amador-Rodríguez, R., Valencia Cobo, J. A., Lozano, E., Flórez Nisperuza, E. P. y Adúriz-Bravo, A. (2023). Visiones sobre la naturaleza de la ciencia en docentes: Pistas para pensar cambios en su formación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(1).  
[https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2023.v20.i1.160](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i1.160)
- Benzanilla, F. (1998). Simulador Nerve, recuperado en enero de 2023. <http://nerve.bsd.uchicago.edu/>.
- Buckley, B. (2000). Interactive multimedia and model-based learning in Biology. *Int. J. of Science Education*, 22(9), 895-935.  
<https://doi.org/10.1080/095006900416848>
- Cingolani, H. E. y Houssay, A. B. (2000). *Fisiología humana*. 7.ª edición. El Ateneo: Buenos Aires.
- Cooper, G. M. y Hausman, R. E. (2006). *La Célula*. 3.ª edición.
- Cortés Cortés, M. E. (2013). *Módulo de autoaprendizaje del potencial de acción para estudiantes de Ciencias biomédicas y profesores de Química y Biología* [Tesis de grado, Universidad de Santiago de Chile]. [Modulo-de-autoaprendizaje-del-potencial-de-accion-para-estudiantes-de-ciencias-biomedicas-y-profesores-de-quimica-y-biologia.pdf](https://www.researchgate.net/publication/312544447-Modulo-de-autoaprendizaje-del-potencial-de-accion-para-estudiantes-de-ciencias-biomedicas-y-profesores-de-quimica-y-biologia) (researchgate.net)
- Develaki I. M. (2007). The model based view of scientific theories and the structure of school science programmes. *Science & Education*, 16, 725-749.
- Díaz Guevara, C. A., Garay, F. R. G., Paz, J. D. A. y Adúriz-Bravo, A. (2019). Los modelos y la modelización científica y sus aportes a la enseñanza de la periodicidad química en la formación inicial del profesorado. *Didacticae: Revista de Investigación en Didácticas Específicas*, 5, 7-25.
- Fernández Oliveras, P., Rodríguez Ponce, M. D. C. y Fernández Oliveras, A. (2020). Modelo semipresencial para la formación universitaria: aplicación a titulaciones técnicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 38(3), 179-197. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3300>
- Fröhlich, H. (1986). Coherent Excitation in Active Biological Systems. En: Gutmann, F., Keyzer, H. (Eds.), *Modern Bioelectrochemistry*. Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2105-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2105-7_8)
- Galagovsky, L. (Dir.). (2011). *Didáctica de las ciencias naturales. El caso de los modelos científicos*. Lugar Editorial.
- Garófalo, J., Galagovsky, L. y Alonso, M. (2014). Nueva propuesta teórica sobre obstáculos epistemológicos de aprendizaje. El caso del metabolismo de los carbohidratos. *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 155-171.
- Garrido Espeja, A., Soto Alvarado, M. S. y Couso Lagarón, D. (2022). Formación inicial de docentes de ciencia: posibles aportes y tensiones de la modelización. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(1), 87-105.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3286>
- Gómez Galindo, A. A. (2013). Explicaciones narrativas integradas y modelización en la enseñanza de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 11-28.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n1.733>
- Gómez Galindo, A. A. y García Franco, A. (2021). La modelización en una educación científica culturalmente relevante. *Bio-grafía*, Número extraordinario *Memorias del V Congreso Latinoamericano de Investigación en Didáctica de las Ciencias*. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/bio-grafia/article/view/15676>

- Gómez-Galindo, A. A., Pérez, G. y González-Galli, L. (2017). ¿Qué aportan los dibujos a la comprensión de los significados de las explicaciones de los estudiantes en biología evolutiva? *X Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/337617>.
- Gomez, Galindo, A. A. (2014). Progresión del aprendizaje basado en modelos: la enseñanza y el aprendizaje del sistema nervioso. *Bio-grafía*, 7(13), 101-107. <https://doi.org/10.17227/20271034.vol.7num.13bio-grafia101-107>
- González Novoa, M. A. (2016). *El impulso nervioso como problema de conocimiento* (tesis de Maestría). Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá, Colombia. Recuperado en Enero 2023 de <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/335/TO-19943.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guillaumin, G. (2005). *El surgimiento de la noción de evidencia*. UNAM.
- Izquierdo, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las Ciencias*, 23(1), 111-122. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3861>
- Jördens, J, Ashhoff, R., Kullmann, H. y Hammann, M. (2016) Providing vertical coherence in explanations and promoting reasoning across levels of biological organization when teaching evolution. *Int. J. of Science Education*, 38(6): 1-33. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1174790>
- Kandel, E., Jessel, T. y Schwartz, J. (2001). *Principios de Neurociencia*. Editorial Mcgraw-hill.
- Kutugata Estrada, A. (2016). Foros de discusión: herramienta para incrementar el pensamiento crítico en educación superior. *Apertura*, 8(2), 84-99. <https://doi.org/10.32870/ap.v8n2.887>
- Latorre, R., López-Barneo, J., Bezanilla, F. y R. Llinás (Eds.) (1996). *Biofísica y fisiología celular*. Universidad de Sevilla.
- Lombardi, O., Acorinti, H. y Martínez, J. C. (2016). Modelos científicos: el problema de la representación. *Scientia Zudia*, 14(1), 151-74. <https://doi.org/10.1590/S1678-31662016000100008>
- Lyon, L. J. (2015) Development of teaching expertise viewed through the Dreyfus model of skill acquisition. *J. of the Scholarship of Teaching and Learning*, 15(1), 88-105. <https://doi.org/10.14434/josotl.v15i1.12866>
- Machado, J; Levy Pestana Fernandes, B. (2021). Concepções de Modelo na Pesquisa em Educação em Ciências: características e tendências. *Ciência & Educação*, 27, e21014. <https://doi.org/10.1590/1516-731320210014>
- Marzábal, A., Merino, C. y Rocha, A. (2014). El obstáculo epistemológico como objeto de reflexión para la activación del cambio didáctico en docentes de ciencias en ejercicio. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 9(1), 70-83.
- Monge Acuña (2015). La codificación en el método de investigación de la grounded theory o teoría fundamentada. *Innovaciones educativas*, 17(22), 77-84. <https://doi.org/10.22458/ie.v17i22.1100>
- Mora Zamora, A. (2002). Obstáculos epistemológicos que afectan el proceso de construcción de conceptos del área de ciencias en niños de edad escolar. *Inter Sedes*, III. (5-2002), 75-89. <https://www.redalyc.org/pdf/666/66630507.pdf>
- Ocelli, M., Pomar, S. y Gómez Galindo, A. A. (2022). Modelizar y construir representaciones externas sobre síntesis de proteínas: un estudio de diseño en la escuela secundaria. *Didáctica de las Ciencias Naturales y Sociales*, 42, 119-136. <https://doi.org/10723/DCES.42.20945>

- 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.
- Perez, G., Gómez Galindo, A. A. y Gonzalez Galli, L. (2021). La regulación de los obstáculos epistemológicos en el aprendizaje de la evolución. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 27-44. <https://enciencias.uab.cat/article/view/v39-n1-perez-gomez-gonzalez>
- Píriz Giménez, N. (2016). Biofísica para la formación del profesorado. Ediciones Ciencia. Biofísica para la formación del Profesorado (cfe.edu.uy).
- Píriz Giménez, N. (2022) ¿Es posible una enseñanza contextualizada del potencial de acción, sin ahondar en sus bases moleculares? *Bio-grafía. Escritos sobre Biología y su enseñanza*, 28, 1-12.
- Píriz Giménez, N., López Larrama, M. N. y Tucci, J. (Coord.) (2023). *Enseñanza de las Ciencias desde Aulas Creativas*. Consejo de Formación en Educación. Agencia Nacional de Educación Pública, Uruguay. [https://www.cfe.edu.uy/images/stories/pdfs/publicaciones/2023/aulas\\_creativas/enseanza\\_ciencias\\_desde\\_aulas\\_creativas.pdf](https://www.cfe.edu.uy/images/stories/pdfs/publicaciones/2023/aulas_creativas/enseanza_ciencias_desde_aulas_creativas.pdf)
- Píriz Giménez, N., López Larrama, M. N., Tucci, J., Cantero Charpentier, J. y Mallarini Ucha, V. (2019). Tonicidad: ¿una propiedad de las soluciones y/o de las células? Aprendizaje sustentable del transporte de agua. *Bio-grafía escritos sobre la biología y su enseñanza*, 12(22), 23-32. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.11.num22-8587>
- Píriz Giménez, N., Tucci, J. y López Larrama, M. N. (2018). La importancia cualitativa de los números en la enseñanza de la Biología. Aprendizaje sustentable del potencial de acción. *Química viva*, 3, 1-5.
- Píriz Giménez, N. y Galagovsky, L. (2021). ¿Es posible «hacer ciencia» en foros de aprendizaje? Modelización de respuestas a estímulos en seres vivos, por estudiantes de profesorado. En actas electrónicas del *XI Congreso Internacional en Investigación en Didáctica de las Ciencias* (1003-1007). <http://repositorio.cfe.edu.uy/handle/123456789/1520>
- Quiroga, C. (2023). Rebeca Hwang: la especialista en futuro respondió 16 preguntas clave para entender el futuro. <https://www.lanacion.com.ar/salud/rebeca-hwang-la-especialista-en-futuro-responde-15-preguntas-clave-para-entender-el-futuro-nid28062023/>
- Rodríguez Malebrán, M. E., Quintanilla-Gatica, M. R. y Manzanilla, M. A. (2021). Actitudes de los Profesores de Ciencias Naturales y Ciencias Sociales hacia la Enseñanza de Competencias de Consulta en Línea y sus Factores de Fondo en el Uso del Internet. *Ciência & Educação*, 27, e21008. <https://doi.org/10.1590/1516-731320210008>
- Ruiz Bolívar, C. y Dávila, A. A. (2016). Propuesta de buenas prácticas de educación virtual en el contexto universitario. *Revista de Educación a Distancia*, 49, 1-21. <https://doi.org/10.6018/red/49/12>
- Schneeweiß, N., Gropengiesser, H. (2019). Organising Levels of Organisation for Biology Education: A Systematic Review of Literature. *Educ. Sci.*, 9(3), 207. <https://doi.org/10.3390/educsci9030207>
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *J. of Research in Science Teaching*, 46, 632-654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laubé, S. y Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling: Cases studies and implications for science teaching. *Sci. Educ.*, 92(3), 424-446.
- Silva Machado, E. da, Mello Arruda, S. de y Meneghello Passos, M. (2021). Caracterização da Aprendizagem da Cibercultura na Educação a Distância. *Ciência & Educação*, 27, e21013. <https://doi.org/10.1590/1516-731320210013>
- Tamayo Alzate, O. (2013). Modelos y modelización en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 3484-3487. <https://ddd.uab.cat/record/175655>.

- Thagard, P. (2010). How Brains Make Mental Models. En L. Magnani et al. (Eds.), *Model-Based Reasoning in Science y Technology*, SCI 314 (447-461). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-15223-8\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-642-15223-8_25)
- Treagust, D. F. y Tsui, C-Y. (Eds.) (2013). *Multiple Representations in Biological Education*. Models and Modeling in Science Education, Springer.
- Umpiérrez Oroño, S. (2019) Clasificación temática, construcción de sistema de categorías y repertorio de competencias científicas para el análisis cualitativo de trabajos finales de carrera. *Rutas de Formación: prácticas y experiencias*, 9, 55-69.  
<https://doi.org/10.24236/24631388.n.2019.3315>.
- Umpiérrez Oroño, S., Píriz-Giménez, N., Olivero, M. J., Cabrera-Borges, C. y Donato, N. (2023). Competencias científicas y modelización: estudio de un caso en la formación de docentes. *Ciência & Educação*, 29.  
<https://doi.org/10.1590/1516-731320230046>
- Upmeier zu Belzen, A., Krüger, D. y van Driel, J. (eds.) (2019). *Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education*. Springer.
- Varela, S. A. (2010). Aspectos básicos de la fisiología en respuesta al estrés y el clima como condicionante del mismo en las plantas. *INTA EEA Bariloche. Comun. Técnica*, 78, 1-23.
- Vasilachis, I. (2006). *Estrategias de investigación cualitativa*. Editorial Gedisa.

---

# Construction of Models on Living Beings' Biological Responses to External Stimuli

Nazira Piriz Giménez

Profesora del Instituto de Profesores Artigas, Consejo de Formación en Educación, Administración Nacional de Educación Pública, Montevideo, Uruguay

Lydia Galagovsky

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Instituto Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (CEFIEC), Universidad de Buenos Aires, Argentina.  
lydia.galagovsky@gmail.com

Learning science is not only repeating theoretical concepts obtained by science, but also acquiring the skill of generating models.

The present approach demanded Biology teachers in training to create *ad hoc* models in order to interpret fictional living beings' reactions inserted in fantastic biological contexts, taken from two scenes from the movie *Avatar*<sup>®</sup>. In scene 1, the avatars walk through a forest where touching or stepping on each place produced a light emission. In scene 2 plant-like structures fold and close upon physical contact with the avatar.

Given the fictional nature of the scenes, a «true» scientific model was not expected, but rather the students should show imagination to organize original final models. The existing scientific models, in this regard, involve graded responses (electrotones) or «all or nothing» (action potentials), with subcategories within each type, which had to be articulated within the fictional situations. The students' proper models required to link different organization levels of life in which physical-chemical and biochemical explanations need to be articulated with cell signaling and physiological mechanisms.

The two objectives of this work have been a) to analyze the students' difficulties during the modeling process; b) to detect the teaching strategies that favored the overcoming of learning obstacles.

The didactic approach was developed during the 10 last weeks within the subject of Biophysics, for 81 freshmen of a public teacher training program in Biology –Artigas Institute, Montevideo, Uruguay–. It was a virtual course on the Schoology<sup>®</sup> platform during the academic years of 2021-2022. The proposal was optional, aimed at students who voluntarily wanted to take their part in it as an extra mark during the last examination.

The initial 19 groups remained; however, some of their members abandoned and just 44 students completed the tasks. Online activities –perfectly scheduled in advance– consisted of forums for each specific group and plenary meetings, in which all writings and discussions had been recorded.

Main results showed three epistemological learning obstacles (ELO).

The first ELO consisted of a naïve superficial description of the biological situations shown in the triggering scenes, as well as the use of everyday vocabulary. There were two teaching strategies to overcome this obstacle: on the one hand, to help to discriminate variables underlying each phenomenon by questions such as: Does the response to the stimulus maintain or fade quickly? How does the repetition of the stimulus affect? Does the response propagate, or is it local? On the other hand, adjustments were made to the vocabulary, since it was necessary to differentiate between the terms like *irritability* or *excitability*, *stimulus* or *impulse*, *touch* or *mechanical stimulus*. These teaching strategies helped students to conduct subsequent literature searches instead of receiving the answers.

Second ELO showed that structure-function devices recovered from literature were strongly biased towards elements of the animal nervous system. The teaching strategies suggested to include the irritability of other living beings, which allowed the incorporation of concepts such as *sensor*, *sensory receptor*, *mechanoreceptor*, *thermoreceptor*, *pheromones*, *turgor*, *plasmolysis*, *luciferin*, *luciferase*, *electrotonic*, *conduction*, *summation*, *action potential*, *propagation*, *refractoriness*, among others.

The third ELO was the fact that students tended to present fragmented theoretical explanations which were even decontextualized from the fictitious cases. The teaching strategies demanded precision between structural elements and their relationships with a) the detection of stimuli; b) the intercellular communication and the propagation of information; c) the biochemical mechanisms that interconnected biological levels, related to the triggering scenes.

Specific given examples show each ELO, as well as the complexity required to stimulate the students' imagination in order to create original models.



# El impacto de los juegos epistémicos para aprender sobre naturaleza de la ciencia en primaria

## The Impact of Epistemic Games on Learning about the Nature of Science in Primary Education

María Antonia Manassero-Mas

*Facultad de Psicología, Universidad de las Islas Baleares, Palma, Islas Baleares, España.*  
ma.manassero@uib.es

Ángel Vázquez-Alonso

*Instituto de Investigación e Innovación Educativa, Universidad de las Islas Baleares, Palma, Islas Baleares, España.*  
angel.vazquez@uib.es

**RESUMEN** • Varios maestros de primaria enseñan aspectos básicos de naturaleza de la ciencia a su alumnado mediante cuatro juegos epistémicos, aplicando una pedagogía explícita, reflexiva y destrezas de pensamiento científico. Los objetivos son la aceptación y apropiación por parte del profesorado de los materiales didácticos, la participación del alumnado y un análisis exploratorio del impacto en el aprendizaje de este último. En este artículo se presentan los materiales didácticos, los instrumentos y los procedimientos de esta innovación. Los resultados indican una buena aceptación de los juegos por parte del profesorado, excelente motivación del alumnado y una mejora moderada de la imagen de la ciencia, con un mayor impacto en las chicas participantes. Finalmente, se discute la viabilidad de esta innovación, sus consecuencias para mejorar la educación científica en primaria, las limitaciones del estudio y su potencial prospectivo.

**PALABRAS CLAVE:** Naturaleza de la ciencia; Juegos serios de aprendizaje; Destrezas de pensamiento científico; Actitudes relacionadas con la ciencia; Género y ciencia.

**ABSTRACT** • Several primary school teachers teach basic aspects of the nature of science to their students through four epistemic games, which apply explicit and reflective pedagogy as well as some scientific thinking skills. The aims of this study are the acceptance and self-appropriation of the teaching materials among teachers, the motivation of the students and an exploratory analysis of the impact of these games on student learning. The teaching materials, instruments and procedures of this innovation are here presented. The results indicate good acceptance by teachers, excellent participation of students and a moderate improvement of their image of science, especially among the participating girls. Finally, the feasibility of this innovation, its consequences for improving science education in primary school, the limitations of this study and its prospective potential are discussed.

**KEYWORDS:** Nature of science; Serious learning games; Scientific thinking skills; Attitudes related to science; Gender and science.

Recepción: mayo 2023 • Aceptación: enero 2024 • Publicación: junio 2024

## INTRODUCCIÓN

La alfabetización científica para todos, como competencia básica de la ciencia y la tecnología (CyT), incluye los tradicionales conocimientos y procedimientos de CyT, los conocimientos más innovadores sobre la ciencia o naturaleza de la ciencia (NdC) y la educación para la ciudadanía global (transferencia a la vida diaria y ciudadana) y para la justicia social, sensible a las necesidades de todos (especialmente de las mujeres y las minorías). Aprender la alfabetización en este sentido requiere una integración reflexiva y crítica de cogniciones, actitudes y acciones (Sjöström y Eilks, 2017; Roberts, 2011).

El tema de este estudio es la NdC, un conjunto de metaconocimientos complejos, multifacéticos, interdisciplinarios, evolutivos y cambiantes, usados en la práctica científica para validar el conocimiento científico e intervenir en la sociedad. La NdC debería denominarse propiamente naturaleza del conocimiento científico, que manifiesta mejor su carácter de metaconocimiento –o conocimiento sobre el conocimiento (¿qué sabemos?) y sobre el conocer (¿cómo sabemos lo que sabemos?)– y justifica su convergencia con el concepto de conocimiento epistémico, utilizado en la literatura educativa general (Greene et al., 2016; Hofer, 2016). Por otro lado, el concepto de práctica científica integra una variedad de actividades interdisciplinarias (científicas, ingenieriles, tecnológicas, etc.) orientadas a la búsqueda del conocimiento, que ha dado lugar al surgimiento del acrónimo ciencia-tecnología-ingeniería-matemáticas (por sus siglas en inglés, STEM) desde la educación en ciencias para las nuevas generaciones (NGSS, 2013).

En la literatura se han propuesto visiones simplificadoras sobre NdC (Lederman, 2007) que han sido criticadas y sustituidas por conceptualizaciones más amplias y holísticas, como reflejan Erduran y Dagher (2014) y Manassero-Mas y Vázquez-Alonso (2019); ambas convergen en la idea de estructurar la NdC en dos dimensiones: cognitiva-epistemológica y social-institucional. La primera describe los principios epistemológicos (por ejemplo, el conocimiento cambia) y la segunda refleja las normas y actividades comunitarias e institucionales (el conocimiento es público) de los procesos de indagación y explicación del mundo natural, así como sus efectos e interacciones con la sociedad y la tecnología.

La complejidad metacognitiva de la NdC determina las dificultades de su enseñanza, que consisten en una demanda cognitiva exigente, la insuficiente comprensión del profesorado y la escasez de recursos didácticos (Lederman, 2007). Las tres constituyen rasgos agudos en el contexto español, por la inflación de las leyes educativas, cuyos currículos no han desarrollado suficientemente los temas de NdC y, consecuentemente, la formación del profesorado, los libros de texto y la enseñanza, han perdido esta innovación (García-Carmona, 2022; Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2017a). Además, la formación del profesorado de primaria suele ser pobre y peor en cuanto a la NdC, los centros educativos públicos de primaria han perdido sus laboratorios y los recursos para enseñar NdC en español y en primaria son escasos (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2012).

En este contexto hostil, que en España agudiza aún más las dificultades, este estudio afronta estos desafíos mediante una innovación transdisciplinar que crea materiales innovadores basados en juegos cooperativos para enseñar NdC en educación primaria y que desarrolla el pensamiento (científico y crítico) y las actitudes propias de la NdC.

### La demanda cognitiva para aprender NdC

La investigación señala que, para ser efectiva, la enseñanza de la NdC debe ser explícita (los contenidos de NdC deben ser manifiestos) y reflexiva (es decir, exige pensar coherentemente sobre los conceptos y la práctica). Reflexionar implica usar las destrezas de pensamiento –científico y crítico– (PCC) para relacionar los resultados, conclusiones, consecuencias y limitaciones de la NdC, tal como hace la práctica científica, porque esto da sentido y hace significativo este aprendizaje (Khishfe, 2020; Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2020; Rudge y Howe, 2009; Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2016).

Varias investigaciones han identificado las principales barreras cognitivas en la comprensión de la NdC, que se corresponden con otras tantas destrezas (y falacias) del pensamiento: la incapacidad de diferenciar hechos y explicaciones y de coordinar pruebas, justificaciones, argumentos y conclusiones; la frecuente presencia de sesgos; los saltos a las conclusiones como autoevidentes; la desatención a las ideas y evidencias contrarias; y la falta de metacognición y autorregulación. Para superarlas, diversos estudios proponen lo obvio: dominar las destrezas de PCC (por ejemplo, el razonamiento), pues estas, además, permiten vincular experiencias, hechos y conceptos, que hacen el aprendizaje significativo y transferible (Chater, 2018; Erduran y Kaya, 2018; Ford y Yore, 2012; Khishfe et al., 2017; Simonneaux, 2014; Willingham, 2010).

Incluso algunos autores sugieren que los temas de la NdC y el PCC tienen una relación mutua y fructífera, tanto para la educación científica (en forma de pensamiento científico) como para la educación general (en forma de pensamiento crítico), o bien, con la denominación de síntesis propuesta en este estudio (PCC), basada en la semejanza entre ambos (Allchin y Zemplén, 2020; Greene et al., 2016; Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2020; Saido et al., 2018; Settlage y Southerland, 2020).

### Actitudes, género y ciencia

El dominio afectivo nace como área de investigación de la psicología en la primera mitad del siglo xx. A finales de siglo también se ha constituido como un campo de estudio en didáctica de la ciencia, centrándose en investigar las percepciones del alumnado sobre la ciencia, los científicos, la sociedad, la ciencia escolar y, sobre todo, en el cambio de las actitudes desfavorables, donde la edad, el género y el curso son variables influyentes (Ramsden, 1998).

Las evaluaciones educativas internacionales a gran escala, como Trends in International Mathematics and Science Study (Mullis et al., 2021), y el Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes (OECD, 2017) detectan una gran paradoja, pues los alumnos con puntuaciones más altas tienden a mostrar menor interés y peores actitudes, como si la educación científica fuera incapaz de generar afectos positivos hacia la ciencia. Para superar esta contradicción, la educación de actitudes proactivas hacia la STEM ha pasado a ser un objetivo central de la ciencia escolar, ya que estas actitudes contribuyen a mejorar el aprendizaje cognitivo y otros muchos aspectos afectivos y sociales y es valioso para los intereses personales, laborales y sociales (Fensham, 2009).

En los inicios del siglo xxi, el proyecto Relevance of Science Education demostró que los jóvenes de los países occidentales presentaban un patrón afectivo de decepción con respecto a la STEM y considerables diferencias de género (Sjøberg y Schreiner, 2019). Sin embargo, las diferencias de género de los adolescentes españoles eran las más bajas de los países occidentales (Vázquez y Manassero, 2007).

Por otro lado, la situación de diferencias y deficiencias de oportunidades para las mujeres en la educación STEM es un problema persistente, pues chicos y chicas exhiben diferencias en múltiples aspectos STEM: el aprendizaje escolar, las actitudes, el interés y la infrarrepresentación de las mujeres en estudios y carreras STEM (OECD, 2017). La interpretación de estas persistentes diferencias de género conduce al denominado estereotipo masculino de la STEM, que merma el sentido de pertenencia de las mujeres según tres categorías: la imagen masculina de la STEM, el déficit de experiencias previas y la menor percepción de autoeficacia de las mujeres (Cheryan et al., 2017). Este estudio pretende abordar la educación de actitudes y la brecha de género mediante recursos didácticos equitativos respecto al género, como se argumenta en los párrafos siguientes (Andersen, 2001; Archer et al., 2020; Holmes et al., 2022).

## La escasez de recursos para enseñar NdC

Las actividades de laboratorio son un recurso tradicional para enseñar temas de NdC, que generan interés y motivación hacia la ciencia (Lederman y Lederman, 2019). Sin embargo, algunos estudios plantean que son ineficaces, pues demuestran que generan un interés efímero, fallan a la hora de relacionar las actividades con los conceptos científicos y el alumnado apenas se limita a seguir una receta (Abrahams y Reiss, 2012). Además, otros estudios apuntan que discriminan a las mujeres, pues los hombres acaparan el equipo, analizan los datos, participan y hablan más que ellas, quienes suelen tomar notas o gestionar (Aguillon et al., 2020; Holmes et al., 2022; Quinn et al., 2020) y Gericke et al. (2022) concluyen que los logros reales del trabajo en laboratorio son controvertidos.

El auge del juego digital para el entretenimiento ha creado los denominados *juegos serios*, orientados al aprendizaje. Diversos estudios sugieren que estos son más efectivos que la instrucción convencional para producir cambios conductuales, cognitivos, motivacionales, afectivos y socioculturales (Clark et al., 2016; Plass et al., 2015).

Los juegos epistémicos son juegos serios centrados en la resolución de problemas realistas, auténticos, abiertos y multidisciplinarios en el marco epistémico de una comunidad de prácticas, y los que simulan la resolución de problemas como en la práctica científica pueden plantear aspectos de NdC (Oubahssi et al., 2020). Sin embargo, la revisión de Li y Tsai (2013), que analizó 31 investigaciones sobre juegos científicos, y la posterior de Arzmann et al. (2022) no encontraron juegos que abordasen el aprendizaje epistémico sobre la práctica científica, por lo que quedó demostrada la falta de recursos-juegos para enseñar temas de NdC.

La carencia de laboratorios y juegos específicamente epistémicos y las ventajas educativas de los juegos avalan la propuesta innovadora de este estudio, que se basa en una experiencia de práctica científica mediante juegos serios epistémicos para enseñar (y pensar) la NdC (Chater, 2018). Previamente, se han explorado y diseñado diversos juegos cooperativos que ofrecen una analogía de la práctica científica asequible, accesible y motivadora, y también afrontan las carencias mencionadas (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2017b). Además, la educación primaria es el nivel educativo menos frecuente en la investigación sobre NdC, debido al menor desarrollo cognitivo de sus estudiantes y a la escasa formación científica del profesorado (Cofré et al., 2019).

Este estudio presenta recursos didácticos nuevos en forma de juegos epistémicos, adaptados al nivel cognitivo del alumnado de primaria, para aprender temas de NdC, practicar las destrezas de PCC y desarrollar profesionalmente al profesorado mediante la formación para planificar esas enseñanzas. La motivación inherente al juego permite superar los inconvenientes de las actividades de laboratorio, ya que también enseñan rasgos genuinos de la práctica científica, desarrollan el PCC (planteando preguntas, buscando respuestas fundadas y conectando reflexivamente juegos y conceptos científicos) en un contexto de equidad de género.

El objetivo de este estudio es mostrar que los juegos epistémicos cooperativos, basados en el desarrollo experiencial del PCC, superan las barreras de la enseñanza de la NdC mediante la motivación y la participación entusiasta y reflexiva del alumnado en las actividades de juego, así como la formación del profesorado a través de la aceptación y apropiación autocrítica de los materiales didácticos de los juegos. El estudio aplica un modesto análisis exploratorio cuantitativo para evaluar el impacto de los juegos en la mejora de las actitudes relacionadas con CyT del alumnado participante; asimismo, permite explorar su contribución a la equidad de género en la educación científica como atractivo potencial para las mujeres hacia la CyT. Las preguntas de investigación más específicas del análisis exploratorio son las siguientes: ¿Cuál es el diagnóstico base de las actitudes en primaria? ¿Son eficaces los juegos para mejorar las actitudes? ¿Qué actitudes específicas mejoran los juegos? ¿Cómo afectan los juegos diferencialmente a chicos y a chicas?

## MÉTODOS Y MATERIALES

### Materiales

Los elementos básicos de cada juego están resumidos en la tabla 1 y en la lista siguiente, aunque pueden consultarse más detalles al respecto en trabajos previos (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2016, 2017b).

*Tangram o rompecabezas.* Muestra que la ciencia es dinámica y cambia (provisionalidad y falibilidad del conocimiento).

*Cubos o dados.* Explicita los estándares de la ciencia: observación, argumentos lógicos basados en evidencias y escepticismo organizado.

*Cartas o naipes.* Simula el descubrimiento, la codificación y la validación de leyes naturales mediante procesos de observación, hipótesis, predicción, confirmación, falsación y argumentación.

*Caja misteriosa o negra.* Emula la construcción y validación de conocimientos desde una perspectiva empírica, que incluye retos, clasificación y mediciones.

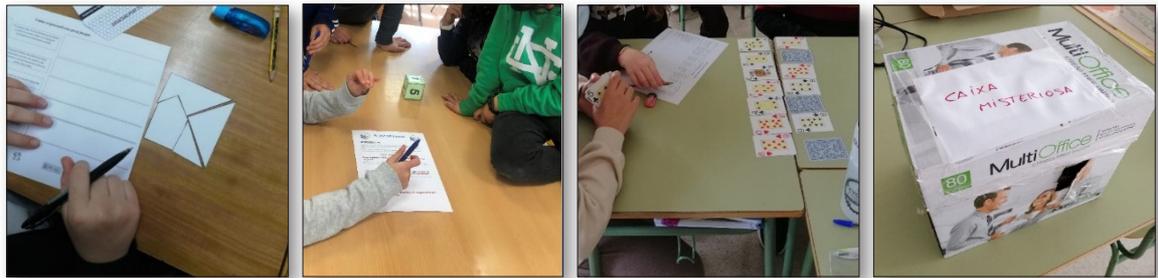


Fig. 1. Imágenes de estudiantes practicando los cuatro juegos con la guía sobre la mesa.

Los juegos satisfacen los criterios básicos para la enseñanza eficaz de la NdC: plantear explícitamente el tema de la NdC y estimular la discusión reflexiva entre iguales sobre los elementos epistémicos (ideas creadas, hipótesis, predicciones, argumentación, etc.) y sociales (discusión, cooperación y competencia, etc.) de la ciencia.

Tabla 1.  
Resumen de los elementos empleados en cada juego

<i>Juego /reto</i>	<i>Materiales</i>			<i>Temas de naturaleza de la ciencia</i>		
	<i>Materiales</i>	<i>Lecturas</i>	<i>Didácticos</i>	<i>Específicos</i>	<i>Trasversales</i>	
<b>Rompecabezas (Tangram)</b>						
Componer un cuadrado con 4 y 5 piezas	5 piezas del tangram	¿De dónde proceden los seres vivos?	Guía organizadora SEA*	– Provisionalidad y falibilidad – Cambio de paradigma	Coordinación datos-evidencia por argumentación  Compartir contenidos y argumentos con otros  Practicar / participar en debates  Cooperar para afrontar ideas y conceptos  Desarrollar actitudes y disposiciones científicas (curiosidad, apertura, escepticismo...)	
<b>Cubos o dados</b>						
¿Qué hay en la cara oculta del cubo?	Cubos para tarjetas insertables (o cubos de papel)	Un nuevo planeta	Guía organizadora SEA*	– Construcción de conocimiento – Explicación científica		
<b>Cajas negras o misteriosas</b>						
¿Qué hay dentro de la caja?	Caja cerrada llena de objetos variados	Clasificación de los seres vivos  Abriendo la caja misteriosa de la materia	Guía organizadora SEA*	– Crear hipótesis – Observar – Razonar – Argumentar con pruebas – Hacer predicciones – Argumentar para convencer a otros – Investigación científica (medir, clasificar, diseñar comprobar...)		
<b>Cartas o naipes</b>						
¿Qué ley siguen las cartas?	Mazos de cartas	Una ley para la navegación	Guía organizadora SEA*	– Crear hipótesis con base en la observación y el razonamiento – Argumentar con pruebas – Hacer predicciones – Argumentar para convencer a otros		

\*SEA: Secuencia de enseñanza-aprendizaje.

Los elementos de los juegos incluyen los materiales necesarios para jugar (por ejemplo, mazos de cartas), los documentos didácticos para la enseñanza y el instrumento para investigar su impacto. Los documentos didácticos son las guías organizadoras del alumnado, la lectura de un caso histórico de la ciencia, la SEA y un video, donde una mujer investigadora de vanguardia explica su área de trabajo (tabla 1).

### Instrumento de investigación

El alumnado responde un cuestionario actitudinal formado por 36 ítems, seleccionados del cuestionario ROSES por su adaptación a los participantes de primaria y el tema de este estudio (Jidesjö et al., 2021). El test valora cuatro dimensiones: la imagen de la CyT (CyT), la percepción de las clases de ciencias escolares (CLAS), las actitudes ambientales (AMB) y los rasgos importantes de un trabajo

futuro (TRAB). La primera es la más relacionada con temas de NdC, pues sus frases recogen elementos epistémico-cognitivos (por ejemplo, que debemos confiar en los científicos) y sociales (la CyT es importante para la sociedad); mientras que las otras tres se relacionan con otros aspectos de la alfabetización científica (Manassero y Vázquez, 2024).

Los ítems tienen una redacción simple y mayoritariamente positiva y se pide al alumnado una respuesta sobre una escala Likert de 4 puntos (1-desacuerdo, 4-acuerdo; 1-poco importante, 4-importante). Cuatro ítems están formulados negativamente (como «la ciencia es una asignatura escolar difícil») para paliar el sesgo de aquiescencia; sus puntuaciones son invertidas en los resultados para que su interpretación tenga el mismo sentido que los ítems formulados en positivo (Kreitchmann et al., 2019).

## Procedimientos y análisis

El profesorado organiza, adapta y aplica flexiblemente los materiales a la enseñanza de sus estudiantes, como parte de su programación de aula, teniendo en cuenta las necesidades y el nivel cognitivo de sus estudiantes. Se espera que estas tareas incidan en su desarrollo profesional sobre el tema de la NdC como formación en la propia práctica educativa (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2017b).

Las lecturas relatan, de manera breve y simple, casos de historia de la ciencia que conectan las actividades de juego con los conceptos científicos y resaltan las argumentaciones científicas a favor y en contra de la controversia planteada en cada caso. El profesorado debe complementar la lectura con preguntas y ejemplos que ayuden al alumnado a comprender y conectar los conceptos y argumentos de la lectura con los practicados en los juegos (aprendizaje).

La SEA contiene el plan didáctico de cada juego, especificando los objetivos, las competencias clave, los saberes básicos y criterios de evaluación y la organización de las actividades y los materiales. El plan aplica el modelo de las 7E (enganchar, extraer, explicar, explorar, elaborar, evaluar y extender), que asume los principios del diseño universal del aprendizaje (DUA): equidad y multiplicidad de representaciones, de medios de acción y expresión y de actitudes de implicación del alumnado. El planteamiento en cada juego es similar: un reto en forma de pregunta (tabla 1) que requiere una respuesta, que elaborarán los grupos pequeños cooperativos. Esto aproxima el juego a una situación de aprendizaje y su metodología a un proyecto cooperativo de resolución de problemas basado en el pensamiento. Ambos comparten el modelo de validación del conocimiento propio de la práctica científica (cooperación y competencia entre pares). Estos rasgos lo hacen familiar para los docentes y es efectivo para aprender la materia (Capraro et al., 2013; Tena y Couso, 2023).

Las guías organizadoras (figura 2) son fichas que el alumnado debe completar en las actividades durante el juego; sirven de andamio para facilitar la reflexión durante el juego y posteriormente, desarrollando y codificando las destrezas de PCC (observaciones, argumentaciones, hipótesis, predicciones, razonamientos, etc.).

**Guías organizadoras para juegos**

**Guía para juegos de cartas**

Participante (s): Carlota, Emilia y Lucas Papel en el juego: científico

	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8
Carta que pongo (color, Número, palo)	Color rojo Número 6 Palo diamante	Color rojo Número 10 Palo diamante	Color negro Número 6 Palo trébol	Color rojo Número 7 Palo diamante	Color Número Palo	Color Número Palo	Color Número Palo	Color Número Palo
Carta que sale	Color negro Número 4 Palo trébol	Color negro Número 8 Palo trébol	Color negro Número 12 Palo trébol	Color rojo Número 5 Palo trébol	Color Número Palo	Color Número Palo	Color Número Palo	Color Número Palo
Hipótesis sobre ley								
Predicción: carta que saldrá								
Acierto o error de la predicción								
Posibilidad/alternativa diferente a la predicha								
Razón para descartar la hipótesis o alternativas								
Razón para aceptar la hipótesis o alternativas								
Propongo la ley siguiente								
Acierto o error de la predicción								
Ley final: <u>Aceptado Dos menos</u>								
Observaciones <u>Aceptado</u>								

© M<sup>a</sup> Antonia Manassero & Ángel Vázquez



Fig. 2. Guía organizadora del juego de cartas con cuatro jugadas y la ley final descubierta (dos menos).

La búsqueda de la respuesta a la pregunta-reto de cada juego como proyecto cooperativo de grupo se basa en la hipótesis del orden natural: la naturaleza se manifiesta mediante patrones, reglas o leyes, que los científicos se esfuerzan por descubrir (NGSS, 2013). El proyecto está sometido a una regla de oro: los conocimientos científicos (hipótesis, leyes y teorías) deben ser coherentes con las observaciones y evidencias y con el conocimiento disponible, y esta coherencia se elucida ejercitando las destrezas de PCC. Por ello, las propuestas del alumnado en las actividades (ideas, hipótesis, predicciones, etc.) deben cumplir siempre una de las dos condiciones siguientes para ser aceptadas: acompañar la idea de una razón, argumentación o razonamiento, o justificar la coherencia de la idea con la evidencia disponible. Aquellas ideas que no aportan razones o no coinciden con la evidencia deben ser objetadas (al igual que hacen los científicos en la práctica real).

En el momento de realizar los juegos, las situaciones de aprendizaje de los juegos familiarizan a estudiantes y docentes con aspectos centrales del pensamiento y la metodología científicos, cuya correspondencia curricular es el bloque 1 de contenidos del currículo LOMCE de ciencias vigente en educación primaria (Iniciación a la actividad de los científicos). No obstante, el formato de pregunta-reto anticipa el de las situaciones de aprendizaje, la competencia STEM y otros aspectos curriculares de la LOMLOE.

El profesorado aplica el cuestionario exploratorio a sus estudiantes en formato digital, como un elemento más del proyecto, y siguiendo sus normas y adaptaciones. Para diagnosticar los efectos de este, el cuestionario se aplica antes (pretest) y después de los juegos (postest) al final de curso; en este caso, varias semanas después de finalizar el último juego. Las diferencias entre grupos se valoran con

el estadístico tamaño del efecto (TdE,  $d$ ) –mide diferencias en unidades estándar– porque valora la magnitud de las diferencias (pequeñas,  $d < .20$ ), que no es informada por la mera probabilidad de significación estadística ( $p$ ).

### **Participantes**

Los participantes de esta experiencia de juegos forman una muestra opinática, determinada por la voluntad de participar en el proyecto educativo de innovación con los juegos, que incluye a 12 docentes de cinco centros educativos diferentes y a su alumnado de sexto curso de primaria (165 estudiantes; 78 chicas y 87 chicos) en sus nueve grupos naturales de clase. Estos pertenecen a centros de primaria públicos (3) y concertados (2), de tamaño grande (1), mediano (2) y pequeño (2), ubicados en el centro (1) y periferia (1) de una ciudad grande, en dos ciudades medianas (2) y un pueblo pequeño (1). Esta amplia variabilidad sugiere una representación aproximada de la población.

Los docentes no tienen formación científica especial y desconocen la NdC. Los autores presentaron los juegos a los docentes, y ellos prepararon la actividad de aula, integrada en su propia programación (planificaron, explicaron y dirigieron la actividad de sus estudiantes). Las actividades de apropiación autocrítica y trasposición didáctica de los materiales al aula contribuyen al desarrollo profesional docente sobre enseñanza de NdC como una formación en la propia práctica educativa.

### **RESULTADOS**

Los resultados exploratorios se basan en las respuestas del alumnado a las cuatro escalas de cuestiones (imagen de CyT, percepción de las clases de ciencias, actitudes ambientales y rasgos importantes de un trabajo futuro), antes (pre) y después (pos) de las actividades de los juegos.

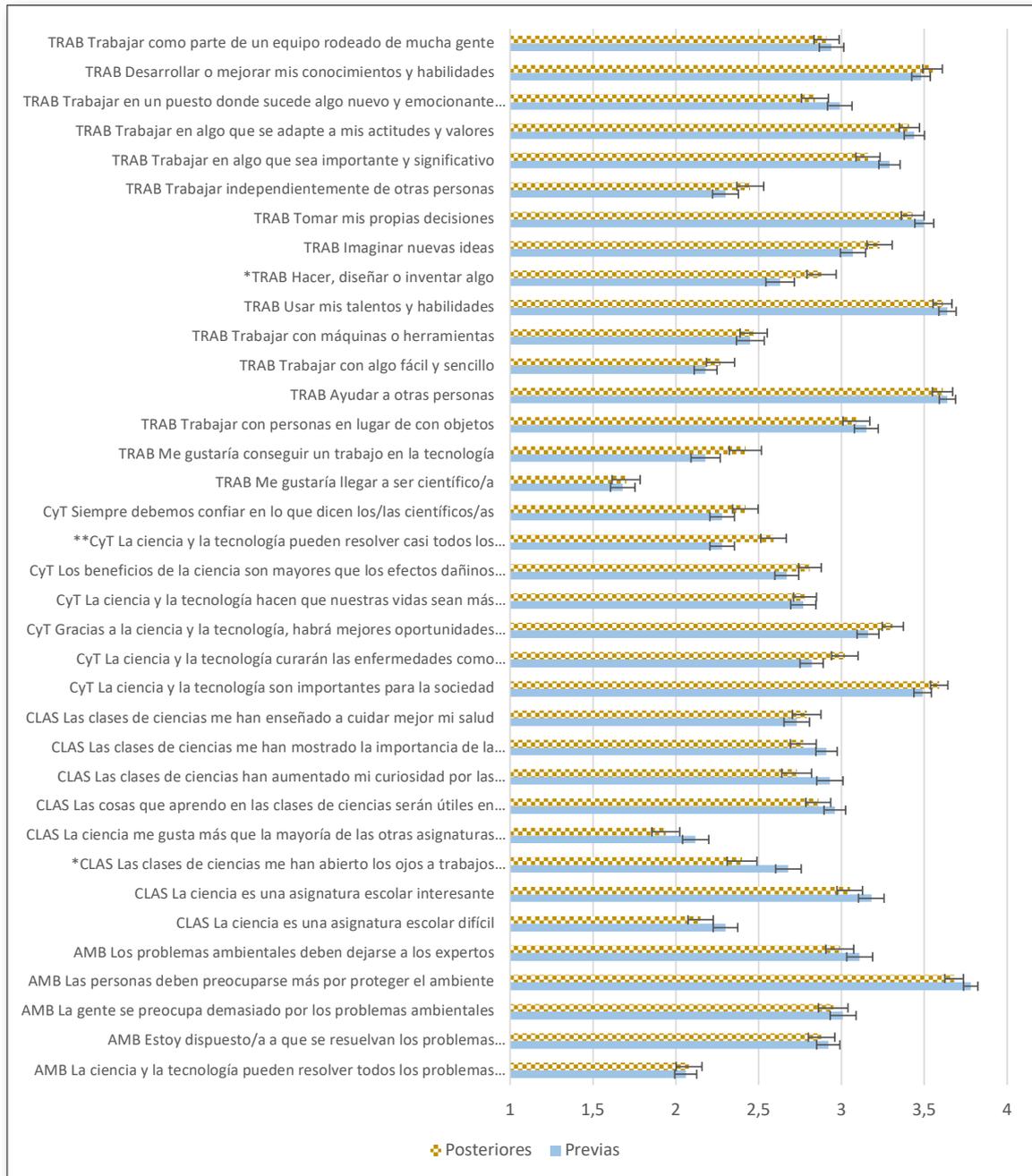


Fig. 3. Promedios de las 36 cuestiones y sus barras de error estándar, previas y posteriores, listadas por escalas: actitudes ambientales (AMB), clases de ciencias (CLAS), imagen de (CyT) y rasgos de un trabajo futuro (TRAB)

### El potencial efecto de los juegos en las actitudes del alumnado

Antes de los juegos, el alumnado valoró muy positivamente (medias > 3) once aspectos (figura 3):

- Imagen de la ciencia: la importancia de la CyT para la sociedad y mejores oportunidades para las generaciones futuras que ofrece la CyT.

- Clases: la ciencia como asignatura interesante.
- Ambiente: debemos preocuparnos más por proteger el ambiente.
- Trabajo futuro: trabajar con personas, imaginar nuevas ideas, tomar decisiones propias, desarrollar conocimientos y habilidades, adaptarse a las actitudes y valores personales y usar talentos y habilidades propios.

En el otro extremo, el aspecto menos valorado es la intención de llegar a dedicarse a la ciencia, y dos aspectos ambientales reciben altos rechazos: los problemas ambientales debemos dejarlos a los expertos y la gente se preocupa demasiado por ellos.

La magnitud del cambio atribuible potencialmente a los juegos se valora mediante la significación estadística y el TdE de las diferencias entre las dos medidas (pre y pos) de las actitudes (figura 3).

El ítem con la mayor mejora es que CyT pueden resolver casi todos los problemas ( $p = .005$ ;  $d = .34$ ), aunque otros rasgos también mejoran por encima del umbral ( $d > .20$ ):

- El gusto por conseguir un trabajo en tecnología ( $p > .05$ ;  $d = .22$ ),
- Un trabajo futuro de hacer, diseñar o inventar algo ( $p = .046$ ;  $d = .24$ ) y
- La CyT curará las enfermedades ( $p > .05$ ;  $d = .22$ ).

Las clases de ciencias no abren los ojos del alumnado a trabajos nuevos y emocionantes es el ítem que más empeora ( $p = .018$ ;  $d = -.28$ ).

Por grupos, las cuestiones de imagen de la CyT presentan las mayores mejoras, seguidas por las de rasgos importantes de un trabajo futuro (TRAB), mientras que las actitudes ambientales se mantienen sin diferencias importantes y la percepción de las clases de ciencias (CLAS) muestra una tendencia a empeorar. En suma, el potencial efecto de los juegos aparece centrado en mejorar la imagen de la CyT, dimensión que recoge los aspectos básicos de la NdC, junto con la mejora de la preferencia por un trabajo futuro de diseñar o inventar (ligado a la profesión científica). En el extremo opuesto, la percepción de las clases de ciencias tiende a empeorar.

## Diferencias de actitudes entre chicas y chicos

Las diferencias de género en las actitudes se analizan mediante varias comparaciones. Por un lado, las diferencias entre chicos y chicas antes y después de realizar los juegos (figura 4) y, por otro, estudiando las diferencias pos-pre separadamente para chicos y chicas (figura 5).

### *Diferencias de actitudes entre chicas y chicos anteriores y posteriores*

Los valores del TdE entre chicos y chicas anteriores a la experiencia con los juegos (figura 4) muestran que los chicos exhiben una actitud superior a las chicas ( $d < 0$ ) en 19/36 cuestiones, mientras que las chicas superan a los chicos en 16/36 ( $d > 0$ ). Pero las diferencias son relevantes solo en un caso: los chicos desean conseguir un trabajo en tecnología más que las chicas ( $p = .010$ ;  $d = -.416$ ).

Las diferencias de género en las respuestas posteriores (figura 4) indican que las chicas superan a los chicos en la media de 20 cuestiones, mientras que los chicos superan a las chicas en 15 cuestiones, lo cual invierte el patrón de diferencias global anterior a los juegos. Aunque la gran mayoría son pequeñas, aparecen algunas diferencias más significativas.

Favorables a las chicas:

- Trabajar donde sucede algo nuevo y emocionante con frecuencia ( $p = .0001$ ;  $d = .632$ ).
- Percibir los beneficios de la ciencia mayores que los efectos dañinos ( $d = .304$ ).

- Las cosas que aprendo en las clases de ciencias serán útiles en mi vida cotidiana ( $d > .333$ ).
- Trabajar en algo que sea importante y significativo ( $d > .290$ ).

Favorables a los chicos:

- Conseguir un trabajo en tecnología ( $p = .021$ ;  $d = -.416$ ).
- La CyT puede resolver casi todos los problemas ( $d = -.277$ ).

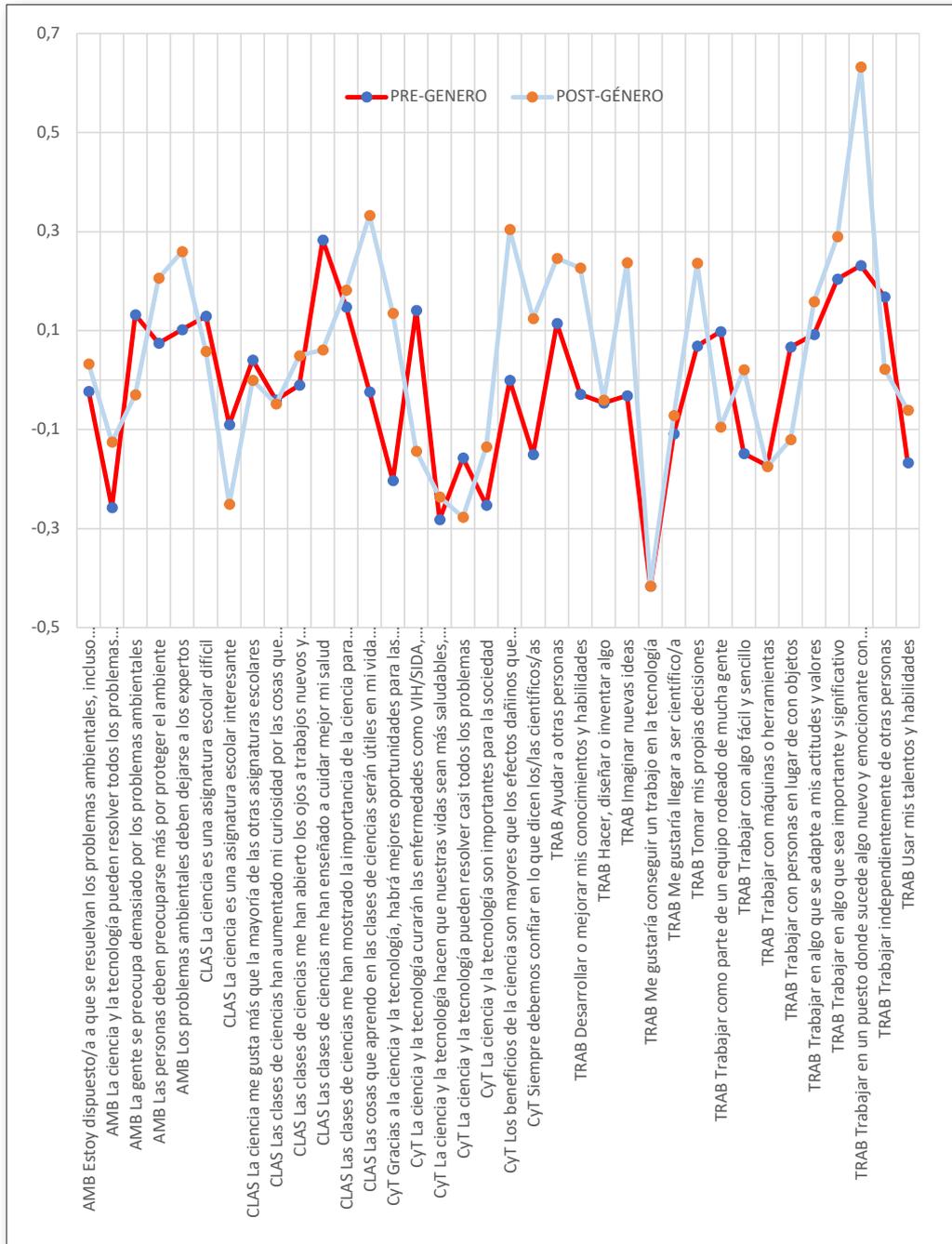


Fig. 4. Tamaño del efecto de las diferencias de género (chicas menos chicos) antes (pre) y después (pos) de la experiencia con juegos.

En suma, la mayoría de las diferencias entre chicos y chicas en actitudes antes y después de la experiencia con los juegos no son significativas ni relevantes ( $d < .40$ ). Sin embargo, el análisis cualitativo y cuantitativo global sugiere que las chicas mejoran sus actitudes relativamente más que los chicos, como demuestra el incremento del número de cuestiones con diferencias favorables a las chicas posteriormente y las magnitudes finales del TdE mayores de las chicas en varias cuestiones, que apuntan a una inversión de las diferencias de género y a un moderado efecto en favor de las chicas.

### *Diferencias pos-pretest en cada grupo de chicas y de chicos*

El análisis de las diferencias pos-pre en cada grupo de género separadamente computa el TdE pos-pre para el grupo de chicos y para el grupo de chicas separadamente (figura 5). Esto evalúa la evolución de las actitudes (mejoras y pérdidas) en cada grupo independientemente, es decir, la magnitud del efecto de los juegos en chicas y en chicos.

Las cuestiones donde las chicas alcanzan una mayor magnitud de mejora ( $d > .30$ ) son:

- Los beneficios de la ciencia son mayores que los efectos dañinos.
- Imaginar nuevas ideas.
- Siempre debemos confiar en lo que dicen los científicos y científicas.
- Gracias a la CyT, habrá mejores oportunidades para las generaciones futuras.

En sentido opuesto, las chicas disminuyen más ( $d < -.20$ ) en varias cuestiones de ciencia escolar:

- La ciencia es una asignatura escolar interesante.
- Las clases de ciencias me han abierto los ojos a trabajos nuevos y emocionantes.
- La ciencia es una asignatura escolar difícil.

Los chicos alcanzan la mayor magnitud de mejora pos-pre ( $d > .30$ ) en:

- La CyT puede resolver casi todos los problemas.
- La CyT curará las enfermedades.

Al contrario, los chicos disminuyen más ( $d < -.30$ ) en:

- Las clases de ciencias me han abierto los ojos a trabajos nuevos y emocionantes.
- Trabajar en un puesto donde sucede algo nuevo y emocionante con frecuencia.

En total, las chicas mejoran sus puntuaciones ( $d > 0$ ) en 21 cuestiones y empeoran ( $d < 0$ ) en 15, mientras que los chicos mejoran en 17 cuestiones y empeoran en las 19 restantes, un balance global moderadamente favorable a las chicas.

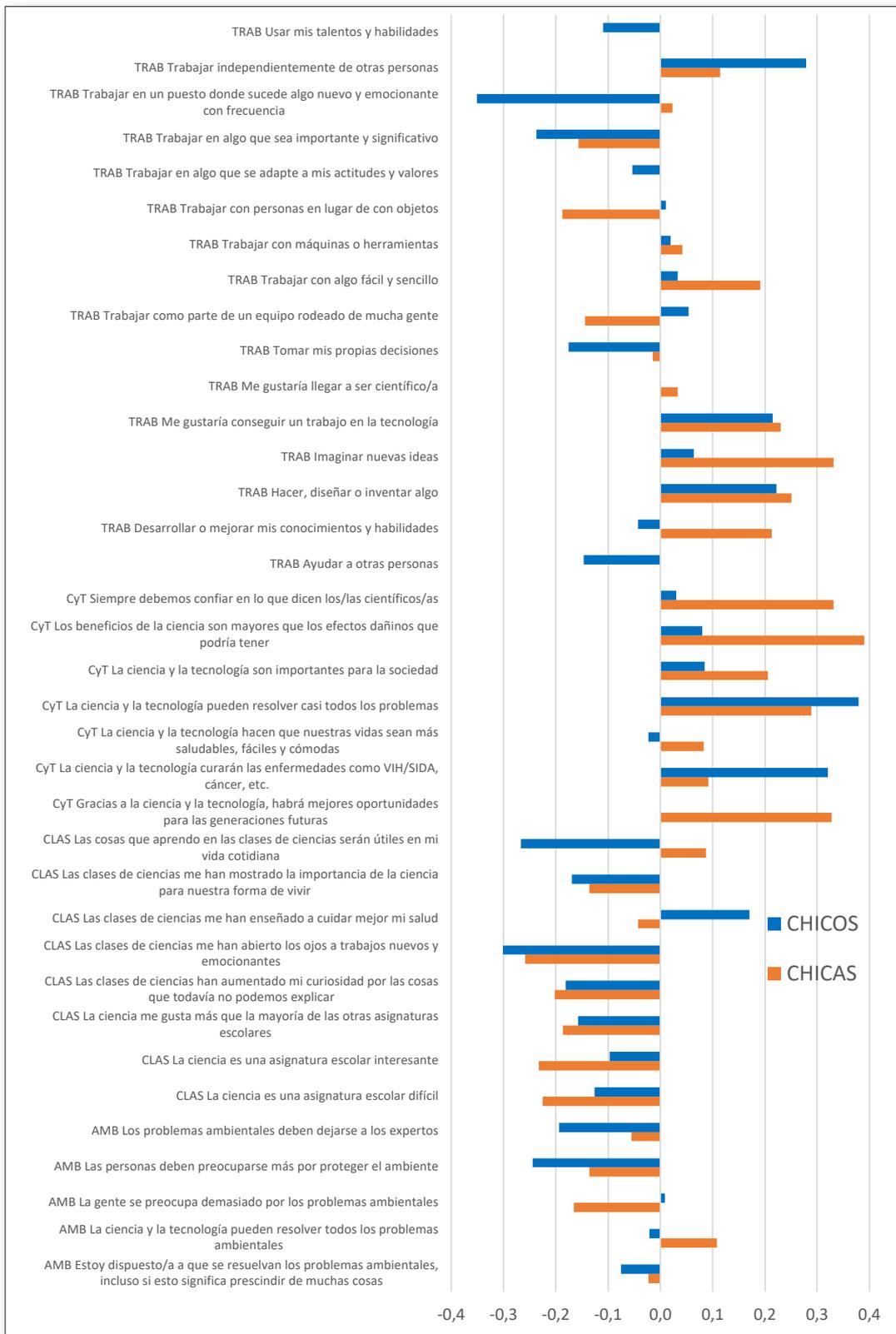


Fig. 5. Tamaño del efecto de las diferencias pos-pre de chicos y de chicas.

Los cambios negativos pos-pre son siempre una llamada de atención como debilidades del proceso educativo, de modo que las coincidencias y discrepancias en los signos de los cambios actitudinales pos-pre para chicos y chicas pueden aportar nuevas perspectivas acerca del efecto diferencial de los juegos según el género. El análisis cruzado según el signo del cambio pos-pre en ambos géneros produce cuatro combinaciones: dos grupos donde chicos y chicas tienen el mismo signo del cambio de actitud, bien ambos positivos (13) o bien ambos negativos (9), y dos grupos donde chicos y chicas tienen distinto signo (positivo y negativo alternativamente).

Además, para cada cuestión se ha calculado la magnitud del cambio diferencial entre chicas y chicos, restando el TdE pos-pre de las chicas menos el TdE de los chicos, de modo que los valores positivos del cambio indican que las chicas tienen un cambio actitudinal mayor que los chicos, mientras que los negativos indican un cambio actitudinal de los chicos mayor que las chicas.

La figura 5 muestra que tanto chicos como chicas coinciden en el signo de su cambio actitudinal en 22 cuestiones (13 coincidencias positivas y 9 negativas) y, además, que las chicas mejoran más que los chicos en la mayoría de los cambios positivos (8). En las restantes cuestiones (14) chicos y chicas tienen signos de cambio diferentes en sus actitudes a lo largo del curso, bien porque las chicas mejoran y los chicos empeoran o viceversa.

Los rasgos que muestran cambios actitudinales negativos suponen un efecto diferencial indeseado, que requeriría una intervención educativa de mejora, acorde con su perfil de género entre chicos y chicas. Obviamente, las 9 cuestiones donde tanto chicos como chicas coinciden en el signo negativo del cambio justifican la intervención más severa, pues diagnostican debilidades generales de la educación, y más si se tiene en cuenta que la mayoría de ellas se refieren a las clases de ciencias (desinterés, falta de apertura a trabajos nuevos, menor gusto por la asignatura de Ciencias, no aumentar la curiosidad y no mostrar la importancia de la ciencia para nuestra forma de vivir). Otras dos se refieren a la educación ambiental, a la disposición personal a resolver los problemas ambientales y a que todos deben preocuparse más por proteger el medio ambiente. Finalmente, también disminuye la preferencia por trabajos futuros que supongan tomar decisiones propias o trabajos importantes y significativos.

Los dos grupos de cambios negativos opuestos entre chicos y chicas también diagnostican debilidades, pero como solo son negativos para un grupo añaden una diferencia de género importante. Las debilidades de las chicas se refieren a las clases de ciencias (enseñar a cuidar mejor la salud) y las preferencias por trabajar con personas o con equipos de gente. Las debilidades de los chicos se refieren a que la CyT hace que nuestras vidas sean más saludables y pueden resolver los problemas ambientales, la utilidad de los aprendizajes de ciencias y varias preferencias de trabajo (ayudar a personas, usar talentos y habilidades, la adaptación a mis actitudes y valores, donde sucede algo nuevo y emocionante con frecuencia y mejora mis conocimientos y habilidades). Como estas debilidades afectan diferencialmente a chicos o a chicas, pero no a ambos, la intervención educativa de mejora requiere una perspectiva de atención a la diversidad de género centrada en lograr la equidad.

En suma, el análisis del efecto de los juegos sobre las actitudes según el género sugiere que las diferencias entre chicos y chicas antes y después de los juegos son pequeñas, más próximas entre sí después y, además, las actitudes de las chicas mejoran más que los chicos, reduciendo las diferencias con una inversión del patrón masculino inicial, en favor de un patrón final más femenino. El análisis diagnostica los rasgos actitudinales específicos que empeoran para chicos y chicas y que implican medidas de intervención educativa de mejora, y muy especialmente las medidas de atención a la diversidad de género, para adaptar al grupo las cuestiones cuando los signos son diferentes en chicos y chicas (unos mejoran y otros empeoran).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este estudio plantea una enseñanza innovadora de la NdC y el PCC mediante cuatro juegos epistémicos como respuesta a las dificultades de esa enseñanza (falta de recursos, escasa formación docente y ausencia de desarrollo en el alumnado) mediante la poderosa y simple analogía explícita de la práctica científica representada en los retos de cada juego. Además, se plantea en educación primaria, un escenario menos atendido por la investigación y más difícil de investigar, por el menor desarrollo cognitivo del alumnado (Cofré et al., 2019; Tena y Couso, 2023). Los investigadores verificaron que los docentes llevaron a cabo la apropiación autocrítica y trasposición didáctica de los juegos a sus aulas adecuadamente.

Las situaciones de aprendizaje de los juegos enseñan aspectos simples de la NdC mediante una metodología explícita, reflexiva y adaptada al desarrollo cognitivo del alumnado. Los investigadores y el profesorado constataron que el alumnado se implicó con alta motivación para resolver el reto y ganar cada juego, de modo que los juegos amplifican las oportunidades de practicar y desarrollar las estrategias de pensamiento de manera natural, colaborativa y lúdica, lo que supone el primer paso para superar las barreras pedagógicas y construir aprendizajes significativos en NdC (Khishfe, 2020; Lederman, 2007; Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2020) y desarrollo del pensamiento (Chater, 2018; Willingham, 2010).

Este estudio se justifica por la naturaleza innovadora, accesible y emocionante de los juegos y las contribuciones cualitativas a la NdC y el PCC: la aportación de un recurso didáctico donde estos escasean, la transformación del dificultoso aprendizaje de NdC en uno motivador para el alumnado y, paralelamente, el fluido desarrollo profesional del profesorado en su práctica educativa. A través de las atractivas actividades de resolver el reto en cada juego, el alumnado tiene oportunidades continuas de practicar destrezas de PCC (crear hipótesis, argumentar con base en pruebas, explicar y predecir observaciones, investigar, etc.) en procesos vinculados con aspectos sociales en grupo (comunicar, convencer, cooperar), actitudinales (curiosidad, apertura, escepticismo, etc.) y epistémicos (coordinación evidencia-razonamiento). Como objetivos pedagógicos, el alumnado aprende a compartir proyectos, ideas y conceptos, participa en debates responsables y constructivos y coopera para ganar el juego. Simultáneamente, la flexibilidad de estos juegos permite su adaptación a las necesidades cambiantes de estudiantes y profesorado de primaria, y su sencillez garantiza su sostenibilidad para consolidar la enseñanza de temas de NdC en primaria (Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2020).

La principal conclusión del análisis cuantitativo es que los juegos resultan funcionales para mejorar aspectos sencillos de la NdC, pues todas las frases de la escala de imagen de la CyT mejoran su puntuación media, aunque las diferencias sean modestas. La mejora más relevante la logra la idea epistémica de que la CyT resuelve problemas, lo que coincide con la práctica vivida en cada juego (resolver el reto). También mejoran mucho la percepción de algunos aspectos de un trabajo futuro directamente relacionado con la práctica científica (hacer, crear o inventar algo) y la alta mejora de la expectativa acerca de tener un trabajo tecnológico, ambos resultados coherentes entre sí. La respuesta a la primera pregunta de investigación es positiva: los juegos son eficaces para promover actitudes favorables en el alumnado, pues el perfil actitudinal final de este mejora la imagen de la CyT.

Otro efecto cuantitativo de los juegos es la reducción de las diferencias de género en las actitudes. Después de los juegos, chicos y chicas exhiben actitudes más próximas entre sí que con anterioridad a estos juegos, ya que el patrón ligeramente masculino de las diferencias de género al inicio se convierte en un patrón ligeramente femenino al final, pues las chicas mejoran sus actitudes con los juegos más que los chicos. A diferencia de lo que ocurre con las actividades de laboratorio, este análisis exploratorio muestra que los juegos transmiten una imagen de CyT más realista, emocionante y motivadora para las chicas y para sus aspiraciones de trabajo, así como alejada del estereotipo masculino (Abrahams y Reiss, 2012; Archer et al., 2020; Holmes et al., 2022).

La respuesta a la segunda pregunta destaca las grandes mejoras en aspectos concretos de la imagen de la CyT (por ejemplo, la CyT resuelve los problemas) y en los rasgos importantes de un trabajo futuro (conseguir un trabajo en tecnología; hacer, diseñar o inventar algo). Paralelamente, las actitudes ambientales no cambian y diversos aspectos de las clases de ciencias empeoran, cuya interpretación es que estos aspectos no se relacionan con los juegos y, por ello, estos no influyen en aquellos.

Los aspectos actitudinales que empeoran sugieren distintas oportunidades para mejorar la educación científica. Por ejemplo, el descenso general del acuerdo con las frases sobre las clases de ciencias es una llamada de atención a renovar la enseñanza de la ciencia. Además, los aspectos donde chicas y chicos empeoran (un bajo interés en la ciencia escolar) requieren una intervención educativa prioritaria (hacer la ciencia más interesante). Sin embargo, los aspectos donde chicos y chicas exhiben resultados de signo opuesto, tales como el cuidado de la salud (las chicas empeoran y los chicos mejoran), o, al contrario, la utilidad del aprendizaje para la vida cotidiana (las chicas mejoran y los chicos empeoran), plantean un desafío mayor porque su mejora requiere medidas adaptadas a la diversidad de género observada en este análisis. En suma, las actitudes empeoradas sugieren sendos objetivos de mejora del aprendizaje STEM en primaria, cruciales para favorecer la participación del alumnado en STEM (Aguillon et al., 2020; Holmes et al., 2022; Quinn et al., 2020).

No obstante, la experiencia tiene algunas limitaciones contextuales. Las limitaciones de espacio restringen los resultados presentados a las respuestas a un cuestionario y algunos elementos observados (motivación, interés, demandas, etc.), cuyo complemento natural serían los análisis de las guías del alumnado mediante otras técnicas como tarea de futuro. El carácter analógico de los juegos es una limitación constitutiva respecto a la práctica científica real. Las lecturas tratan de compensarla proporcionando al alumnado ejemplos reales de la historia de la ciencia que conecten el juego con el currículo escolar (Fouad et al., 2015), como andamio para relacionar (pensando) el juego con el aprendizaje sobre la práctica científica y los conceptos curriculares (Abrahams y Reiss, 2012; Chater, 2018; Willingham, 2010). Por otro lado, las ideas de NdC evaluadas se limitan a frases sencillas de imagen de la CyT, porque una mayor profundidad epistémica resultaría desproporcionada para el alumnado. Asimismo, el modesto tiempo medio dedicado a los juegos en cada escuela frente al tiempo total de ciencias (apenas 6 %) y su descompensación entre juegos (el juego de cartas fue el más practicado y la caja misteriosa menos) no permiten esperar grandes efectos directos, aunque las tendencias identificadas son aportaciones valiosas.

El profesorado da cuenta de la gran impulsividad del alumnado por buscar la recompensa inmediata (ganar rápidamente), lo que inhibe la reflexión, necesaria para aprender eficazmente NdC y pensar. La impulsividad y sus contrapartes (la desmotivación o el abandono prematuro ante tareas exigentes) son nocivos para aprender y pensar, pues ambos requieren calma y tiempo para escuchar y abrirse (Kahneman, 2012). La norma de aceptar solo ideas que conlleven razones o evidencias de apoyo es una medida de inhibición de la impulsividad, fiel a la práctica científica y a la actividad de pensar como elemento fundamental para el aprendizaje, que podría mejorarse (por ejemplo, estableciendo un mínimo de observaciones o inscripciones en las guías antes de proponer, imponer penas por errar, planificar cada juego de simple a complejo, aplazar la cumplimentación de guías al final del juego para favorecer los procesos de meta y autorreflexión, reconstruir pensamientos y tomar conciencia de errores, de razones ignoradas y de oportunidades perdidas en cada jugada). El profesorado modera, anima y proporciona andamios para educar la resiliencia, ampliar y profundizar las reflexiones, contribuir a la comprensión y al éxito global del proceso en todo el grupo y evitar fracasos por decisiones impulsivas (Cofré et al., 2019; Willingham, 2012). Finalmente, aunque la muestra de participantes es diversa, su pequeño tamaño invita a una nueva replicación del estudio a mayor escala para apoyar la generalización de los resultados.

Como recursos educativos, los juegos aportan flexibilidad y autosostenibilidad, garantías de buena prospectiva. La flexibilidad deriva de la versatilidad de los juegos, cuyos contenidos son adaptables a diferentes edades, niveles y materias, así como a la propuesta del DUA (inclusividad, diversificación, motivación, creatividad y toma de decisiones). Por ejemplo, los cubos podrían representar números (matemáticas), letras (lenguas) o figuras (geometría) –diversificación y motivación–; incluir información única (simple) o múltiple (compleja) –inclusividad–; el juego de cartas podría intercambiar los roles de científico y naturaleza (creatividad), establecer limitaciones de respuestas (decisiones), organizar ligas, etc. Asimismo, los juegos son autosostenibles porque sus materiales son sencillos, baratos, duraderos, autodesarrollables y reutilizables en múltiples aulas o niveles. La flexibilidad y la sostenibilidad contribuyen a proyectar múltiples funcionalidades didácticas y facilitar la integración de los juegos en los programas de centro, graduando y adaptando sus contenidos de acuerdo con los principios de los recursos educativos abiertos (Wiley et al., 2014).

Aunque el efecto de los juegos se inscribe en el marco específico del currículo de ciencias de primaria (investigación científica), produce también transferencias de aprendizajes globales para el alumnado y los docentes, ya que potencian el aprendizaje de competencias transversales y generales mediante las destrezas del PCC: hacer (y responder) preguntas, observar, buscar datos, argumentar con base en la evidencia, discutir, etc. (NGSS, 2013). Los docentes se forman en la práctica, enseñando NdC y PCC, elaborando su plan, usando los materiales, aplicando y desarrollando las actividades para lograr un auténtico desarrollo profesional docente, donde la cooperación entre docentes aportaría una motivación social añadida (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2017b). Además, el aprendizaje de destrezas transversales y globales de PCC ofrece a estudiantes y docentes una vacuna contra la actual epidemia de información, desinformación, negacionismos y pseudociencias, claves en la vida ciudadana actual (Fourez, 1994; National Literacy Trust, 2018).

## REFERENCIAS

- Abrahams, I. y Reiss, M. J. (2012). Practical work: Its effectiveness in primary and secondary schools in England. *Journal of Research in Science Teaching*, 49, 1035-1055.  
<https://doi.org/10.1002/tea.21036>
- Aguillon, S. M., Siegmund, G. F., Petipas, R. H., Drake, A. G., Cotner, S. y Ballen, C. J. (2020). Gender differences in student participation in an active-learning classroom. *CBE Life Sciences Education*, 19(2), 12.  
<https://doi.org/10.1187/cbe.19-03-0048>
- Allchin, D. y Zemplén, G. Á. (2020). Finding the place of argumentation in science education: Epistemics and Whole Science. *Science Education*, 104, 907-933.  
<https://doi.org/10.1002/scs.21589>
- Andersen, H. (2001). Gender inequality and paradigms in the social sciences. *Social Science Information*, 40(2), 265-289.  
<https://doi.org/10.1177/053901801040002004>
- Archer, L., Moote, J., MacLeod, E., Francis, B. y DeWitt, J. (2020). *ASPIRES 2: Young people's science and career aspirations, age 10-19*. UCL Institute of Education.
- Arztmann, M., Hornstra, L., Jeurig, J. y Kester, L. (2022). Effects of games in STEM education: a meta-analysis on the moderating role of student background characteristics. *Studies in Science Education*, 59, 109-145.  
<https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2057732>

- Capraro, R. M., Capraro, M. M. y Morgan, J. R. (2013). *STEM Project-Based Learning*. Sense Publishers.
- Chater, N. (2018). *The mind is flat*. Allen Lane.
- Cheryan, S., Ziegler, S. A., Montoya, A. K. y Jiang, L. (2017). Why are some STEM fields more gender-balanced than others? *Psychological Bulletin*, 143(1), 1-35.  
<http://dx.doi.org/10.1037/bul0000052>.
- Clark, D. B., Tanner-Smith, E. E. y Killingsworth, S. S. (2016). Digital Games, Design, and Learning: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 86, 79-122.  
<https://doi.org/10.3102/0034654315582>
- Cofré, H., Nuñez, P., Santibáñez, D., Pavez, J. M., Valencia, M. y Vergara, C. (2019). A critical review of students' and teachers' understandings of nature of science. *Science & Education*, 28, 205-248.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2152294>
- Erduran, S. y Dagher, Z. R. (Eds.) (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education. Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories*. Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-94-017-9057-4>
- Erduran, S. y Kaya, E. (2018). Drawing nature of science in pre-service science teacher education: Epistemic insight through visual representations. *Research in Science Education*, 48, 1133-1149.  
<https://doi.org/10.1007/s11165-018-9773-0>
- Fensham, P. J. (2009). Real world contexts in PISA science: Implications for context-based science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 884-896.  
<https://doi.org/10.1002/TEA.20334>
- Ford, C. L. y Yore, L. D. (2012). Toward convergence of critical thinking, metacognition, and reflection: Illustrations from natural and social sciences, teacher education, and classroom practice. En A. Zohar y Y. J. Dori (Eds.), *Metacognition in science education* (pp. 251-271). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-007-2132-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2132-6_11)
- Fouad, K. E., Masters, H. y Akerson, V. L. (2015). Using History of Science to Teach Nature of Science to Elementary Students. *Science & Education*, 24, 1103-1140.  
<https://doi.org/10.1007/S11191-015-9783-5>
- Fourez, G. (1994). *La construcción del conocimiento científico*. Narcea.
- García-Carmona, A. (2022). La comprensión de aspectos epistémicos de la naturaleza de la ciencia en el nuevo currículo de Educación Secundaria Obligatoria, tras la LOMLOE. *Revista Española de Pedagogía*, 80 (283), 433-450.  
<https://doi.org/10.22550/REP80-3-2022-01>
- Gericke, N., Höglström, P. y Wallin, J. (2022). A systematic review of research on laboratory work in secondary school. *Studies in Science Education*.  
<https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2090125>
- Greene, J. A., Sandoval, W. A. y Bråten, I. (2016). *Handbook of epistemic cognition*. Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9781315795225>
- Hofer, B. K. (2016). Epistemic cognition as a psychological construct: Advancements and challenges. En J. A. Greene, W. A. Sandoval y I. Bråten (Eds.), *Handbook of epistemic cognition* (pp. 19-38). Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9781315795225>
- Holmes, N. G., Heath, G., Hubenig, K., Jeon, S., Kalender, Z. Y., Stump, E. y Sayre, E. C. (2022). Evaluating the role of student preference in physics lab group equity. *Physical Review Physics Education Research*, 18.  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010106>

- Jidesjö, A., Oskarsson, M. y Westman, A-K. (2021). *Trends in Student's Interest in Science and Technology: Developments and Results from the Relevance of Science Education Second (Roses) Study*. IOSTE 2020 Symposium. Kyungpook National University, Daegu, Korea (4-5 February).
- Kahneman, D. (2012). *Pensar rápido, pensar despacio*. Debate.
- Khishfe, R. (2020). Explicit Instruction and Student Learning of Argumentation and Nature of Science. *Journal of Science Teacher Education*, 32, 325-349.  
<https://doi.org/10.1080/1046560X.2020.1822652>
- Khishfe, R., Alshaya, F. S., BouJaoude, S., Mansour, N. y Alrudiyan, K. I. (2017). Students' understandings of nature of science and their arguments in the context of four socio-scientific issues, *International Journal of Science Education*, 39, 299-334.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1280741>
- Kreitchmann, R. S., Abad, F. J., Ponsoda, V., Nieto, M. D. y Morillo, D. (2019). Controlling for response biases in self-report scales: Forced-choice vs. psychometric modeling of Likert items. *Frontiers of Psychology*, 10.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02309>
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, present, and future. En S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-879). Lawrence Erlbaum Associates.  
<https://doi.org/10.4324/9780203097267>
- Lederman, N. G. y Lederman, J. S. (2019). Teaching and Learning of Nature of Scientific Knowledge and Scientific Inquiry: Building Capacity through Systematic Research-Based Professional Development. *Journal of Science Teacher Education*, 30, 737-762.  
<https://doi.org/10.1080/1046560X.2019.1625572>
- Li, M-C. y Tsai, C-C. (2013). Game-Based Learning in Science Education: A Review of Relevant Research. *Journal of Science Education and Technology*, 22, 877-898.  
<https://doi.org/10.1007/s10956-013-9436-x>
- Manassero-Mas, M. A. y Vázquez-Alonso, A. (2019). Conceptualización y taxonomía para estructurar los conocimientos acerca de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16, 3104.  
[https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2019.v16.i3.3104](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i3.3104)
- Manassero-Mas, M. A. y Vázquez-Alonso, Á. (2020). Pensamiento científico y pensamiento crítico: competencias transversales para aprender. *Indagatio*, 12, 401-419.  
<https://doi.org/10.34624/2Fid.v12i4.21808>
- Manassero Mas, M. A. y Vázquez Alonso, A. (2024). El impacto de juegos epistémicos para aprender sobre naturaleza de la ciencia en primaria. *Repositorio Institucional UIB*. <http://hdl.handle.net/11201/164427>
- Mullis, I. V. S., Martin, M. O. y von Davier, M. (2021). *TIMSS 2023 Assessment Framework*. Boston College. <https://timssandpirls.bc.edu/index.html>
- National Literacy Trust. (2018). *Fake news and critical literacy*. National Literacy Trust. [literacytrust.org.uk/fake-news-resources](http://literacytrust.org.uk/fake-news-resources).
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. The National Academies Press.  
<https://doi.org/10.17226/18290>
- OECD. (2017). *The Pursuit of Gender Equality: An Uphill Battle*. OECD Publishing.
- Oubahssi, L., Piau-Toffolon, C., Loup, G. y Sanchez, É. (2020). From Design to Management of Digital Epistemic Games. *International Journal of Serious Games*, 7, 23-46.  
<https://doi.org/10.17083/ijsg.v7i1.336>
- Plass, J. L., Mayer, R. E. y Homer, B. D. (2019). *Handbook of Game-based Learning*. The MIT Press.

- Quinn, K. N., Kelley, M. M., McGill, K. L., Smith, E. M., Whipps, Z. y Holmes, N. G. (2020). Group roles in unstructured labs show inequitable gender divide. *Physical Review Physics Education Research*, 16.  
<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010129>
- Ramsden, J. M. (1998). Mission impossible? Can anything be done about attitudes to science? *International Journal of Science Education*, 20(2), 125-137.  
<https://doi.org/10.1080/0950069980200201>
- Roberts, D. A. (2011). Competing visions of scientific literacy: The influence of a science curriculum policy image. En C. Linder, L. Östman, D. A. Roberts, P.-O. Wickman, G. Erickson y A. MacKinnon (Eds.), *Exploring the landscape of scientific literacy* (pp. 11-27). Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9780203843284>
- Rudge, D. W. y Howe, E. M. (2009). An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science & Education*, 18, 561-580.  
<https://doi.org/10.1007/s11191-007-9088-4>
- Saido, G. A. M., Siraj, S., DeWitt, D. y Al-Amedy, O. S. (2018). Development of an instructional model for higher order thinking in science among secondary school students: a fuzzy Delphi approach. *International Journal of Science Education*, 40, 847-866.  
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1452307>
- Settlage, J. y Southerland, S. A. (2020). Epistemic tools for science classrooms: The continual need to accommodate and adapt. *Science Education*, 103, 1112-1119.  
<https://doi.org/10.1002/sce.21510>
- Simonneaux, L. (2014). From promoting the techno-sciences to activism – A variety of objectives involved in the teaching of SSIS. En L. Bencze y S. Alsop (Eds.), *Activist science and technology education* (pp. 99-112). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-007-4360-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4360-1_6)
- Sjøberg, S. y Schreiner, C. (2019). *ROSE (The Relevance of Science Education.) The development, key findings and impacts of an international low-cost comparative project. ROSE Final Report, Part 1.* University of Oslo. [https://www.academia.edu/40272545/The\\_ROSE\\_project.\\_The\\_development\\_key\\_findings\\_and\\_impacts\\_of\\_an\\_international\\_low\\_cost\\_comparative\\_project\\_Final\\_Report\\_Part\\_1\\_of\\_2\\_](https://www.academia.edu/40272545/The_ROSE_project._The_development_key_findings_and_impacts_of_an_international_low_cost_comparative_project_Final_Report_Part_1_of_2_)
- Sjöström, J. y Eilks, I. (2020). Correction to: Reconsidering Different Visions of Scientific Literacy and Science Education Based on the Concept of *Bildung*. En Y. J. Dori, Z. R. Mevarech y D. R. Baker (Eds.), *Cognition, Metacognition, and Culture in STEM Education*. Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-66659-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66659-4_4)
- Tena, E. y Couso, D. (2023). El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(1), 101-123.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5573>
- Vázquez, A. y Manassero, M. A. (2007). *La relevancia de la educación científica*. Universitat de les Illes Balears.
- Vázquez-Alonso, Á. y Manassero-Mas, M. A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 2): Una revisión desde los currículos de ciencias y la competencia PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 34-55, <http://reuredc.uca.es/index.php/tavira/article/view/222>
- Vázquez-Alonso, A. y Manassero-Mas, M. A. (2016). Training secondary teachers about nature of science: a simple explicit-reflective model. En J. Lavonen, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto y K. Hahl (Eds.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2015 Conference* (pp. 916- 927). University of Helsinki. eBook2015\_Part\_6\_links.pdf (dropbox.com)

- Vázquez-Alonso, Á. y Manassero-Mas, M. A. (2017a). Contenidos de naturaleza de la ciencia y la tecnología en los nuevos currículos básicos de educación secundaria. *Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, 21, 294-312. <https://recyt.fecyt.es/index.php/profesorado/article/view/58064>
- Vázquez-Alonso, A. y Manassero-Mas, M. A. (2017b). Juegos para enseñar la naturaleza del conocimiento científico y tecnológico. *Educar*, 53, 149-170. <https://doi.org/10.5565/rev/educar.839>
- Wiley, D., Bliss, T. J. y McEwen, M. (2014). Open Educational Resources: A Review of the Literature. En J. Spector, M. Merrill, J. Elen y M. Bishop (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. 781-789). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5>
- Willingham, D. T. (2012). *Why Don't Students Like School?* Jossey-Bass. <https://doi.org/10.1002/9781118269527>

---

# The Impact of Epistemic Games on Learning about the Nature of Science in Primary Education

María Antonia Manassero-Mas

Facultad de Psicología, Universidad de las Islas Baleares, Palma, Islas Baleares, España.

ma.manassero@uib.es

Ángel Vázquez-Alonso

Instituto de Investigación e Innovación Educativa, Universidad de las Islas Baleares, Palma, Islas Baleares, España.

angel.vazquez@uib.es

Learning the nature of science (NoS) is difficult due to its metacognitive nature, which deals with the need to master thinking skills, the scarce teacher training, and the lack of didactic resources for teaching. These difficulties are amplified in primary education because the students' cognitive skills are still developing. This study precisely copes with the innovation of teaching NoS so that primary students may get real learning opportunities. To this aim, four epistemic games (tangram, cubes, cards, and mystery box) that simulate the scientific practice and highlight some key scientific thinking skills involved in knowledge validation are here presented. The games teach and learn some basic aspects of NoS (change, observation, pattern recognition, interpretation, investigation), by means of an explicit and reflective pedagogy as well as the practice of scientific thinking skills. The exploratory objective of this study is twofold: the self-critical appropriation of the innovative didactic materials of games by teachers and the motivation of the students to participate in the learning activities. Furthermore, the study explores the effectiveness of games on some students' attitudes to science.

The study methodology describes the material and normative elements of each game, their didactic materials for teachers and students, the instruments developed for the exploratory analysis, the procedures followed along the whole innovation, and the participants. The format of the innovative teaching-learning sequences adopts the question-challenge design, which must be answered by a small group of students as a research cooperative project that anticipated the format of the learning situations of the current Spanish educational law. The exploratory analysis corresponds to a quasi-experimental pre-post-test design, which involves the application of the attitudinal instrument before and after the students played the games in order to comparatively check the educational impact of games on some affective variables (the image of science, perceptions of science classes, environmental attitudes and preferred features of a job). The participants perform a convenience sample of five schools that freely decided to participate in the game plan; the teachers implemented the game activities in their classrooms for their sixth-grade primary school students with the support of the researchers. Technically, the game activities developed the contents on scientific research of the Spanish primary science curriculum.

The direct observation and the collaboration between researchers and teachers indicated good acceptance, reception and self-critical appropriation of the game materials by the teachers. Likewise, students showed big enthusiasm and interest along the game activities and insistently demanded to continue playing beyond the scheduled time, as the teachers reported and the researchers observed within the classrooms, which point to the large motivation and significant learning. The comparison between pre-test and post-test data display improvements on the image of science and the preferences for future work, while environmental attitudes do not change and the perception of science classes even decreases. However, only a few specific aspects have got relevant and significant improvements: the growing appreciation for technology jobs and some epistemic aspects, such as the idea that science and technology can solve almost all problems and trust on scientists. Gender comparisons also yield an interesting global effect: girls' attitudes improve more than boys' attitudes. Thus, the experience of games seems to be more effective and friendly for girls, unlike some results of the laboratory activities, which traditionally displayed a male gender bias.

The feasibility and effectivity of teaching NoS through games to develop thinking and attitudes towards science is the main conclusion of this study. Then, some limitations of this study, as well as the prospective potential of games due to their flexibility and sustainability, are emphasized.





# La noción de límite en libros de texto españoles de segunda enseñanza del siglo XIX

## The Notion of Limit in 19<sup>th</sup>-Century Spanish Secondary Education Textbooks

Mónica Arnal-Palacián

*Departamento de Matemáticas – IUMA, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España*  
marnalp@unizar.es

Javier Claros-Mellado

*IES Calderón de la Barca, Pinto, España*  
fclaros@iescalderon.es

Antonio M. Oller-Marcén

*Departamento de Matemáticas – IUMA, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España*  
oller@unizar.es

**RESUMEN** • El proceso de formalización y aritmetización de la noción de límite tuvo lugar esencialmente durante el siglo XIX. Durante esa época, la actividad matemática en España estuvo muy orientada a la producción de libros de texto. Así, en este trabajo se estudia la presencia de dicha noción en las obras de segunda enseñanza utilizadas en España a lo largo del siglo XIX y se identifican los distintos fenómenos intuitivos y formales que aparecen en ellas. Se aborda una investigación documental de carácter exploratorio y descriptivo, según el método histórico. A partir del análisis exhaustivo de 27 obras, se aprecia una clara tendencia a incluir el límite en obras dedicadas al álgebra y la aritmética, frecuentemente vinculado a las sucesiones y utilizando un sistema de representación verbal. Entre los fenómenos organizados a partir de los diferentes límites predominan los de un enfoque formal.

**PALABRAS CLAVE:** Límite; Fenomenología; España; Segunda enseñanza; Siglo XIX.

**ABSTRACT** • The process of formalization and arithmetization of the notion of limit took place essentially during the 19<sup>th</sup> century. During that period, the mathematical activity in Spain was very much oriented towards the production of textbooks. In this paper, we study the presence of this notion in the secondary education textbooks used in Spain during the 19<sup>th</sup> century, and we identify the different intuitive and formal phenomena that appear in them. We carried out documentary research of an exploratory and descriptive character, following the historical method. From the exhaustive analysis of 27 works, we see a clear tendency to include the limit mainly in works dedicated to algebra and arithmetic, frequently linked to successions, and using verbal representation. Among the phenomena organized on the basis of the different limits, those with a formal approach prevail.

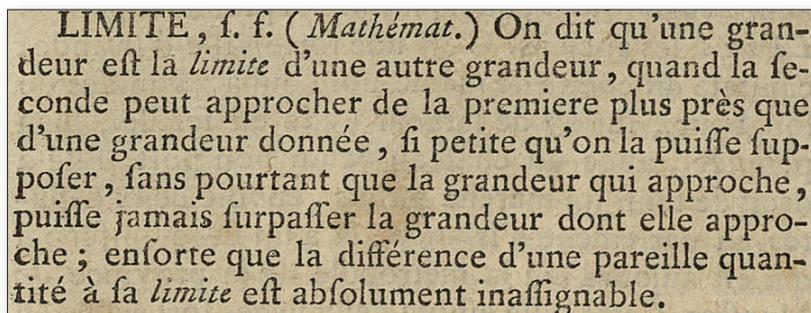
**KEYWORDS:** Limit; Phenomenology; Spain; Secondary education; 19<sup>th</sup> century.

Recepción: diciembre 2023 • Aceptación: abril 2024 • Publicación: junio 2024

## INTRODUCCIÓN

La noción matemática de límite es compleja e involucra elementos relacionados con el infinito potencial y con la idea de infinitesimal, presentes, aunque sea de forma incipiente e intuitiva, en las matemáticas de distintas civilizaciones antiguas (Katz, 1995). Desde un punto de vista matemático, la noción de límite resulta de gran relevancia, entre otros aspectos, por su papel crucial en la presentación moderna del cálculo diferencial (Tall, 2009). Por otro lado, el límite ha recibido mucha atención desde el punto de vista de la educación matemática, entre otras razones por su consideración dentro del pensamiento matemático avanzado (PMA), que requiere, frente al pensamiento matemático elemental (PME), de una reconstrucción cognitiva en la que se pasa de «describir» y «definir» a «convencer» y «demostrar» (Tall, 1991).

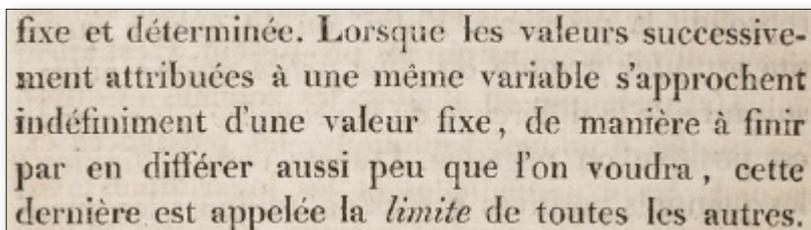
El proceso de formalización y aritmetización de la noción de límite, no exento de debate entre los matemáticos investigadores, tuvo lugar esencialmente durante el siglo XIX. Así, en 1765 D'Alembert escribió la definición de la figura 1 para la primera edición de la Enciclopedia (tomo 9, p. 542).



LIMITE, f. f. (*Mathémat.*) On dit qu'une grandeur est la *limite* d'une autre grandeur, quand la seconde peut approcher de la première plus près que d'une grandeur donnée, si petite qu'on la puisse supposer, sans pourtant que la grandeur qui approche, puisse jamais surpasser la grandeur dont elle approche; en sorte que la différence d'une pareille quantité à sa *limite* est absolument inassignable.

Fig. 1. Definición de límite en la Enciclopedia. Fuente: *Académie des Sciences*.

Cauchy (1821, p. 4), aunque introduce la idea de variable, sigue utilizando una terminología poco precisa (figura 2).



fixe et déterminée. Lorsque les valeurs successivement attribuées à une même variable s'approchent indéfiniment d'une valeur fixe, de manière à finir par en différer aussi peu que l'on voudra, cette dernière est appelée la *limite* de toutes les autres.

Fig. 2. Definición de límite en el *Cours d'Analyse* de Cauchy. Fuente: *Bibliothèque Nationale de France*.

Posteriormente, ya en la segunda mitad del siglo XIX, Weierstrass introdujo una idea de límite vinculada más directamente al concepto de función como correspondencia (y no solo al de cantidad variable) y expresada en términos más próximos a los ya clásicos  $\varepsilon - \delta$  (Dugac, 1973). La presentación moderna de la noción de límite se atribuye generalmente al italiano Dini (figura 3), quien se basó en trabajos de Hankel, Dedekind, Cantor, Heine y Schwarz (Nakane, 2014).

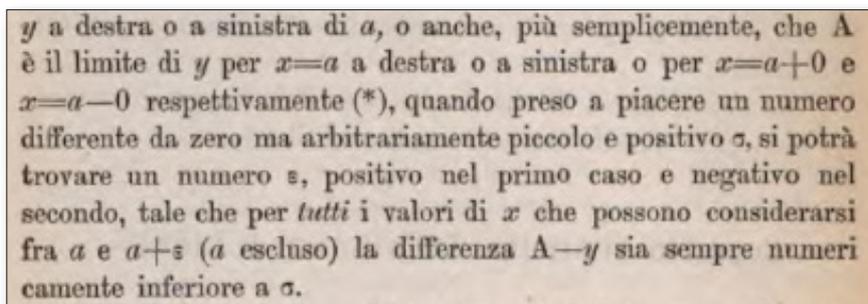


Fig. 3. Definición de límite en los *Fondamenti* de Dini (1878, p. 22). Fuente: New York Public Library.

Analizar la presencia de la noción de límite en manuales y libros de texto publicados en la época en la que el proceso anterior estaba teniendo lugar nos puede permitir apreciar el modo en que se produjo la trasposición de dicha noción entre la comunidad de investigadores y la comunidad de enseñantes (Bagni, 2005). De hecho, tal y como señala Schubring (2023, p. 4): «los libros de texto constituyen una fuente fundamental para la investigación acerca de la comunicación entre la investigación y la enseñanza». El caso de la noción de límite en el siglo XIX puede constituir un ejemplo paradigmático de esta afirmación.

Durante el siglo XIX en España «el ámbito en que se movieron los físicos y matemáticos españoles [...] fue, con muy pocas excepciones, el de la enseñanza» (Sánchez Ron, 1992, p. 58). Esta producción se vio fuertemente influenciada por obras francesas tanto a través de traducciones directas (Ausejo y Matos, 2014) como a través de la formación de algunos de los autores de obras originales (León-Mantero y Maz-Machado, 2015). Existen investigaciones que analizan libros de texto de segunda enseñanza españoles centradas, por ejemplo, en el ámbito de la geometría analítica (Sánchez Sierra y González Astudillo, 2017) que muestran que los diferentes tratamientos de un contenido dependen fuertemente del autor del texto y de las influencias recibidas por este. Así, pudieron recogerse en la «periferia» española distintas definiciones o concepciones sobre la noción de límite provenientes de los procesos de formalización que estaban teniendo lugar en las «metrópolis» académicas de la época (Schubring, 2023). En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿qué fenómenos organizados por el límite aparecen en los libros de texto de segunda enseñanza utilizados en España durante el siglo XIX? En relación con esta pregunta de investigación, los objetivos específicos de este trabajo son los siguientes:

1. Detectar y analizar la presencia de la noción de límite en libros de texto de segunda enseñanza utilizados a lo largo del siglo XIX en España.
2. Identificar los distintos fenómenos, intuitivos y formales, presentados en dichos libros de texto.

## MARCO TEÓRICO

### Segunda enseñanza en la España del siglo XIX

El siglo XIX fue un periodo de gran inestabilidad política en España. Las leyes educativas no fueron una excepción y los distintos reglamentos y planes de estudios –con muy diversas orientaciones ideológicas– se multiplicaron a lo largo del siglo (Real Apolo, 2012).

Desde el punto de vista de la ordenación general del sistema educativo, se suele considerar que la primera ley general española fue el Reglamento General de Instrucción Pública del 29 de junio de

1821 (Ruíz Berrio, 1970). Desde este momento, y a lo largo de todo el siglo XIX, el sistema educativo español se organiza en tres niveles: primera, segunda y tercera enseñanza. Después de este reglamento, se aprobaron sucesivamente el Plan General de Instrucción Pública (1836), el Plan General de Estudios (1845) y la Ley de Instrucción Pública (1857). Esta última norma, denominada Ley Moyano, sentó unas bases estructurales del sistema educativo español que se mantendrían vigentes hasta bien entrado el siglo XX (Montero Alcaide, 2009).

Los trabajos de Utande Igualada (1982) o Vea Muniesa (1995) permiten señalar con respecto a la segunda enseñanza en España durante el siglo XIX diversos periodos que, en cierto modo, recogen lo anterior. Así, a un periodo inicial (1821-1836), le siguen el nacimiento de la segunda enseñanza en España (1836-1845), un periodo de asentamiento (1845-1857), la consolidación de la etapa (1857-1868) y una larga crisis finisecular (1868-1900).

Además, a lo largo del siglo se promulgaron un gran número de distintos planes de estudios de segunda enseñanza que modificaron sucesivamente tanto su estructura, como los contenidos y asignaturas que impartir (Utande Igualada, 1964). En lo que se refiere a las matemáticas, la situación fue errática (Vea Muniesa, 1986, 1995).

Hasta 1845 se distingue entre segunda enseñanza elemental y superior. En el periodo elemental se especifica que deben impartirse unos «elementos de matemáticas», mientras que en el periodo superior tan solo se indica que debe realizarse una ampliación de los contenidos del periodo anterior. En ningún momento existieron temarios o currículos oficiales, de modo que los contenidos concretos quedaban completamente en manos de los docentes.

Entre 1845 y 1857 se establece una división entre segunda enseñanza elemental y de ampliación. En este intervalo de tiempo se concretan algo más los contenidos matemáticos. En el periodo elemental se debían abordar contenidos relativos a aritmética, álgebra, geometría y trigonometría. En el periodo de ampliación se extendían los conocimientos anteriores y se introducía el cálculo diferencial, la geometría analítica y la mecánica racional.

A partir de 1857 se produce un cierto retroceso en cuanto a las matemáticas se refiere. La mayor parte de los contenidos que hasta este momento se abordaban en el periodo de ampliación —en particular el cálculo diferencial, la geometría analítica y la mecánica— se trasladan a las recién creadas facultades de ciencias exactas, físicas y naturales, de modo que pasan así a formar parte de la tercera enseñanza. Desde este momento, y hasta prácticamente el cambio de siglo, los contenidos matemáticos propios de la segunda enseñanza en España son la aritmética, el álgebra, la geometría y la trigonometría, que se abordan en los denominados estudios generales de segunda enseñanza.

La inestabilidad y la ausencia de programas oficiales detallados suponían en principio que la responsabilidad sobre el desarrollo de las materias recaía exclusivamente sobre los docentes. Esta libertad de cátedra implicaba una gran variabilidad en el grado de extensión con que se abordaban las distintas materias, en particular las matemáticas, y otorgaba un importante papel a los libros de texto en la segunda enseñanza del siglo XIX (Benso Calvo, 2000). En un intento de control por parte del Gobierno, entre 1845 y 1868 se publicaron listas oficiales de libros de texto que debían ser adoptados por los profesores. A partir de 1868 cesa la publicación de listados oficiales. Esto intensificó la proliferación de libros de texto, al declarar que la publicación de manuales de calidad se considerase un mérito en la promoción profesional. Finalmente, aunque a partir de 1875 se restableció la normativa respecto a los libros de texto, en la práctica se mantuvo la libertad del docente para fijar sus programas y elegir sus propios textos.

## Fenomenología de la noción de límite

En este trabajo, hablamos de fenomenología en el sentido ofrecido por Freudenthal (1983). Para el caso de la noción de límite, Claros et al. (2007), Arnal-Palacián et al. (2020a) y Arnal-Palacián (2022) caracterizaron los fenómenos organizados a partir de una definición del límite finito de una sucesión, límite finito de una función en un punto, límite infinito de una sucesión y límite infinito de una función en el infinito.

En estas investigaciones, el estudio de los fenómenos se acometió desde dos enfoques: intuitivo y formal. La importancia de considerar ambos tipos de fenómenos se justifica porque los intuitivos son los primeros que nos permiten obtener un candidato a límite. Sin embargo, estos fenómenos no garantizan que el candidato a límite realmente lo sea, por lo que es necesaria la intervención de los fenómenos formales. La certeza de que un candidato a límite realmente lo sea vendrá determinada por el proceso de ida y vuelta. Reiterar estos procesos permite establecer o descartar si el supuesto límite ha sido bien elegido (Claros et al., 2013). Para poder abordar el fenómeno formal, es necesario partir de una definición del límite y analizar cada una de las nociones involucradas.

Para el caso particular del límite finito de una función en un punto se caracterizan los siguientes fenómenos (Claros et al., 2007):

- *Aproximación doble intuitiva*. Dados  $k$  pares de valores de una función real  $f$  de variable real  $(x_1, f(x_1)), (x_2, f(x_2)), \dots, (x_k, f(x_k))$ , se identifica la aproximación doble intuitiva cuando los valores  $x_1, x_2, \dots, x_k$  y sus respectivas imágenes  $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_k)$  parecen acercarse a sendos valores fijos distintos.
- *Retroalimentación o ida-vuelta en funciones*. Se observan dos procesos íntimamente relacionados:
  - El primer proceso, corresponde al fragmento de la definición: «para todo  $\varepsilon > 0$  existe algún  $\delta > 0$ ».
  - El segundo proceso corresponde al siguiente fragmento de la definición «si  $0 < |x - a| < \delta$ , entonces  $|f(x) - L| < \varepsilon$ ».

En el fenómeno de aproximación doble intuitiva se emplea la expresión «parece acercarse», a pesar de las dificultades que pudiese provocar este término (Tall y Vinner, 1981), para focalizar en la intuición de obtener un límite finito como conjetura a determinados valores inspeccionados; mientras que el fenómeno ida-vuelta en funciones se manifiesta al interpretar la definición métrica ( $\varepsilon$ - $\delta$ ), la cual exige la construcción de una función que permita la retroalimentación (Claros et al., 2007).

En el estudio de Arnal-Palacián et al. (2020a) para el límite infinito de una sucesión, se caracterizaron los siguientes fenómenos:

- *Crecimiento intuitivo ilimitado*. Una sucesión creciente cumple la idea de que los valores de la sucesión se van haciendo cada vez mayores. Si  $n > m$ , entonces  $a_n > a_m$  (siendo  $a_n$  el término general de la sucesión). Al comprobarlo para varios valores, deducimos intuitivamente que la sucesión es creciente.
- *Decrecimiento intuitivo ilimitado*. Una sucesión decreciente cumple la idea de que los valores de la sucesión se van haciendo cada vez más pequeños, entendiendo por pequeños aquellos números negativos cuyo valor absoluto es cada vez mayor. Si  $n > m$ , entonces  $a_n < a_m$ .
- *Retroalimentación o ida-vuelta en sucesiones de límite infinito*. Se observan dos procesos:
  - El primer proceso, denominado «ida» corresponde al fragmento de la definición: «si para cada  $H$  elemento de  $K$ , existe un número natural  $v$ ».
  - El segundo proceso, denominado «vuelta» corresponde al fragmento «tal que es  $a_n > H$  para todo  $n \geq v$ ».

En este último fenómeno, la retroalimentación se manifiesta observando conjuntamente estos dos procesos (ver figura 4).

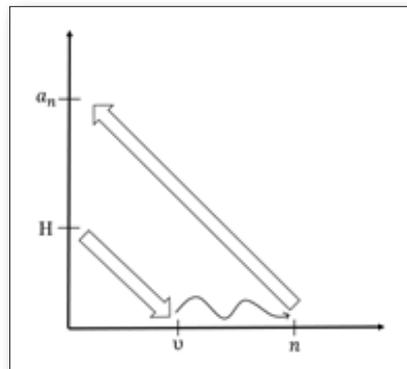


Fig. 4. Fenómeno de ida-vuelta en sucesiones de límite infinito (Arnal-Palacián, 2022).

En los distintos estudios fenomenológicos de la noción de límite, se estableció la relación entre estos fenómenos y el PME y PMA (Tall y Vinner, 1981). Tall (1991) situó la noción de límite dentro del PMA por los procesos cognitivos que implica su manejo, entre los que se encuentran la abstracción y la generalización. Cornu (1991) también lo sitúa en el PMA, pero justificando su postura en que se trata de una pieza fundamental en la teoría de las aproximaciones, continuidad, derivabilidad e integración. Tall (1991) afirma que el paso entre el PME y el PMA exige una transición que requiere de una reconstrucción cognitiva. Teniendo en cuenta esto, los fenómenos intuitivos formarán parte del PME, mientras que los fenómenos formales formarán parte del PMA, por el tipo de procesos utilizados (Edwards et al., 2005).

## MÉTODO

Nuestra investigación se orienta hacia el análisis y la comparación del contenido de manuales y libros de texto. A este respecto, Schubring y Fan (2018, p. 767) resaltan que investigar acerca de la evolución de la exposición de un concepto a lo largo de un periodo determinado permite «comprender el significado atribuido al concepto en una comunidad determinada en ese periodo y sus cambios evidencian la evolución sociocultural de las actividades matemáticas». Así, abordamos una investigación documental de carácter esencialmente exploratorio y descriptivo, que se ha desarrollado según las fases clásicas del método histórico (Ruíz Berrio, 1976): heurística, crítica y hermenéutica.

### Fase heurística

La fase heurística se corresponde con la determinación de la muestra de los textos que serán analizados. En nuestro caso se seleccionaron 27 obras de 20 autores diferentes, con una distribución temporal uniforme a lo largo del siglo XIX. A este respecto, siguiendo a Schubring (2023), entendemos una obra (*oeuvre*) como una colección de textos independientes que, pese a ello, se presentan de forma conjunta o se pueden considerar como parte de un plan general del autor. Por ejemplo, especialmente en la segunda mitad del siglo, se publican múltiples obras bajo el título *Elementos de matemáticas* que solían recoger en dos tomos los contenidos usuales de la segunda enseñanza elemental o general, con textos destinados a la aritmética (Ar), el álgebra (Al), la geometría (G) y la trigonometría (T). En

correspondencia con la evolución de la segunda enseñanza en España durante el siglo XIX que hemos descrito anteriormente, los textos seleccionados (tabla 1) se han agrupado en tres periodos: inicial y de nacimiento de la segunda enseñanza (hasta 1845), de asentamiento y consolidación (1845-1868) y de crisis (desde 1868).

Al observar las fechas de edición de algunas de las obras consideradas pueden apreciarse algunas aparentes discrepancias. Sobre esto, hay que señalar que, pese a la agrupación por periodos que acabamos de describir, resultaba común que obras de periodos anteriores siguieran utilizándose avanzado el tiempo. Por ejemplo, en el listado de libros de texto de segunda enseñanza de 25 de septiembre de 1849 todavía se mencionan las obras anteriores de Lacroix, Vallejo, Lista y Odriozola. Con el paso de los años, estas obras serán progresivamente sustituidas por otras posteriores que se mantendrán en uso hasta bien entrado el siglo XX (León-Mantero y Maz-Machado, 2015; Rico Romero y Maz Machado, 2007).

Las obras dedicadas específicamente a la geometría analítica (GA) y al cálculo diferencial (CD) dejaron de ser utilizadas en segunda enseñanza a partir de 1857, cuando estas materias desaparecieron de los planes de estudios de ese nivel educativo (Vea Muniesa, 1986). Lo mismo sucedió con algunos tratados de álgebra superior publicados antes de esa fecha, como la traducción de Bourdon o el libro de Cortázar.

Tabla 1.  
Obras consultadas

Primer periodo			
<i>Título</i>	<i>Autor</i>	<i>Edición consultada</i>	<i>Contenidos</i>
<i>Curso completo elemental de matemáticas puras</i>	Sylvestre F. Lacroix (trad. Josef Rebollo y Morales)	1807/1808	Ar, Al, G, T
<i>Tratado elemental de matemáticas</i>	José Mariano Vallejo	1812/1813	Ar, Al, G, T, GA, CD
<i>Elementos de matemáticas puras y mistas</i>	Alberto Lista y Aragón	1823/1825	Ar, Al, T, G, GA,
<i>Curso completo de matemáticas puras</i>	José de Odriozola	1827/1829	Ar, Al, G, T, GA, CD
<i>Elementos de aritmética</i>	Pierre Bourdon (trad. Calisto Fernández Formantany)	1843	Ar
Segundo periodo			
<i>Título</i>	<i>Autor</i>	<i>Edición consultada</i>	<i>Contenidos</i>
<i>Geometría analítica-descriptiva</i>	Mariano de Zorraquín	1819	GA
<i>Tratado completo de matemáticas. Tomo IV</i>	Agustín Gómez Santa María	1846	GA
<i>Elementos de cálculo diferencial y de cálculo integral</i>	Jean Louis Boucharlat (trad. Gerónimo del Campo)	1834	CD
<i>Cálculo diferencial e integral</i>	Fernando García de San Pedro	1828	CD
<i>Resumen de las lecciones de análisis</i>	Claude Navier (trad. Eugenio de la Cámara)	1850	CD
<i>Elementos de álgebra</i>	Pierre Bourdon (trad. Agustín Gómez Santa María)	1847	Al

<i>Elementos de matemáticas</i>	Acisclo F. Vallín y Bustillo	1864	Ar, Al, G, T
<i>Elementos de matemáticas</i>	Joaquín María Fernández Cardín	1858/1859	Ar, Al, G, T
<i>Tratado de aritmética</i>	Juan Cortázar	1851	Ar
<i>Tratado de álgebra elemental</i>	Juan Cortázar	1852	Al
<i>Tratado de álgebra superior</i>	Juan Cortázar	1858	Al
<i>Tratado de geometría elemental</i>	Juan Cortázar	1847	G
<i>Tratado de trigonometría rectilínea y esférica</i>	Juan Cortázar	1848	T
Tercer periodo			
<i>Título</i>	<i>Autor</i>	<i>Edición consultada</i>	<i>Contenidos</i>
<i>Tratado de aritmética</i>	Zoel García de Galdeano	1884	Ar
<i>Tratado de álgebra. Parte primera. Tratado elemental</i>	Zoel García de Galdeano	1883	Al
<i>Geometría elemental</i>	Zoel García de Galdeano	1888	G
<i>Elementos de matemáticas</i>	Ambrosio Moya	1892/1898	Ar, Al, G, T
<i>Elementos de matemáticas</i>	Marcelino Gavilán y Reyes	1897	Ar, Al, G, T
<i>Elementos de matemáticas</i>	Vicente Rubio y Díaz	1872	Ar, Al, G, T
<i>Elementos de matemáticas</i>	Ricardo Baltzer (trad. Eulogio Jiménez y Manuel Merele)	1879	Ar, Al, G, T
<i>Elementos de matemáticas</i>	Santiago Moreno y José Ceruelo	1893	Ar, Al, G, T
<i>Tratado completo de matemáticas elementales. Tomo I</i>	Luis Álix	1874	Ar

## Fase crítica

Durante la fase crítica se realiza un análisis de las fuentes seleccionadas, con el fin de determinar su validez. Esto implica la realización de una crítica externa, relacionada con aspectos relativos a la autenticidad de las fuentes, y de una crítica interna, que se centra en asegurar la adecuada comprensión del contenido de los documentos.

Desde el punto de vista de la crítica externa, Scott (1990) señala cuatro criterios que deben satisfacer las fuentes utilizadas: autenticidad, credibilidad, representatividad y significado. Los dos primeros criterios se satisfacen gracias a que se han consultado versiones digitalizadas de los textos disponibles en repositorios públicos. El criterio de representatividad se garantiza como resultado del trabajo realizado en la fase anterior en relación con la selección de la muestra de obras analizadas. En concreto, en el periodo 1845-1868 se han consultado todas las listas oficiales publicadas en la *Gaceta de Madrid* en esos años, mientras que en los restantes periodos se han utilizado como referencia los trabajos de Vea Muniesa (1986, 1995). Finalmente, la investigación realizada supone atender únicamente al significado literal de los documentos analizados.

En cuanto a la crítica interna, las obras seleccionadas se revisaron íntegramente. En una primera aproximación se realizó una búsqueda automatizada por términos clave (límite, infinit\*, aproxima\*, tiende, variable, aproxima\*, etc.), para después pasar a realizar un análisis del contenido de aquellas

obras que incluían el concepto de límite, orientado por los resultados de la búsqueda anterior. En particular, las unidades de análisis fueron las secciones o los capítulos de cada una de estas obras que contenían las palabras anteriormente mencionadas.

Tabla 2.  
Variables y categorías del análisis

<i>Variable</i>	<i>Categorías</i>
Contenido al que se vincula	Aritmética, álgebra, geometría, trigonometría, geometría analítica, cálculo diferencial
Objeto al que se vincula	Sucesión, función
Tipo de límite	Para sucesiones: finito, infinito
	Para funciones: finito en un punto, infinito en un punto, finito en el infinito, infinito en el infinito
Formato	Definición (d), ejemplo (e), aplicación (ap)
Sistema de representación	Verbal (v), gráfico (g), numérico (n), tabular (t), simbólico-algebraico (a)

En la tabla 2 se muestran las variables para el análisis, junto a las categorías de cada una de ellas. Las categorías de la variable *contenido* surgen de considerar los contenidos de matemáticas propios de la segunda enseñanza a lo largo del siglo XIX (Vea Muniesa, 1995). Las categorías de las variables *objeto*, *tipo de contenido* y *formato* provienen de Claros-Mellado et al. (2016) y Arnal-Palacián et al. (2020b). En el caso de la variable *formato*, además, ha sido necesario incluir una nueva categoría, *aplicación*, que recoge aquellas situaciones en las que el límite aparece utilizado de manera instrumental. Finalmente, para definir las categorías de la variable *sistema de representación* se han combinado los trabajos de Janvier (1987) y de Blázquez y Ortega (2001).

### Fase hermenéutica

Durante la fase hermenéutica se lleva a cabo una interpretación histórico-pedagógica de los datos obtenidos a partir del análisis anterior. En nuestro caso, se trata de vincular los distintos tipos de límites y enfoques identificados con algunos de los fenómenos descritos por Claros et al. (2007), Arnal-Palacián et al. (2020a) y Arnal-Palacián (2022), así como con los enfoques (intuitivo y formal) descritos por Edwards et al. (2005), teniendo en cuenta también las variables introducidas en la tabla 2. Todo esto se relaciona finalmente con rasgos del PME y del PMA.

## RESULTADOS

### Presencia del concepto de límite

La noción de límite está muy presente en las 27 obras revisadas. De hecho, tan solo en tres de ellas no aparece en absoluto. Se trata en los tres casos de obras dedicadas exclusivamente a la trigonometría (Cortázar) o a la geometría analítica (Zorraquín y Gómez Santa María). Como detallaremos a continuación, tampoco hemos identificado la noción de límite vinculada a estos dos contenidos en ninguna de las 24 obras restantes que fueron finalmente analizadas. En la tabla 3 se recoge la presencia del concepto de límite asociado a los distintos contenidos.

Tabla 3.  
Presencia de la noción de límite asociado a los distintos contenidos en las obras revisadas

<i>Contenido</i>	<i>Número total de obras</i>	<i>Número de obras en las que aparece la noción de límite</i>	<i>Porcentaje</i>
Aritmética	15	12	80 %
Álgebra	15	14	93,3 %
Geometría	13	11	84,6 %
Trigonometría	12	0	0 %
Geometría analítica	5	0	0 %
Cálculo diferencial	5	5	100 %

Evidentemente, el concepto de límite aparece en todos los textos dedicados al cálculo diferencial. Dejando al margen este hecho, se observa una muy ligera tendencia por parte de los autores a incluir el límite principalmente dentro de los textos y obras dedicados al álgebra por encima de los dedicados a otros contenidos. De hecho, únicamente uno de los textos de álgebra analizados omite completamente la noción de límite. Se trata del tomo correspondiente de los *Elementos* de Alberto Lista y Aragón.

Si centramos el análisis únicamente en el contexto de aquellos contenidos propios de la segunda enseñanza durante todos los periodos del siglo XIX, es decir, si dejamos de lado el cálculo diferencial y la geometría analítica (desaparecidos de la segunda enseñanza desde 1857), podemos señalar que la presencia del límite es similar a lo largo de los tres periodos (tabla 4).

Tabla 4.  
Proporción de obras analizadas que incluyen la noción de límite en periodos

	<i>Aritmética</i>	<i>Álgebra</i>	<i>Geometría</i>
Periodo 1	4/5 (80 %)	3/4 (75 %)	3/4 (75 %)
Periodo 2	2/3 (66,6 %)	5/5 (100 %)	3/3 (100 %)
Periodo 3	6/7 (85,7 %)	6/6 (100 %)	5/6 (83,3 %)

Al margen de la presencia de la noción de límite, resulta relevante determinar a qué contenido se vincula su definición. Para ello, focalizamos el análisis en aquellas obras que tratan tanto sobre aritmética como sobre álgebra y geometría. Se trata, en concreto, de 13 obras. En la figura 5 podemos ver en qué parte de estas se introduce la definición de la noción de límite.

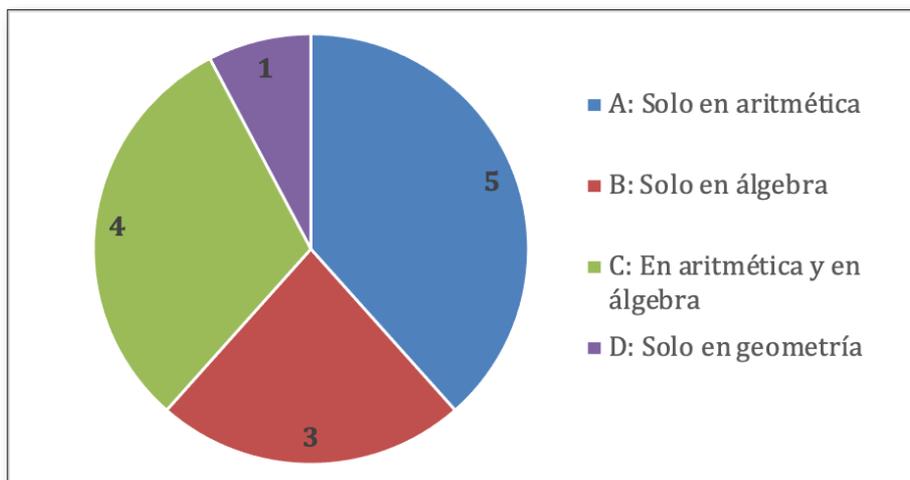


Fig. 5. Contenidos en los que se introduce la definición de límite en obras que tratan de aritmética, álgebra y geometría.

Aunque los datos de la tabla 4 sugieren que la presencia del límite en los textos de geometría es similar porcentualmente a su presencia en los textos de aritmética y álgebra, esta presencia es de una naturaleza muy diferente. De hecho, solo uno de los once textos de geometría que incluyen la noción de límite presenta su definición. En los otros diez casos nos encontramos siempre únicamente ante aplicaciones de la noción de límite. Entre estas aplicaciones cabe destacar, como caso paradigmático, por su frecuencia, el uso de la noción de límite en el contexto de polígonos inscritos y circunscritos a una circunferencia (figura 6).

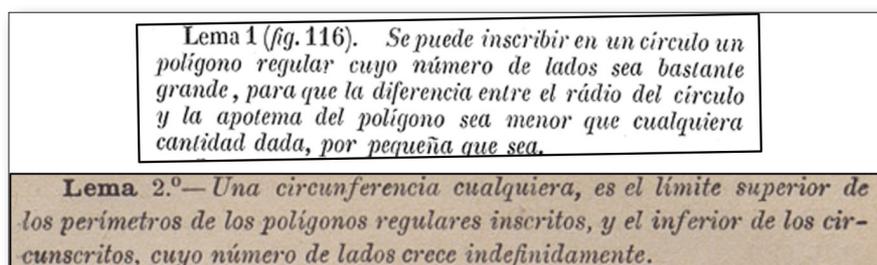


Fig. 6. Cortázar, 1847, p. 86 (arriba) y Moya, 1898, t. II, p. 145 (abajo).

A este respecto, en la figura 7 podemos observar en mayor detalle cómo se distribuye la presencia de la noción de límite según los distintos formatos considerados (definiciones, ejemplos y aplicaciones), y se aprecia la mencionada diferencia de la geometría frente a la aritmética o el álgebra.

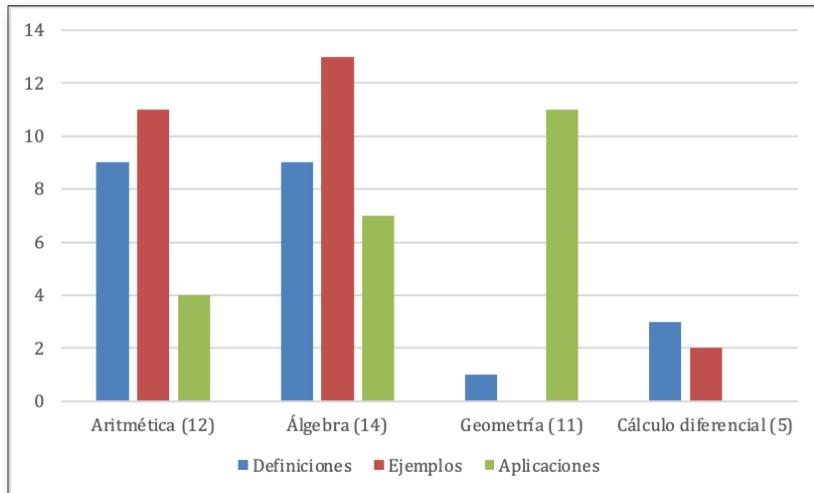


Fig. 7. Formatos en los que aparece el concepto de límite en las obras consideradas.

El comportamiento es muy similar en los textos dedicados a la aritmética y al álgebra. Prácticamente todos los textos analizados incluyen ejemplos, las definiciones son algo más frecuentes en los textos de aritmética, mientras que la proporción de los textos de álgebra que incluyen aplicaciones es mayor.

En trece de las obras consideradas se aborda de algún modo la idea de límite vinculado a funciones. En estos casos, se trata siempre de definiciones o ejemplos y casi siempre en textos sobre álgebra o cálculo diferencial. Por otro lado, la idea de límite aparece con mayor frecuencia vinculada a sucesiones; en concreto, en veinte de las obras analizadas. Encontramos estos objetos casi por igual en textos de aritmética y de álgebra, y con mucha menor frecuencia de geometría. Además, se presentan tanto en definiciones como en ejemplos y aplicaciones.

Observamos que se utiliza de forma abrumadoramente mayoritaria el sistema de representación verbal, a menudo de manera exclusiva. De hecho, el uso combinado de más de un sistema de representación resulta una práctica poco habitual dentro de las obras analizadas. Salvo en una excepción, en todos los casos en los que se combinan sistemas de representación, uno de ellos es siempre el verbal. En particular, en todos los casos en los que se presenta alguna definición del concepto de límite se hace a través de un registro verbal. Solo en tres ocasiones se combina este registro con un sistema de representación simbólico-algebraico (figura 8) al presentar su definición.

**Y de estas igualdades, que expresan aquellas hipótesis, se deduce que, siendo las diferencias  $a_1 - a$  y  $a_2 - a$  suficientemente pequeñas, serán tan pequeñas como queramos, ó sea, menores que toda cantidad, por diminuta que se la suponga, las diferencias  $b_1 - b$ ,  $b_2 - b$  y**

$$\frac{b_1 - b}{a_1 - a} - \frac{b_2 - b}{a_2 - a} = \delta - \delta'.$$

Fig. 8. Combinación de registro verbal y simbólico-algebraico. Fuente: Baltzer, 1879, 3.ª parte, p. 16.

Las escasas apariciones del sistema de representación numérico (figura 9) están siempre vinculadas a la presentación de ejemplos. Solo en dos fragmentos se utiliza este sistema de representación de forma exclusiva, apareciendo casi siempre en combinación con un registro verbal, y en un caso simbólico-algebraico.

0,4545.. 0,454545.. 0,4545454	son variables, cuyo límite superior es	$\frac{45}{99}$
0,211 ... 0,2111 ..... 0,21111...	" " "	$\frac{21-2}{90}$
0,9..... 0,99 ..... 0,999 .....	" " "	1.

Fig. 9. Sistema de representación numérico. Fuente: Rubio y Díaz, 1872, 1.ª parte, p. 162.

El sistema de representación simbólico-algebraico es algo más utilizado (lo encontramos en once de los veinte autores considerados). Además, este sistema de representación es utilizado tanto en definiciones como en ejemplos y aplicaciones, aunque predominan claramente estos dos últimos formatos. Solo en dos casos se llega a utilizar en exclusiva el sistema de representación simbólico-algebraico.

Para terminar, el sistema de representación tabular aparece utilizado en un único caso (figura 10) en combinación con un registro verbal durante la presentación de un ejemplo. Ninguna de las obras analizadas incluye el sistema de representación gráfico.

<i>Números.</i>	<i>Logaritmos.</i>
10,000 00	1,000 00
3,162 28	0,500 00
1,778 28	0,250 00
1,333 52	0,125 00
1,154 78	0,062 50
1,074 61	0,031 25
1,036 63	0,015 62
1,018 15	0,007 81
1,009 04	0,003 91
1,004 51	0,001 95
1,002 25	0,000 98
1,001 12	0,000 49
1,000 56	0,000 24
1,000 28	0,000 12
1,000 14	0,000 06
1,000 07	0,000 03
1,000 04	0,000 02
1,000 02	0,000 01
1,000 01	0,000 00

Fig. 10. Sistema de representación tabular. Fuente: Baltzer, 1879, 2.ª parte, p. 113.

### Relación con los fenómenos

Los fenómenos organizados a partir de las definiciones del límite finito e infinito de una sucesión se presentan predominantemente en los textos de aritmética y de álgebra. Entre ellos destacan aquellos con un enfoque formal, especialmente para el límite finito de una sucesión (tabla 5).

Tabla 5.  
Obras analizadas que incluyen fenómenos de sucesiones

	Aritmética (12)		Álgebra (14)		Geometría (9)	
	Intuitivo	Formal	Intuitivo	Formal	Intuitivo	Formal
Finito	7	10	5	9	0	1
Infinito	1	3	3	6	0	0

Los fenómenos intuitivos caracterizados para los límites de sucesiones (figura 11) se encuentran únicamente en los textos dedicados al álgebra y a la aritmética, en cada uno de los periodos considerados.

**\* 193.** *Las potencias enteras y positivas de un número mayor que 1 crecen, creciendo su esponente; y pueden valer mas que cualquiera cantidad, llegando á ser suficientemente grande el esponente.*

Fig. 11. Fenómeno intuitivo para el límite de una sucesión. Fuente: Cortázar, 1852, p. 175.

El enfoque intuitivo se utiliza en cada uno de los tres periodos considerados para presentar tanto el límite finito como el infinito de una sucesión. En relación con el sistema de representación, durante el primer periodo todos los fragmentos de enfoque intuitivo encontrados se presentan en el registro verbal, independientemente del contenido al que se vincule, pero en el caso de límite finito, además, se acompaña del sistema de representación numérico. En el segundo periodo continúa la tendencia anterior, pero se suma el sistema de representación simbólico-algebraico a los límites tanto finito como infinito de sucesiones para presentar dicho concepto. En el tercer periodo, para el límite finito se incorpora el sistema de representación tabular a los fenómenos que ya se usaron en el segundo periodo. En cambio, respecto al límite infinito, desaparece el sistema de representación simbólico-algebraico en este periodo. Atendiendo al formato, se emplean ejemplos, definiciones y aplicaciones para presentar tanto el límite finito como el infinito. Las aplicaciones se emplean únicamente en los periodos segundo y tercero (tabla 6).

Los fenómenos formales caracterizados para los límites de sucesiones (figura 12) se encuentran principalmente en los textos dedicados al álgebra y a la aritmética en cada uno de los tres periodos considerados, aunque aparece un fragmento dedicado al límite finito de sucesiones en el segundo periodo en un libro de geometría.

**174.** La cantidad que por su naturaleza cambia de valor, se llama *variable*; y la que conserva un valor fijo, se llama *constante*.  
Si los valores sucesivos de una cantidad variable se van aproximando al valor fijo de una constante, sin poder nunca igualarse con este, pero sí aproximársele cuanto se quiera, la *constante* se llama *límite* de la variable. Este límite es *superior* ó *inferior*, según que sea mayor ó menor que la variable.

Fig. 12. Fenómeno formal para el límite de una sucesión. Fuente: Moya, 1892, t. I, p. 93.

El enfoque formal se utiliza en cada uno de los tres periodos considerados para presentar los límites tanto finito como infinito de una sucesión. En relación con el sistema de representación, durante el primer periodo se emplean el registro verbal, numérico y simbólico-algebraico, estos dos últimos asociados únicamente al límite finito de una sucesión. Respecto al segundo y tercer periodos, los sistemas de representación usados son de nuevo el verbal, el simbólico-algebraico y el numérico, pero mientras que los dos primeros se emplean en los límites tanto finito como infinito, el registro numérico se emplea únicamente en el límite finito. Se emplean ejemplos, definiciones y aplicaciones para presentar los límites tanto finito como infinito. Las aplicaciones se emplean en todos los periodos, pero en el primero de ellos únicamente está asociado al límite finito (tabla 6).

Tabla 6.  
Descripción de los fenómenos para los límites de sucesiones encontrados con referencia al sistema de representación, formato y tipo de límite

	Contenido	Enfoque	
		Intuitivo	Formal
Primer periodo	Aritmética	$v - d$ (finito)	$v - e, v - d, v/n - e$ (finito)
	Álgebra	$v - e, v/n - e$ (finito) $v - e$ (infinito)	$v/a - ap, v - d, v/a - e$ (finito) $v - e$ (infinito)
Segundo periodo	Aritmética	$v/n - e, v - d$ (finito)	$v - ap, v/a - ap, v - d, v - e, v/a - e$ (finito)
	Álgebra	$v - d, v/a - ap, v - e, v/a - e$ (finito) $v/a - ap, v/a - e, v - e$ (infinito)	$v/a - ap, n/a - e, v - e, a - ap, v - d, v - ap$ (finito) $v/a - ap$ (infinito)
	Geometría		$v - d$ (finito)
Tercer periodo	Aritmética	$v/a - d, v/a - e, v - e, v - ap, v/n - e, n - e, v/t - e$ (finito) $v - e$ (infinito)	$v - d, v/n - e, v/n - ap, v - e, v - d$ (finito) $a - ap, v - e, v/a - ap$ (infinito)
	Álgebra	$v/n - e$ (finito)	$v - ap, v - d, v/a - ap, v - e, v/a - e, v/a - d$ (finito) $v/a - ap, v - d, v/a - d$ (infinito)

En el caso de las funciones, los fenómenos organizados para los cuatro tipos de límites considerados se presentan predominantemente en los textos de álgebra y de cálculo diferencial. Entre ellos destacan aquellos con un enfoque formal, especialmente para el límite finito en el infinito y el límite infinito en un punto (tabla 7).

Tabla 7.  
Obras analizadas que incluyen fenómenos de funciones

	Aritmética (12)		Álgebra (14)		Cálculo dif. (5)	
	Intuitivo	Formal	Intuitivo	Formal	Intuitivo	Formal
Finito en un punto	0	0	0	1	1	2
Finito en el infinito	0	1	3	4	2	1
Infinito en un punto	0	1	2	6	0	1
Infinito en el infinito	0	0	1	0	1	1

Los fenómenos intuitivos caracterizados para los límites de funciones (figura 13) se encuentran en los textos dedicados al álgebra, tanto en el primer como en el tercer periodo; y al cálculo diferencial, únicamente en el primer periodo.

ó dividiendo  $a$ . Con todo, como á medida que crece el divisor, disminuye el quociente, quanto mayor sea el valor que asignemos á  $x$ , tanto mas se aproximará á *cero* el valor de  $\frac{a}{x}$ ; bien que jamas podrá ser exáctamente igual á *cero*, segun requiere la propuesta del problema <sup>2</sup>.

Fig. 13. Fenómeno intuitivo para límite de una función. Fuente: Lacroix, 1808, t. II, p. 149.

El enfoque intuitivo se utilizó durante el primer periodo para cada uno de los cuatro límites de funciones estudiados, mientras que en el tercer periodo quedó reservado este enfoque para el límite infinito en un punto. En relación con el sistema de representación, durante el primer periodo todos los fragmentos de enfoque intuitivo encontrados se presentan en el registro verbal, independientemente del contenido al que se vincule; mientras que en el tercer periodo el registro verbal se acompaña del registro numérico. Atendiendo al formato, los manuales destinados al álgebra presentan todos los fragmentos que incluyen fenómenos intuitivos a partir de ejemplos, mientras que aquellos destinados al cálculo diferencial abordan tanto ejemplos como definiciones (tabla 8).

47. Una funcion es CONTINUA cuando á un incremento muy pequeño de la variable ó de las variables, corresponde un incremento muy pequeño de la funcion, y tan pequeño como se quiera, cuando se haga suficientemente pequeño el de las variables. Ejemplo:  
 Sea la funcion de primer grado  

$$y = ax + b;$$
 siendo  $x$  un valor de la variable é  $y$  el valor correspondiente de la funcion. Si á  $x$  se le dá otro valor  $x'$ , se obtendrá para un nuevo valor que llamaremos  $y'$ , de manera que tendremos  

$$y' = ax' + b$$

$$y - y' = ax - ax' = a(x - x')$$
 y, restando ambas expresiones, miembro á miembro,  
 donde se ve que la diferencia  $y - y'$  entre dos valores de la funcion podrá hacerse tan pequeña como se quiera, haciendo  $x - x'$  suficientemente pequeño, es decir, haciendo que la variable sufra alteraciones muy pequeñas, y tanto como se quiera.

Fig. 14. Fenómeno formal para límite de una función. Fuente: García de Galdeano, 1883, p. 17.

Los fenómenos formales (figura 14) se hallan durante todo el siglo XIX, aunque se localizan en contenidos diferentes en los distintos periodos. Durante el primer y segundo periodos, los fenómenos formales aparecieron vinculados al álgebra y al cálculo diferencial, pero esta tendencia se vio modificada en el tercer periodo, al manifestarse en los contenidos de aritmética y álgebra.

Precisamente, la vinculación al contenido de aritmética es una de las diferencias más notables entre ambos enfoques, formal e intuitivo, en el límite de funciones. Como ya sucediese para el enfoque intuitivo, los fenómenos formales sirvieron para presentar los cuatro tipos de límites durante el primer periodo. Sin embargo, esta formalización desapareció para el límite infinito de una función en el infinito en el resto de las obras analizadas. En relación con el sistema de representación, el registro verbal está presente en cada uno de los fragmentos en los que se identifica el límite de funciones. Además, existe una manifestación del registro simbólico-algebraico ya desde el primer periodo y del registro numérico desde el segundo. En los dos casos sirve para acompañar al registro verbal. Ambos formatos, definiciones y ejemplos se utilizan durante los tres periodos, si bien es cierto que durante el primer periodo las definiciones con un enfoque formal se utilizan para los límites en el infinito, mientras que durante el resto del siglo se utilizan para el límite en un punto. Asimismo, el formato también puede diferenciarse según el contenido, ya que los fenómenos formales se presentan vinculados a la aritmética solo para mostrar ejemplos (tabla 8).

Tabla 8.  
Descripción de los fenómenos para los límites de funciones encontrados con referencia al sistema de representación, formato y tipo de límite

	Contenido	Enfoque	
		Intuitivo	Formal
Primer periodo	Álgebra	v - e (infinito en el infinito) v - e (finito en el infinito) v - e (infinito en un punto)	v - e, v - d (finito en el infinito) v - e (infinito en un punto)
	Cálculo diferencial	v - e (finito en un punto) v - d (infinito en el infinito)	v/a - e (finito en un punto) v - d (infinito en el infinito) v - d, v - e, v/a - e (finito en el infinito) v - e (infinito en un punto)
Segundo periodo	Álgebra	-	v/n - e, v - e, v/a - e (infinito en un punto)
	Cálculo diferencial	-	v - d (finito en un punto)
Tercer periodo	Aritmética	-	v - e (finito en el infinito) v - e (infinito en un punto)
	Álgebra	v/n - e (infinito en un punto)	v - d, v/a - d (finito en un punto) v - e (finito en el infinito) v/n - e, v - e (infinito en un punto)

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Después del análisis realizado, observamos que la noción de límite aparece en una elevada proporción de las 27 obras revisadas. Tan solo está ausente de los textos dedicados a la trigonometría y a la geometría analítica. Aunque el cálculo diferencial desapareció relativamente pronto de los planes de estudios de segunda enseñanza, los límites se mantuvieron presentes de forma permanente en textos de aritmética y álgebra. De hecho, este parece ser el lugar natural para la introducción de los límites

en el periodo y nivel educativo analizados. Por ejemplo, Vallejo y Odriozola, que escriben obras que incluyen textos independientes sobre aritmética, álgebra y cálculo diferencial no definen el concepto de límite por primera vez en el texto sobre cálculo diferencial, sino en el dedicado al álgebra (Vallejo) o tanto en el de aritmética como en el de álgebra (Odriozola).

Hemos identificado diferencias entre los autores respecto a la ubicación de la definición de la noción de límite. Esencialmente existen tres posturas a la hora de definir esta noción por primera vez (tabla 9). Esto abre la puerta a posibles investigaciones sobre perfiles de autores de textos de la época.

Tabla 9.  
Perfiles de autores según el lugar de definición del límite

<i>Solo en aritmética</i>	<i>Solo en álgebra</i>	<i>En aritmética y en álgebra</i>
Lacroix, Lista y Aragón, Vallín y Bustillo, Gavilán, Moreno y Ceruelo.	Vallejo, Moya, Baltzer.	Odriozola, Cortázar, García de Galdeano, Rubio y Díaz.

Aunque una idea intuitiva de límite era ya muy antigua, su conceptualización y formalización son coetáneas a gran parte de los textos estudiados. En términos generales se aprecia aún una cierta confusión con respecto a la naturaleza epistemológica de esta noción (aritmética, geométrica o algebraica). Estas dificultades podrían estar unidas a las del desarrollo riguroso de la noción de función durante la época a partir de ideas más o menos intuitivas sobre cantidades variables (Youschkevitch, 1976); pero también podrían estar relacionadas con el desarrollo del infinito actual, necesario para dominar la noción de límite y que no es aceptado hasta el siglo XIX. Sobre esto, Belmonte (2009) señala que, aunque el infinito potencial es aceptado ya desde la antigua Grecia, la aceptación del actual no se resuelve hasta Cantor. De hecho, subraya que autores tan importantes en el desarrollo de la definición de límite como Cauchy no aceptaron el infinito actual. La inexistencia de temarios detallados antes del inicio del siglo XX también pudo contribuir a la diversidad de posturas identificadas entre distintos autores.

La presentación de la noción de límite que aparece en múltiples textos es muy similar a la que se encuentra en la *Enciclopedia* ya a mediados del siglo XVIII (figura 1), incluso en lo referente al uso de la representación verbal, y en la que según Schubring (2005, p. 212) hay un «dominio de lo geométrico». Apenas se utiliza el término *función* en las obras analizadas (que se relacionaría con un enfoque más próximo a Weierstrass), predominando la idea de cantidad variable (similar a lo empleado por Cauchy). Esta situación puede entenderse en parte por la utilización prolongada en el tiempo de textos que iban quedando anticuados. Por ejemplo, el *Tratado* de Vallejo, acabado en 1807 y publicado en 1812, aún se recomendaba en las listas oficiales de 1856. Por otro lado, pese a ser muchos los libros de texto publicados en la España del siglo XIX (Sánchez Ron, 1992), estos tenían escasa originalidad y eran escritos por docentes de segunda enseñanza pensando exclusivamente en el uso de sus propios alumnos. Ambas situaciones eran ya criticadas en la época por autores como García de Galdeano (Miana y Oller-Marcén, 2022).

En definitiva, en términos generales la noción de límite en los textos analizados se aborda de un modo relativamente poco avanzado, empleando más ejemplos que definiciones a la hora de presentarlo. También indicamos que aparece vinculada con mayor frecuencia a la noción de sucesión que a la de función (en términos actuales) y se utiliza con muy poca frecuencia el lenguaje simbólico-algebraico. Los autores más modernos a este respecto son Baltzer, un alemán; Cortázar, formado en el extranjero (León-Mantero y Maz-Machado, 2015); y García de Galdeano, con intensos contactos internacionales y que pasó la mayor parte de su vida tratando de renovar la formación matemática en España (Hormigón, 1983). Es interesante señalar que este peso de las influencias personales de los autores de las obras coincide con lo ya señalado por Sánchez Sierra y González Astudillo (2017) en el contexto de la geo-

metría analítica. Por otro lado, estos autores presentan un avance mayor, aunque incompleto, hacia la algebrización de la noción de límite (Schubring, 2005). Este avance se verá continuado en los textos de las primeras décadas del siglo XX (Arnal-Palacián et al., 2020b, Claros-Mellado et al., 2016) que fueron escritos, en buena medida, por matemáticos que ya se habían formado con un enfoque más moderno.

Pese a que la noción de límite se presenta de una manera poco técnica, los fenómenos formales (situados en el PMA) prevalecen y van adquiriendo cada vez más importancia en el desarrollo del límite, según avanzan los periodos considerados. Esto coincide con el hecho de que las definiciones de D'Alembert y Cauchy, que podrían situarse dentro de lo que Tall (1991) denominaba PME, van dejando paso a la definición de Weierstrass, que situamos en el PMA. Esto se observa en el hecho de que aparecen con mayor frecuencia los fenómenos formales que los intuitivos, especialmente en el tercer periodo y asociados al álgebra. Los fenómenos formales son más predominantes que los intuitivos (situado en el PME) tanto en sucesiones como en funciones, y por lo tanto se puede afirmar que se da una evolución similar en ambas nociones de límites.

La noción de límite es una noción que debería estar en el PMA, teniendo en cuenta los procesos implicados en su desarrollo y posterior comprensión. Para poder llevar a cabo esta introducción parece que los autores de libros de texto ven necesaria, para su presentación en la segunda enseñanza, una combinación de fenómenos intuitivos y formales que se van entrelazando y preparan al estudiante para enseñanzas posteriores.

Desde una mirada fenomenológica se aprecia que la noción de límite fue abordada durante prácticamente todo el siglo XIX desde un registro verbal, tanto para el enfoque intuitivo como para el formal. En particular, para el caso de los fenómenos intuitivos, aunque se presentan los registros numérico, simbólico-algebraico y tabular acompañando al registro verbal, esto sucede de manera casi aislada y únicamente para el límite de sucesiones. No obstante, la riqueza de registros para este tipo de límite es mayor que durante buena parte del siglo XX, ya que hasta la década de 1980 no aparece el registro gráfico para el límite de una sucesión con un enfoque intuitivo, y hasta 1990 no se observa el registro tabular (Claros-Mellado et al., 2016). En el caso de los fenómenos formales, de nuevo es el registro verbal el que con mayor frecuencia aparece, y la escasa incidencia de los registros verbal, numérico y simbólico-algebraico se ha mantenido hasta el siglo XXI con la sola excepción del periodo de 1975-1995 para algunos tipos de límite (Arnal-Palacián et al., 2020b; Claros-Mellado et al., 2016).

Para finalizar, es importante puntualizar que el aparato teórico que se ha utilizado durante la fase hermenéutica es de carácter ahistórico y su desarrollo es reciente, en trabajos como los citados anteriormente. Además, aunque ha sido utilizado con éxito en el análisis de libros de texto modernos, se planteó inicialmente desde un punto de vista teórico especulativo, como paso previo a una investigación de diseño. A este respecto, autores como Grattan-Guinness (2004) advierten sobre los posibles peligros de analizar textos antiguos bajo una perspectiva moderna. Sin embargo, desde un punto de vista metodológico, creemos que el carácter descriptivo de la investigación, que trata de evitar realizar juicios valorativos sobre el tratamiento de la noción de límite por parte de los distintos autores considerados, contribuye a evitar en buena medida estos peligros.

Como se ha puesto de manifiesto, este aparato teórico se ha revelado muy útil en el análisis de los textos seleccionados, proporcionando una interesante visión de conjunto sobre el tratamiento de la noción de límite a lo largo del siglo XIX en la segunda enseñanza en España. Sin embargo, hay que recordar que la noción de límite fue formalizada a finales del siglo XIX. Por tanto, se puede reflexionar respecto al modo en que se reflejan los distintos fenómenos, en particular los formales, en los textos de los dos primeros periodos en comparación con el tercero. Por ejemplo, resulta relevante comparar la aproximación de la figura 15 (primer periodo) con la que se mostró en la figura 8 (tercer periodo). En ambos casos se trata de un fenómeno formal para el límite de funciones, pero los sistemas de representación y la terminología utilizadas son diferentes. Cabe preguntarse si existirá una evolución más

o menos continua a lo largo del siglo XIX a este respecto, así como en lo relativo al paso del enfoque intuitivo al formal. De hecho, quizás podría considerarse el caso de la figura 15 como una cierta situación transitoria entre los fenómenos intuitivos y los formales.

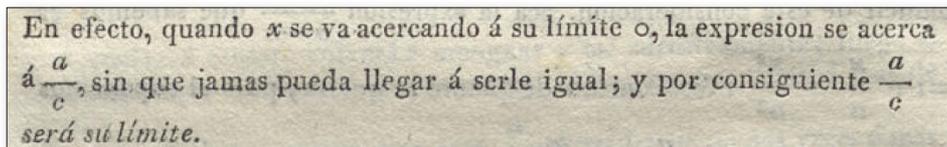


Fig. 15. Fenómeno formal para límite de una función. Fuente: Vallejo, 1813, t. II, parte II, p. 74.

Para poder abordar esta cuestión, que trasciende los objetivos de este trabajo, es necesario ir más allá del estudio fenomenológico descriptivo que hemos realizado y analizar con mayor detalle las definiciones y los modos de presentar la noción de límite en los textos considerados.

En cualquier caso, la aplicación del aparato teórico en un contexto diferente a aquel para el que fue diseñado nos ha permitido identificar algunas situaciones, en especial en el caso de los textos dedicados a la geometría, con potencial para ampliar o refinar el conjunto de los fenómenos organizados por la noción de límite. Esto abre la puerta a futuras investigaciones e ilustra el interés y utilidad que tiene una aproximación histórica en el ámbito de la investigación en educación matemática (González-Astudillo, 2009).

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado dentro del grupo de investigación de referencia «Investigación en Educación Matemática» (S60\_23R) reconocido oficialmente por el Gobierno de Aragón.

## REFERENCIAS

- Arnal-Palacián, M., Claros-Mellado, J. y Sánchez-Compañía, M. T. (2020a). Infinite Limit of Sequences and Its Phenomenology. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, 15(3), em0593.  
<https://doi.org/10.29333/iejme/8279>
- Arnal-Palacián, M., Claros-Mellado, J. y Sánchez-Compañía, M. T. (2020b). Límite infinito de sucesiones en libros de texto españoles: desde 1936 hasta 2019. *PNA*, 14(4), 295-322.  
<https://doi.org/10.30827/pna.v14i4.15143>
- Arnal-Palacián, M. (2022). Infinite limit of a function at infinity and its phenomenology. *Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis | Studia ad Didacticam Mathematicae Pertinentia*, 14, 25-41.  
<https://doi.org/10.24917/20809751.14.3>
- Ausejo, E. y Matos, J. M. (2014). Mathematics Education in Spain and Portugal. En A. Karp y G. Schubring (Eds.), *Handbook on the History of Mathematics Education* (pp. 284-291). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9155-2\\_14](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9155-2_14)
- Bagni, G. T. (2005). The historical roots of the limit notion: cognitive development and the development of representation registers. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 5, 453-468.  
<https://doi.org/10.1080/14926150509556675>

- Belmonte, J. L. (2009). *Modelos intuitivos y esquema conceptual del infinito en estudiantes de educación primaria, secundaria obligatoria, bachillerato y universidad* [Tesis doctoral, Universidad de Salamanca]. <http://hdl.handle.net/10366/76247>
- Benso Calvo, C. (2000). El libro de texto en la enseñanza secundaria (1845-1905). *Revista de Educación*, 323, 43-66.
- Blázquez, S. y Ortega, T. (2001). Los sistemas de representación en la enseñanza del límite. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 4(3), 219-236.
- Boyer, C. B. (1959). *The history of the calculus and its conceptual development*. Dover Publications.
- Cauchy, A. L. (1821). *Cours d'Analyse de L'École Royale Polytechnique*. Debure frères.
- Cornu, B. (1991). Limits. En D. Tall (Ed.), *Advanced Mathematical Thinking* (pp.153-166). Kluwer. [https://doi.org/10.1007/0-306-47203-1\\_10](https://doi.org/10.1007/0-306-47203-1_10)
- Claros, J., Sánchez, M. T. y Coriat, M. (2007). Fenómenos que organiza el límite. *PNA*, 1(3), 125-137. <https://doi.org/10.30827/pna.v1i3.6210>
- Claros, F. J., Sánchez, M. T. y Coriat, M. (2013). Sucesión convergente y sucesión de Cauchy: equivalencia matemática y equivalencia fenomenológica. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 113-131. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n2.900>
- Claros-Mellado, J., Sánchez-Compañía, M. T. y Coriat-Benarroch, M. (2016). Tratamiento del límite finito en libros de texto españoles de secundaria: 1933-2005. *Educación Matemática*, 28(1), 125-152. <https://doi.org/10.24844/EM2801.05>
- Dini, U. (1878). *Fondamenti per la teorica delle funzioni di variabli reali*. Tipografia T. Nistri e C.
- Dugac, P. (1973). Elements d'analyse de Karl Weierstrass. *Archive for History of Exact Sciences*, 10(1), 41-176. <https://doi.org/10.1007/BF00343406>
- Edwards, B. S., Dubinsky, E. y McDonald, M. A. (2005). Advanced mathematical thinking. *Mathematical Thinking and Learning*, 7(1), 15-25. [https://doi.org/10.1207/s15327833mtl0701\\_2](https://doi.org/10.1207/s15327833mtl0701_2)
- Freudenthal, H. (1983). *Didactical Phenomenology of Mathematics Structures*. Reidel Publishing Company. <https://doi.org/10.1007/0-306-47235-X>
- González-Astudillo, M.T. (2009). La investigación en historia de la educación matemática. *Educación y Ciencia*, 1(36), 37-58.
- Grattan-Guinness, I. (2004). History or heritage? An important distinction in mathematics and for mathematics education. *The American Mathematical Monthly*, 111(1), 1-12. <https://doi.org/10.2307/4145010>
- Hormigón, M. (1983). Una aproximación a la biografía científica de García de Galdeano. *El Basilisco: Revista de materialismo filosófico*, 16, 38-47.
- Janvier, C. (1987). Representation and Understanding: The Notion of Function as an Example. En C. Javier (Ed.), *Problems of representations in the teaching and learning of mathematics* (pp. 67-71). Lawrence Erlbaum.
- Katz, V. J. (1995). Ideas of calculus in Islam and India. *Mathematics Magazine*, 68(3), 163-174. <https://doi.org/10.1080/0025570X.1995.11996307>
- León-Mantero, C. y Maz-Machado, A. (2015). Juan Cortázar y sus aportaciones a la Educación Matemática española del siglo XIX. *ENSAYOS, Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 30(1), 55-62.
- Miana, P. J. y Oller-Marcén, A. M. (2022). En torno a la correspondencia internacional de Zoel García de Galdeano. *Asclepio*, 74(1), p. 592. <https://doi.org/10.3989/asclepio.2022.13>

- Montero Alcaide, A. (2009). Una ley centenaria: la ley de instrucción pública (Ley Moyano, 1857). *Cabás, 1*, 105-127.
- Nakane, M. (2014). Did Weierstrass's differential calculus have a limit-avoiding character? His definition of a limit in  $\epsilon$ - $\delta$  style. *BSHM Bulletin: Journal of the British Society for the History of Mathematics*, 29(1), 51-59.  
<https://doi.org/10.1080/17498430.2013.831241>
- Real Apolo, C. (2012). La configuración del sistema educativo español en el siglo XIX: Legislación educativa y pensamiento político. *Campo Abierto. Revista de Educación*, 31(1), 69-94.
- Rico Romero, L. y Maz Machado, A. (2007). Libros de texto de matemáticas en España durante los siglos XVIII y XIX. En M. F. Guzmán (Coord.), *Humanidades y ciencias. Aspectos disciplinares y didácticos: Homenaje a la profesora Ana Vilches Benavides* (pp. 297-308). Atrio.
- Ruiz Berrio, J. (1970). *Política escolar de España en el siglo XIX: (1808-1833)*. CSIC.
- Ruiz Berrio, J. (1976). El método histórico en la investigación histórica de la educación. *Revista Española de Pedagogía*, 134, 449-475.
- Sánchez Ron, J. M. (1992). Las ciencias Físico-Matemáticas en la España del siglo XIX. En J.M. López Piñero (Ed.), *La Ciencia en la España del siglo XIX* (pp. 51-84). Marcial Pons.
- Sánchez Sierra, I. M. y González Astudillo, M. T., (2017). La geometría analítica en España durante el siglo XIX: estudio de las soluciones negativas de una ecuación. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(3), 89-106.  
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2348>
- Schubring, G. (2005). *Conflicts between Generalization, Rigor, and Intuition: Number Concepts Underlying the Development of Analysis in 17th-19th Century France and Germany*. Springer.  
<https://doi.org/10.1007/0-387-28273-4>
- Schubring, G. (2023). *Analysing Historical Mathematics Textbooks*. Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-17670-8>
- Schubring, G. y Fan, L. (2018). Recent advances in mathematics textbook research and development: an overview. *ZDM Mathematics Education*, 50(5), 765-771.  
<https://doi.org/10.1007/s11858-018-0979-4>
- Tall, D. (1991). The Psychology of Advanced Mathematical Thinking. En D. Tall (Ed.), *Advanced Mathematical Thinking* (pp. 3-21). Kluwer.  
[https://doi.org/10.1007/0-306-47203-1\\_1](https://doi.org/10.1007/0-306-47203-1_1)
- Tall, D. O. (2009). Dynamic mathematics and the blending of knowledge structures in the calculus. *ZDM Mathematics Education*, 41(4), 481-492.  
<https://doi.org/10.1007/s11858-009-0192-6>
- Tall, D. y Vinner, S. (1981). Concept image and concept definition in mathematics with particular reference to limits and continuity. *Educational Studies in Mathematics*, 12(2), 151-169.  
<https://doi.org/10.1007/BF00305619>
- Utande Igualada, M. (1964). *Planes de estudio de enseñanza media*. Ministerio de Educación Nacional.
- Utande Igualada, M. (1982). Un siglo y medio de la Segunda Enseñanza (1820-1970). *Revista de Educación*, 271, 7-41.
- Veá Muniesa, F. (1986). *Las matemáticas en los planes de estudios de enseñanza secundaria en España en el siglo XIX*. Universidad de Zaragoza.
- Veá Muniesa, F. (1995). *Las matemáticas en la enseñanza secundaria en España en el siglo XIX*. Seminario de Historia de la Ciencia y de la Técnica de Aragón.
- Youschkevitch, A. H. (1976). The Concept of Function up to the Middle of the 19th Century. *Archive for History of Exact Sciences*, 16(1), 37-85.  
<https://doi.org/10.1007/BF00348305>

---

# The Notion of Limit in 19<sup>th</sup>-Century Spanish Secondary Education Textbooks

Mónica Arnal-Palacián

Departamento de Matemáticas – IUMA, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España  
marnalp@unizar.es

Javier Claros-Mellado

IES Calderón de la Barca, Pinto, España  
fclaros@iescalderon.es

Antonio M. Oller-Marcén

Departamento de Matemáticas – IUMA, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España  
oller@unizar.es

The mathematical notion of limit is a complex one, and it involves elements related to potential infinity and to the idea of infinitesimal which are present, even if in an incipient and intuitive form, in the mathematics of different ancient civilizations. However, the process of formalization and arithmetization of the notion of limit took place essentially during the 19<sup>th</sup> century. Throughout that period, mathematical activity in Spain was very much oriented to the production of textbooks, with the treatment of mathematical content strongly depending on the author of the text and the influences that he could have received. The analysis of the presence of the notion of limit in textbooks published at that time, when the above process was taking place, makes it possible to appreciate the transposition of this notion between the research and the teaching communities. It can also illustrate how different definitions or conceptions of the notion of limit could have found their way into the Spanish «periphery» from the formalization processes that were being developed in the academic «metropolis» of the time.

Hence, this paper aims to analyze the presence of this notion in the secondary education textbooks used in Spain throughout the 19<sup>th</sup> century, and to identify the different intuitive and formal phenomena that appear in them. To do so, we carried out documentary research of an exploratory and descriptive nature, according to the classical phases of the historical method (heuristics, criticism, and hermeneutics). Particularly, 27 textbooks written by 20 different authors were selected, and they were classified according to three periods based on the evolution of the Spanish educational legislation of the time. We analyzed these textbooks not only regarding the different phenomena, but also according to the content in which the notion of limit appeared (arithmetic, algebra, geometry, trigonometry, analytic geometry, and differential calculus), the mathematical object involved (sequences or functions), the type of limit (finite, infinite, at a point, etc.), the format (definition, example, or application) and the system of representation (verbal, graphic, numeric, tabular, and symbolic-algebraic).

From the exhaustive analysis of these texts, we observe an important presence of the notion of limit, which is in fact absent only from three of the analyzed books. In addition, there is a clear tendency to include the definition and examples of the notion of limit in works devoted to algebra and arithmetic, as opposed to a predominance of applications in the case of geometry textbooks. We also point out that the notion of limit appears more frequently linked to the concept of sequence than to the concept of function (using modern terminology), mainly by means of a verbal register, and with a scarce presence of the symbolic-algebraic system of representation. In general terms, the notion of limit is approached in a relatively unadvanced way in the analyzed texts, with more examples than formal definitions when presenting it. Although the notion of limit is presented in a rather non-technical way, formal phenomena (related to advanced mathematical thinking) prevail, and they become more and more important as the considered periods progress. This is made clear by the fact that, in the third period, formal phenomena appear more frequently than intuitive ones, and they do so in association with algebra. Formal phenomena are more predominant than intuitive ones (related to elementary mathematical thinking) both in sequences and in functions. Thus, we detect a similar evolution in both notions of limits.

Finally, the theoretical apparatus proved very useful in the analysis of the selected sources, providing an interesting overview of the treatment of limit throughout the 19<sup>th</sup> century in Spanish secondary education. This illustrates the interest and usefulness of the interplay between a historical approach and the use of theoretical frameworks coming from the field of mathematics education research.

