
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

REVISTA DE INVESTIGACION Y EXPERIENCIAS DIDACTICAS

vol. 43, n. 1, marzo 2025

CONSEJO DE REDACCIÓN

Ana María Abril Gallego. DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS. UNIVERSIDAD DE JAÉN. • Lluís Albarracín Gordo. DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LA MATEMÁTICA 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. • Nuria Climent Rodríguez. DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICAS INTEGRADAS. FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN. UNIVERSIDAD DE HUELVA. • Consuelo Domínguez Sales. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I SOCIALS. UNIVERSITAT DE VALÈNCIA. • Anna R. Esteve Martínez. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I SOCIALS. UNIVERSITAT DE VALÈNCIA. • Valentín Gavidia Catalán. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I SOCIALS. UNIVERSITAT DE VALÈNCIA. • Carme Grimalt-Alvaro. DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS. UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA. • Julià Hinojosa Lobato. DEPARTAMENT D'EDUCACIÓ LINGÜÍSTICA I LITERÀRIA I DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I DE LA MATEMÀTICA. UNIVERSITAT DE BARCELONA. • Rut Jiménez-Liso. DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN. UNIVERSIDAD DE ALMERIA. • Victor López Simó. 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.

DIRECCIÓN 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, INSPE DE LYON. FRANCIA. • Leonor Camargo Uribe. DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS, UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL. COLOMBIA. • Antonia Candela. DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES EDUCATIVAS, CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN. MÉXICO. • Marcelo de Carvalho Borba. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" (UNESP). BRASIL. • Lydia R. Galagovsky. INSTITUTO CENTRO DE FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS (CEFIEC), FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES, UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. ARGENTINA. • Alma Adrianna Gómez-Galindo. UNIDAD MONTERREY, CINVESTAV. MÉXICO. • 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/UFRJ). 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

EDICIÓN

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

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

INDEXACIÓN

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

Diseño del interior y maquetación:

Celso Hernández de la Figuera y Gómez

Gestión editorial:

Felipe Corredor Álvarez

Recepción de originales:

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

Correo electrónico

r.enseñanza.ciencias@uab.cat



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

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

Depósito legal: B-12373-1983

INVESTIGACIONES DIDÁCTICAS

Transformando la manera de enseñar ciencias: evidencias a favor de la indagación, <i>Delfina D'Alfonso, Nadia De León, María Heller, Lineth Campos, Krystel del Rosario</i>	5
Una mirada al conocimiento del educador de docentes de matemáticas: un estudio de caso, <i>Andrés Pérez-Montilla, José María Cardeñoso, Miguel Ángel Montes</i>	45
Integración de la tecnología en diseños de una actividad de aprendizaje: estudio de casos, <i>Andrea López Rodríguez, Alejandra Meneses Arévalo</i>	63
Construcción de un instrumento para mirar profesionalmente la gestión comunicativa de docentes de matemática, <i>Victoria Arriagada, Ceneida Fernández, Horacio Solar</i>	87
Aplicación de conocimientos y desempeños epistémicos en un proyecto de diseño sobre flotación, <i>Beatriz Crujeiras-Pérez, Ana Aragiés-Díaz</i>	103
Progresión del aprendizaje del modelo de inmunidad y vacunas en educación secundaria, <i>Marta Gómiz-Aragón, María del Mar Aragón-Méndez, José María Oliva</i>	123
Trayectoria hipotética de aprendizaje sobre la inferencia lógica negación del antecedente, <i>Juan Gabriel Herrera Alva, Arturo Rodríguez Espinosa</i>	143

INNOVACIONES DIDÁCTICAS

STEM, programación e indagación en futuros maestros/as. Evaluación del proyecto iSTEM-duino, <i>Julio Ballesta-Claver, Raúl Roura Redondo, Carlos Jerez del Valle, M.ª Fernanda Ayllón Blanco</i>	23
---	----



Transformando la manera de enseñar ciencias: evidencias a favor de la indagación

Transforming the Way Science Is Taught: Evidence Supporting Inquiry-Based Education

Delfina D'Alfonso

Centro de Investigación Educativa AIP, Ciudad de Panamá, Panamá
delfina.dalfonso@gmail.com

Nadia De León

Centro de Investigación Educativa AIP, Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología de Panamá AIP, Ciudad de Panamá, Panamá
ndeleon@indicat.org.pa

María Heller, Lineth Campos, Krystel del Rosario

Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, Dirección de Innovación en el Aprendizaje de la Ciencia y la Tecnología, Ciudad de Panamá, Panamá
mheller@senacyt.gob.pa, lcampos@senacyt.gob.pa, kdelrosario@senacyt.gob.pa

RESUMEN • Este trabajo busca conocer el nivel de implementación de la enseñanza de las ciencias basada en la indagación (ECBI) por parte de docentes participantes de un programa de formación panameño y cómo este se relaciona con el aprendizaje de sus estudiantes. Los resultados muestran que los docentes son una población iniciada, pero aún principiante, en la implementación de la metodología. Luego se analizó la asociación entre el nivel de implementación de ECBI y el aprendizaje de los estudiantes medido con pruebas. Se encontró una asociación positiva significativa que invita a redoblar esfuerzos en una formación docente centrada en ECBI con especial atención en lograr altos niveles de implementación por parte de los docentes y continuar desarrollando su habilidad para incentivar el planteamiento de preguntas, preguntas científicas y predicciones por parte de los estudiantes.

PALABRAS CLAVE: ECBI; Formación docente; Indagación; Prácticas científicas.

ABSTRACT • This study aims to explore the level of implementation of Inquiry-Based Science Education (IBSE) by teachers participating in a Panamanian teacher training program and how this relates to their students' learning outcomes. Results show that teachers have begun to implement the methodology but are still at a beginners stage. Furthermore, the study analyzed the relationship between the level of IBSE implementation and student learning as measured by assessments. A significant positive association was found, suggesting the need to strengthen teacher training focused on IBSE, particularly in enhancing teachers' ability to achieve higher levels of implementation and encourage students to ask questions, scientific questions and make predictions.

KEYWORDS: IBSE; Teacher training; Inquiry; Scientific practices.

Recepción: marzo 2024 • Aceptación: octubre 2024 • Publicación: marzo 2025

D'Alfonso, D., De León, N., Heller, M., Campos, L. y del Rosario, K. (2025). Transformando la manera de enseñar ciencias: evidencias a favor de la indagación. *Enseñanza de las Ciencias*, 43(1), 5-22. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6162>

INTRODUCCIÓN

El desarrollo científico, tecnológico y la innovación son pilares fundamentales que permiten avances significativos a la humanidad. La búsqueda de estrategias que lleven al crecimiento y al bienestar en contextos de crisis demanda al mundo modelos de excelencia científica (UNESCO, 2021a). La ciencia, además de ser protagonista en todos los avances de la humanidad, es altamente beneficiosa desde un punto de vista individual, pues favorece el desarrollo de hábitos mentales como el escepticismo, pensar críticamente, realizar inferencias o argumentar sobre la base de evidencias para defender una idea (García-Carmona, 2023).

Considerando lo anterior, el diseño de experiencias de aprendizaje significativas y un enfoque en habilidades particulares de enseñanza se vuelven objetivos cruciales. Sin embargo, desde hace décadas varios autores dan cuenta de que la enseñanza de las ciencias en la escuela primaria en América Latina responde a un modelo en gran parte transmisivo, en el que se trabaja el producto de la ciencia, dejando de lado el proceso (Macedo, 2016; Gellon et al., 2019; Furman, 2021). Furman (2020) advierte acerca de la fuerte impronta enciclopedista que asume la enseñanza de las ciencias en la región, afirmando que la evaluación y las estrategias favorecen en gran medida la reproducción de conocimientos fácticos y definiciones conceptuales. La propuesta de actividades que invitan a los estudiantes a resolver problemas es escasa, lo cual limita las oportunidades para el desarrollo de competencias científicas.

Por consiguiente, elevar la calidad de la formación docente en América Latina resalta como una iniciativa clave para elevar la calidad de los sistemas educativos. Bruns y Luque (2015) afirman que el nivel de los estudiantes que ingresan en programas de formación docente es bajo, y la calidad de dichos programas también. Además, sostienen que la formación no logra transmitir suficiente dominio de los contenidos ni una pedagogía centrada en el estudiante, esta se halla aislada del resto del sistema escolar y de la formulación de políticas educativas.

Los resultados de las pruebas regionales e internacionales en las que Panamá ha participado muestran que la gran mayoría de los estudiantes no domina los contenidos ni las habilidades científicas necesarias para desempeñarse exitosamente en los tiempos que corren. En ERCE, los estudiantes panameños de 6.º grado obtuvieron puntajes estadísticamente inferiores a los de la región en ciencias (Unesco, 2021b). En PISA 2018, los resultados de Panamá se ubican por debajo del promedio de los países de la OCDE y por debajo del promedio regional (MEDUCA y OCDE, 2019).

Estudios previos en el país ya han identificado la escasez de prácticas efectivas para la enseñanza de diferentes asignaturas en las aulas (D'Alfonso et al., 2021; Cubilla-Bonnetier et al., 2024). Sin embargo, no se encuentran estudios disponibles hasta la fecha que estudien la enseñanza de las ciencias. Dada la relevancia que tiene la ciencia para el desarrollo de los países y para el desarrollo de habilidades personales, el contexto presentado justifica la necesidad de contar con docentes que conozcan y dominen las prácticas científicas, de tal manera que puedan impulsar su desarrollo en los estudiantes. En un intento por recolectar evidencias de una metodología que permite conocer el proceso de la ciencia y no solo su producto final, esta investigación se propuso conocer el nivel de implementación de la enseñanza de las ciencias basada en la indagación (ECBI) por parte de un grupo de docentes que participaron de un programa de formación en Panamá y cómo dicho nivel se relaciona con el aprendizaje de sus estudiantes.

Los esfuerzos en formación de ECBI en el país han surgido por parte de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT). En esta investigación se estudió Hagamos Ciencia (HC), uno de los programas de formación de la Dirección de Aprendizaje y Popularización de la Ciencia de la SENACYT, la cual complementa sus esfuerzos en el desarrollo profesional docente con el diseño de módulos de aprendizaje centrados en la resolución de problemas reales, desde la perspectiva de un docente guía que empuja a los estudiantes a aprender a través de las preguntas. El programa

desarrolló tres módulos para los grados de 4.º, 5.º y 6.º de primaria, cada uno se corresponde con un trimestre escolar. Estos parten de ideas científicas clave dentro de cada tema del trimestre que invitan a los estudiantes a construir conocimiento mientras se trabajan intencionalmente determinadas prácticas científicas.

Los docentes que imparten los módulos van acompañados por mentores, docentes experimentados que han demostrado con el paso del tiempo un buen dominio de las estrategias de ECBI y que se han formado por medio de un posgrado de ECBI organizado por la SENACYT en alianza con colaboradores internacionales. Mediante la confección de un plan de desarrollo profesional y observaciones de aula que miden el nivel de implementación de ECBI con una rúbrica, los mentores brindan seguimiento a los docentes y los acompañan en procesos de reflexión sobre su práctica.

MARCO TEÓRICO

La enseñanza de las ciencias basada en la indagación

La ECBI consiste en hacer preguntas científicamente orientadas a alcanzar el conocimiento de las ideas científicas, al mismo tiempo que se impulsa el desarrollo de prácticas, como: formular preguntas científicas; diseñar investigaciones; usar herramientas apropiadas para recolectar, interpretar y analizar datos; formular explicaciones científicas utilizando evidencia; y comunicar, discutir y defender relaciones entre la evidencia y las explicaciones científicas (NRC, 2000).

Esta manera de enseñar ciencias ha generado polémica en los últimos años, resaltando la necesidad de reevaluar cómo se implementa la indagación en las aulas. Couso (2014) advierte acerca de que la indagación tiende a centrarse en el método o en el descubrimiento de explicaciones, lo que puede ignorar las concepciones previas de los alumnos y, por lo tanto, limitar la efectividad del aprendizaje. Otros enfoques críticos de la idea de colocar a los estudiantes en el rol de científicos en esta metodología sostienen que resulta difícil asumir con seguridad que podrán alcanzar los mismos niveles de pensamiento que los profesionales de la disciplina científica o que posean los conocimientos previos necesarios para construir sus propios conocimientos, de manera más o menos independiente (Khalaf y Zin, 2018).

También existen resultados diversos respecto al aprendizaje logrado por estudiantes con esta metodología. Aguilera y colaboradores (2018), en un metaanálisis sobre ECBI en España, destacan una contribución de esta metodología al desarrollo de competencias, la comprensión del contenido y la mejora de la autoestima y actitudes de los estudiantes hacia las ciencias. Sin embargo, destacan el rol fundamental de los docentes en el proceso de enseñanza, su preparación y conocimientos previos sobre ECBI. Otro metaanálisis encontró diversidad en el tamaño del efecto que posee la ECBI para mejorar las habilidades de indagación en estudiantes de diferentes países del mundo. Concluyeron que, en promedio, el tamaño de efecto es medio (Firman y Abdurrahman, 2019).

Existe un relativo consenso en las academias de ciencia respecto a la importancia de aprender ciencias haciendo ciencia y de enseñar desde un enfoque indagatorio. Esto se refleja en los estándares de ciencia de próxima generación (en adelante, NGSS, por sus siglas en inglés), un instrumento fundamental para el avance y la mejora en la enseñanza de las ciencias, principalmente en Estados Unidos. Se trata de un compendio de contenidos, prácticas y habilidades organizados de manera coherente a través de los diferentes niveles educativos para proveer una educación científica de referencia internacional. Se destacan por reflejar la importancia del desarrollo de ciertas habilidades científicas para la vida. Estos fueron trabajados por diversos actores, tanto educadores como científicos, lo cual los convierte en un documento de punta a nivel global.

Los estándares proponen ocho prácticas que, trabajadas de manera progresiva a lo largo de los diferentes niveles y a través de metodologías innovadoras, reflejan gran parte de los beneficios que

una educación en ciencias tiene para los estudiantes. Estas son: realizar preguntas y definir problemas; desarrollar y utilizar modelos; planificar y ejecutar investigaciones; analizar e interpretar información; utilizar el pensamiento matemático y computacional; construir explicaciones y diseñar soluciones; argumentar a partir de evidencias; y obtener, evaluar y comunicar información. Si bien estas prácticas son especialmente relevantes cuando se está aprendiendo ciencia, se trata de aprendizajes que se pueden extrapolar a la vida (NRC, 2012).

Esta investigación evaluó el nivel de implementación de algunas de estas prácticas científicas en las clases de ciencia de los docentes de HC. En primer lugar, se analizó la práctica de formular preguntas y realizar predicciones. Las preguntas son importantes en el proceso de construcción de ideas y modelos científicos, porque son las que concretan el objetivo de la investigación. Cobran sentido como práctica científica cuando se trata de interrogantes profundos que permiten a los estudiantes desarrollar habilidades de pensamiento de orden superior y poner en práctica el pensamiento crítico (Sidiq et al., 2021).

También se estudió la práctica de observar, recolectar, registrar y sistematizar datos. Implica usar una variedad de herramientas para tabular, representar de manera gráfica, visualizar y analizar estadísticamente datos e interpretarlos a partir de identificar características significativas y patrones (NGSS, 2014). Esta práctica es fundamental en el proceso de hacer ciencia, dado que los datos se convertirán en la evidencia que permitirá explicar fenómenos y construir conocimiento (Iwuanyanwu, 2022).

La práctica que fomenta construir explicaciones para comprender el mundo que nos rodea también fue considerada en este estudio. Se trata de describir e interpretar la relación que existe entre una o más variables con otra variable o conjunto de variables (NGSS, 2014). La importancia de esta radica en que supone demostrar una cadena de razonamientos hasta llegar a explicaciones basadas en evidencias que sostienen las ideas científicas (Krajcik et al., 2014).

Por último, la discusión de ideas también cobró relevancia como práctica científica en el marco de este estudio. Esta pone en juego el razonamiento, la formulación y la comunicación de argumentos basados en evidencia para elaborar la mejor explicación de un fenómeno natural (NGSS, 2014). En un contexto de intercambio dialógico, los estudiantes tienen la oportunidad de reflexionar sobre problemas en conjunto y analizar evidencias para alcanzar soluciones o acuerdos de manera colaborativa (Iwuanyanwu, 2023).

La formación docente efectiva en la enseñanza de las ciencias

En una de sus publicaciones, el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (NRC, 2000) establece directrices para lograr un desarrollo profesional efectivo en ciencias. Sugiere que la formación debe enfocarse en la indagación, tanto como un resultado de aprendizaje para los docentes como una forma para que estos aprendan ciencias. El documento también destaca como atributos efectivos del desarrollo profesional el fomento de un aprendizaje continuo y el acompañamiento de colegas.

Al revisar investigaciones sobre programas de desarrollo profesional docente en la enseñanza de las ciencias, se pueden identificar otras características que contribuyen a su efectividad, al evidenciar cambios positivos en las prácticas docentes, su conocimiento y el rendimiento de sus estudiantes. Las experiencias efectivas de formación profesional brindan oportunidades para que los docentes desarrollen sus propias habilidades científicas y conocimientos pedagógicos del contenido (Crawford y Capps, 2018; Sjøberg, 2019, como se citó en Strat et al., 2023), al tiempo que reflexionan críticamente sobre su práctica (Lederman y Lederman, 2019). Además, involucran a los docentes como estudiantes en los enfoques de aprendizaje que se espera que utilicen (Crawford y Capps, 2018; Sjøberg, 2019, como se citó en Strat et al., 2023).

En su estudio experimental, Diaconu y colaboradores (2012) evaluaron la efectividad de un programa de formación destinado a docentes de ciencias, utilizando pruebas de contenido, entrevistas y observaciones en el aula. Este capacitaba a docentes desde un enfoque constructivista y facilitaba comunidades de aprendizaje para el intercambio de experiencias con mentores. El grupo de docentes que adquirió el programa fue comparado con un grupo control y demostró diferencias significativas a su favor en el conocimiento de los contenidos de ciencias, en sus habilidades de liderazgo y en la aplicación de metodologías indagatorias.

Otros trabajos previos han identificado la importancia de involucrar a los participantes en el proceso de aprender sobre la base de la indagación y modelando estrategias de enseñanza durante el proceso de formación (Garet et al., 2021; Penuel et al., 2007). El apoyo a los docentes de ciencias tras haber tomado seminarios también se revela como factor crucial porque ofrece un espacio para aclarar dudas, interactuar con los formadores y recibir realimentación de las estrategias probadas en clase (Garet et al., 2001).

La formación de los docentes de HC adquiere varias de las características del desarrollo profesional efectivo. Como parte integral de la participación en el programa, los docentes reciben una formación inicial enfocada en indagación y formación continua en los recesos escolares con capacitaciones dictadas por expertos internacionales. El seguimiento continuo que reciben por parte de sus mentores es otra de las características de programas de formación docente efectivos. Los mentores se aseguran de reflexionar junto con los docentes acerca de la puesta en práctica efectiva de las prácticas de ECBI en sus clases.

Otra de las características del desarrollo profesional docente efectivo en el programa es que las capacitaciones se proponen objetivos que implican que los docentes atraviesen oportunidades de aprendizaje constructivistas durante el proceso de formación. Por ejemplo, en la planificación analítica del taller «Integración de contenidos programáticos a partir de módulos de ciencias naturales», dictado en agosto de 2018, se evidencia que se les brindó a los participantes la guía para que diseñen actividades con sus respectivas evaluaciones a partir de las lecciones de los módulos de ciencias, con el fin de promover aprendizajes más significativos. Durante la capacitación, los docentes indagaron en sus conocimientos previos sobre el tema, construyeron conocimiento en torno a la idea de integrar asignaturas, generaron actividades cortas a partir de integrar contenidos de diferentes asignaturas, modelaron una clase y retroalimentaron constructivamente sus creaciones (SENACYT, 2018).

En lo que se refiere a las comunidades de aprendizaje, el programa comenzó a incentivarlas durante 2019. En algunas escuelas, se incentivó a los docentes a trabajar colaborativamente y reflexionar sobre su práctica de aula con el objetivo de «hacer de la escuela un espacio para el aprendizaje y el desarrollo profesional docente basado en buenas prácticas de aula que estimulen mejores aprendizajes en los estudiantes» (SENACYT, 2019).

METODOLOGÍA

Preguntas e hipótesis

Esta investigación se propuso responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el nivel de implementación de la metodología de enseñanza de las ciencias basada en la indagación por parte de los docentes de HC?

Por el tipo de pregunta, no se presenta una hipótesis. Sin embargo, se puede anticipar que dicho nivel no será alto, dado el predominio histórico de un modelo de educación transmisivo fuertemente mencionado por la literatura de la región. Se identificaron características del desarrollo

profesional docente efectivo en la formación y acompañamiento otorgado a los docentes del programa que podrían suponer que se alcanzará un nivel de implementación intermedio.

- ¿Qué relación existe entre los diferentes criterios de implementación de ECBI observados en la práctica docente?

Las variables involucradas son el nivel de implementación de cada criterio observado. Los criterios se corresponden con las prácticas fundamentales de ECBI expuestas en el marco teórico, específicamente: 1) la secuencia de actividades propuesta para el objetivo del módulo (objetivo del módulo); 2) la formulación de preguntas y predicciones (preguntas y predicciones); 3) la observación, recolección, registro y sistematización de datos (manejo de datos); 4) la construcción de explicaciones; y 5) la discusión de ideas. Están definidas operacionalmente como el promedio de los puntajes obtenidos en las observaciones para cada uno de los criterios. Como hipótesis se plantea que existe una relación positiva significativa ($p < 0,05$) entre el puntaje promedio de aplicación de los cinco criterios de ECBI al relacionarse unos con otros. Esto se debe a que, dentro del enfoque ECBI, cada criterio se corresponde con prácticas implicadas en la ciencia como proceso y que están cercanamente interrelacionadas entre sí; por ejemplo, para construir explicaciones sobre un fenómeno o discutir ideas en torno a este, es necesario observar y registrar datos.

- ¿Cómo se relaciona el nivel de implementación de ECBI por parte de los docentes de HC con el aprendizaje de sus estudiantes?

Para esta pregunta, las variables independientes son los niveles de implementación de los cinco criterios de ECBI; y la variable dependiente, el aprendizaje de los estudiantes. Se utiliza la misma definición operacional del nivel de implementación por criterio de ECBI que se utilizó para la pregunta anterior. El aprendizaje de los estudiantes se define operacionalmente como el puntaje promedio obtenido en la prueba aplicada por la SENACYT de los grupos de estudiantes de los docentes observados. Como hipótesis se plantean: existe una relación positiva significativa ($p < 0,05$) entre cada criterio de ECBI y el aprendizaje de los estudiantes; y que existe una relación positiva significativa entre todos los criterios tomados en conjunto y el aprendizaje de los estudiantes.

Muestra

Se analizó toda la muestra de docentes que fueron observados por sus mentores dos o más veces a lo largo de 2019, y cuyo grupo de estudiantes tomó la prueba final del curso. Dado que 44 de los 291 docentes con observaciones poseían únicamente una observación, y dado que el grupo de estudiantes de dos de los docentes observados no tomó la prueba, la muestra se redujo a 245 docentes de 4.º, 5.º y 6.º grado y 2.213 estudiantes. Diez estudiantes por docente fueron elegidos de manera aleatoria para tomar la prueba. En grupos iguales o menores a diez, todos tomaron la prueba.

Recolección y análisis de datos

El seguimiento a los docentes se hizo a partir de observaciones de clase realizadas por mentores. Durante 2019 se realizaron un total de 1.429 observaciones de los 245 maestros de ciencias. Los mentores completaron una pauta de observación siguiendo una serie de condiciones propuestas por la SENACYT para medir la implementación de los criterios de ECBI. Utilizaron una escala del 1 al 4 para evaluarlos, siendo 1 «iniciado en dicho criterio» y 4 «experto en dicho criterio». La tabla 1 presenta un ejemplo para el criterio construcción de explicaciones.

Tabla 1.
Rúbrica para medir el nivel en el criterio construcción de explicaciones

<i>Descripción de la rúbrica</i>	<i>Nivel</i>
Permite que los estudiantes expongan sus opiniones sin sustento; valida las que considera más adecuadas.	Iniciado (1)
Está atento a las intervenciones de los estudiantes, pidiendo diferentes puntos de vista, pero no pide que estos se basen en evidencia y argumentación lógica.	En progreso (2)
Está atento a las intervenciones de los estudiantes, pidiendo una argumentación lógica y evidencia que la sustente. Ofrece a los estudiantes oportunidades para compartirlas.	Emergente (3)
Está atento a las intervenciones de los estudiantes, pidiendo una argumentación lógica y evidencia que la sustente. Se asegura que comparen las explicaciones basadas en observaciones desarrolladas en las clases y las obtenidas de los libros u otras fuentes.	Experto (4)

La SENACYT entregó estos datos al equipo de investigación, junto a los resultados de las pruebas de los estudiantes de 4.º, 5.º y 6.º grado a finales de 2019. Las pruebas fueron diseñadas por coordinadores del programa y revisadas por un consultor externo. La coordinación del programa partió de conceptos y las habilidades científicas puestas en práctica en los módulos de cada grado para elaborar los ítems. En todas las pruebas, los ítems fueron de opción múltiple con cuatro opciones de respuesta para cada pregunta. Las autoridades del programa y los mentores administraron las pruebas de manera digital con tabletas durante los meses de octubre y noviembre de 2019. Se desarrolló un sistema de corrección automática de las respuestas.

Para responder la primera pregunta, se calculó un promedio por docente para cada criterio según la puntuación obtenida en la pauta de observación. Los resultados se interpretaron a la luz de la misma rúbrica, es decir, que los logros de los docentes del programa se evaluaron utilizando los propios criterios y objetivos de la SENACYT.

Para responder a la segunda pregunta, se computaron correlaciones de Pearson entre cada criterio con los otros cuatro criterios, e identificar así cómo se relacionan y determinar si los docentes que dominan cierto criterio tienden también a dominar algún otro. Se buscó rechazar la hipótesis nula, que afirma que no existe correlación significativa ($p < 0,05$) entre los criterios. Dada la presencia de dos variables continuas (promedios generales de cada criterio) y dado que el objetivo es conocer la magnitud de la relación entre los criterios (Bonett y Wright, 2000), se computó una correlación de Pearson utilizando el *software* SPSS en su versión 25.

Para responder a la tercera pregunta, se calculó el promedio de respuestas correctas que los estudiantes alcanzaron en la prueba final de 2019 (el equivalente al puntaje promedio del grupo, ya que cada respuesta correcta equivale a un punto). Nueve docentes dictaban dos grados distintos, con lo cual se calculó un promedio de ambos grupos de estudiantes para obtener el promedio general para esos docentes. Luego se computaron cinco regresiones lineales utilizando SPSS en su versión 25 para determinar la relación por separado del promedio alcanzado en cada criterio de ECBI (calculado para la primera pregunta) con el aprendizaje de los estudiantes. Los criterios de ECBI fueron tomados como variables independientes y el aprendizaje de los estudiantes como la variable dependiente. Se buscó rechazar la hipótesis nula que afirma que no existe relación significativa ($p < 0,05$) entre el criterio de ECBI analizado y el aprendizaje estudiantil. Por último, se construyó un modelo de regresión lineal múltiple, tomando todos los criterios de ECBI como variables independientes y el aprendizaje de los estudiantes como la variable dependiente, para determinar la relación que tienen todas juntas con el aprendizaje de los estudiantes. Una vez más, se definió significancia estadística con $p < 0,05$.

RESULTADOS

Implementación de la ECBI por parte de los docentes del programa

Al analizar los puntajes promedios obtenidos por los docentes del programa en cada uno de los criterios de ECBI, es posible observar en la tabla 2 que se encontraban progresando en todos. El resultado del análisis arrojó un nivel de implementación ligeramente superior a dos para todos los criterios observados. En todos hubo solo cierta evidencia de su aplicación; se observa un promedio bajo en el nivel de utilización de las prácticas científicas presentadas en el marco teórico de este estudio. Hubo un poco más de evidencia en el planteamiento de una secuencia de actividades alineada con los objetivos del módulo, en relación con las otras prácticas.

Tabla 2.
Estadísticos descriptivos de puntajes
promedios obtenidos en los criterios de ECBI.

	<i>Media</i>	<i>DE</i>
Objetivo del módulo	2,32	0,72
Preguntas y predicciones	2,23	0,67
Manejo de datos	2,23	0,70
Construcción de explicaciones	2,19	0,72
Discusión de ideas	2,25	0,71

Los parámetros establecidos por la SENACYT sugieren que los docentes de ciencias aún plantean objetivos de aprendizaje muy ambiciosos, siendo difícil su consecución a través de las secuencias de actividades propuestas. Con relación a incentivar el planteamiento de preguntas, preguntas científicas y predicciones por parte de los estudiantes, en promedio, no se evidenció que se utilicen diferentes tipos de preguntas, según los momentos de la clase, ni que se promueva el planteamiento de preguntas y predicciones por parte de los estudiantes.

Por otro lado, en lo que refiere a proponer a los estudiantes actividades prácticas en las cuales deben observar, medir, recoger datos o información, orientarlos en el registro de datos y manejo de variables, y hacer énfasis en la necesidad de usar los datos como evidencia para responder a las preguntas planteadas y dar explicaciones, en general, los docentes de HC proponen a sus estudiantes actividades prácticas de este tipo y los orientan al registro de datos. Sin embargo, no enfatizan suficientemente en la importancia de utilizar los datos como evidencia para responder a las preguntas planteadas y para proporcionar explicaciones pertinentes.

En lo relativo a construir explicaciones, suelen estar atentos a las intervenciones de los estudiantes, aceptando diferentes puntos de vista, pero no piden que estos se basen en evidencia y argumentación lógica. Establecen conclusiones de las clases más bien basadas en consensos. No se aseguran de que los estudiantes comparen las explicaciones basadas en observaciones desarrolladas en las clases y las obtenidas de los libros u otras fuentes para generar explicaciones lógicas y posibles de ser sustentadas.

Por último, con relación a promover una clara diferenciación entre argumentos basados en evidencias y aquellos basados en opiniones personales durante las discusiones, los docentes admiten discusiones en sus clases, pero estas no se sustentan en datos o en evidencias científicas. Esto dificulta que los estudiantes diferencien argumentos lógicos de opiniones personales.

Esta situación podría atribuirse a aspectos que mejorar en la formación recibida, así como al tiempo de participación en el programa, ya que los docentes observados tenían entre uno y tres años de experiencia en este, aunque no se dispone de información precisa sobre la duración exacta de su participación individual. Considerando que, en promedio, podrían llevar pocos años participando, es esperable que todavía no alcancen altos niveles de implementación de la ECBI (NRC, 2000). Por otro lado, estos resultados resaltan aspectos clave en los que los diseñadores de la formación podrían intervenir, como por ejemplo incluir prácticas que ayuden a los docentes a fomentar la capacidad de los estudiantes para reflexionar críticamente sobre sus propias preguntas y predicciones.

Tras evaluar la correspondencia de todos los pares de relaciones posibles de los criterios de ECBI observados. La tabla 3 muestra que se encontró una relación positiva significativa entre los diez pares de criterios explorados. Todas las variables se correlacionan fuertemente entre sí, dado que los coeficientes son mayores a 0,50 (Cohen, 1988).

La fuerza encontrada en estas correlaciones es alentadora, ya que demuestra cierta intención por parte del programa de trabajar los criterios de manera interconectada para optimizar el aprendizaje de los estudiantes. También podrían indicar que los docentes están fomentando que los estudiantes conozcan el quehacer científico completo, que se está trabajando de manera integrada la ciencia como proceso y favoreciendo, por consiguiente, un aprendizaje duradero.

Tabla 3.
Correlaciones entre los criterios de ECBI observadas.

	<i>Objetivo del módulo</i>	<i>Preguntas y predicciones</i>	<i>Manejo de datos</i>	<i>Construcción de explicaciones</i>	<i>Discusión de ideas</i>
Objetivo del módulo	1	.786**	.810**	.806**	.788**
Preguntas y predicciones	.786**	1	.817**	.817**	.826**
Manejo de datos	.810**	.817**	1	.878**	.846**
Construcción de explicaciones	.806**	.817**	.878**	1	.920**
Discusión de ideas	.788**	.826**	.846**	.920**	1

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Relación entre el nivel de implementación de ECBI y el aprendizaje

Antes de computar el modelo de regresión lineal múltiple se optó por computar regresiones lineales de cada variable independiente con la variable dependiente. Cada uno de los cinco criterios de ECBI tomados por separado fueron predictores significativos del aprendizaje de los estudiantes. El resultado del análisis de asociación de la variable objetivo y secuencia de actividades con el aprendizaje de los estudiantes indicó una relación positiva y significativa ($F(245) = 18,92$, $p < .001$, $R^2 = .072$). Dicha variable explicó el 7 % de la varianza del aprendizaje. El criterio que explicó en mayor proporción la varianza de la variable dependiente fue la de promover la formulación de preguntas y predicciones, y logró explicar el 12 % de la varianza del aprendizaje ($F(245) = 32,79$, $p < .001$, $R^2 = .119$).

También se encontró una relación positiva del criterio observación, recolección, registro y sistematización de datos con el aprendizaje de los estudiantes de los docentes del programa ($F(245) = 23,16$, $p < .001$, $R^2 = .087$). La práctica de construir explicaciones también se relacionó positiva y significativamente ($F(245) = 30,11$, $p < .001$, $R^2 = .11$), y es la segunda variable que explicó en mayor proporción la varianza en el aprendizaje de los estudiantes (11 %). Por último, la variable discusión de ideas

también demostró una relación positiva y significativa con la variable dependiente ($F(245) = 29,19$, $p < .001$, $R^2 = .107$).

Para determinar la relación entre el nivel de implementación de todos los criterios de ECBI en conjunto y el aprendizaje de los estudiantes, se computó un modelo de regresión lineal múltiple. Los resultados de la regresión indicaron que el modelo explicó el 13 % de la varianza de la variable dependiente y que en conjunto todas las variables fueron un predictor significativo del aprendizaje de los estudiantes ($F(245) = 7,16$, $p < .001$, $R^2 = .13$).

Mientras que el nivel de implementación de la variable preguntas y predicciones contribuyó significativamente al modelo ($t = 2,15$, $p = .003$), el resto de las variables no lo hizo. Sin embargo, como se mencionó al inicio de esta sección, al evaluar la asociación de cada variable por separado con el aprendizaje, todas mostraron asociación positiva y significativa. El modelo predictivo final fue:

$$A = 0,291 + 0,037Z, \text{ donde } A \text{ es aprendizaje de los estudiantes y } Z \text{ es el nivel de implementación del criterio relacionado a la práctica de fomentar preguntas y predicciones}$$

Tabla 4.
Estadísticas de la regresión.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.361a	0.130	0.112	0.09

Tabla 5.
Anova.

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p	
1	Regresión	0,297	5	0,059	7,164	.000b
	Residuo	1,984	239	0,008		
	Total	2,282	244			

Tabla 6.
Estimación del modelo de regresión múltiple.

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	p	
	B	Desv. error	Beta			
1	(Constante)	0,291	0,021		13.689	0.000
	Objetivo del módulo	-0,011	0,015	-0,078	-0,687	0,493
	Preguntas y predicciones	0,037	0,017	0,260	2,150	0,033
	Manejo de datos	-0,010	0,019	-0,073	-0,519	0,605
	Construcción de explicaciones	0,026	0,024	0,191	1,077	0,282
	Discusión de ideas	0,008	0,022	0,061	0,370	0,712

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

En primer lugar, este estudio se propuso conocer el nivel de implementación de la ECBI de los docentes que formaron parte de un programa panameño de formación docente enfocado en esta metodología para reflexionar sobre la formación que reciben. Según consensos reflejados en los NGSS, se esperaría que docentes altamente capacitados logren con sus estudiantes formular preguntas sobre textos leídos, sobre los fenómenos observados y sobre conclusiones alcanzadas por otros. También se esperaría que impulsen a sus estudiantes a planificar y llevar a cabo investigaciones: establecer objetivos, predecir resultados y determinar los pasos para encontrar la mejor evidencia que respalde las conclusiones. Deberían fomentar el uso de variadas herramientas para tabular, graficar, visualizar y analizar estadísticamente datos e interpretarlos identificando características significativas y patrones. Asimismo, se esperaría que guíen a sus estudiantes en la construcción de explicaciones de la relación entre variables, mientras desarrollan razonamiento y formulan argumentos basados en evidencia para elaborar la mejor explicación de un fenómeno (NGSS, 2014).

El bajo nivel de implementación de las prácticas de ECBI encontrado entre los docentes puede explicarse por el hecho de que estos llevaban poco tiempo participando en el programa (entre uno a tres años). Teniendo en cuenta esto, es esperable que no alcancen altos niveles de implementación aún (NRC, 2000). Además, es probable que el modelo transmisivo tan característico del contexto latinoamericano (Macedo, 2016; Gellon et al., 2019; Furman, 2021) posea influencia en la manera de enseñar de los docentes, lo cual podría indicar que su punto de partida en ECBI en ese momento aún era bajo.

Limitaciones metodológicas dificultan extraer conclusiones precisas de esta parte del estudio. Dado que la dirección de programa no se propuso como objetivo evaluar el efecto de su programa de formación en la práctica de los docentes, no se realizaron observaciones a un grupo control. Esto imposibilita determinar con rigor si los niveles alcanzados por los docentes del programa en el tiempo de implementación de ECBI que llevan son niveles satisfactorios o no, en comparación con los logrados por docentes en el mismo contexto que no estuviesen utilizando la metodología ECBI. En este punto resultaría interesante realizar futuros estudios con grupo control.

No obstante, dada la inversión de recursos en un programa como el estudiado, y dado que el nivel de implementación documentado puede resultar por debajo de lo esperado, se podrían considerar estrategias importantes para aumentar el nivel de absorción de lo impartido en la capacitación docente, con el fin de observar mejor la implementación en el aula, tanto en HC como en otros programas similares. Los resultados sugieren ciertos ajustes que se podrían hacer en el diseño de la formación para adecuarse más al nivel de ECBI de los docentes. Programas de este tipo podrían beneficiarse de un componente que prepare a los educadores para definir objetivos más realistas y desarrollar secuencias de actividades coherentes y viables que se adapten al nivel de sus estudiantes. Esto podría incluir tareas dentro de la formación para planificar secuencias de actividades para un determinado objetivo propuesto, enfocarse en que sean escalonadas y que guíen a los estudiantes de manera progresiva hacia metas más complejas.

También podría ser beneficioso introducir en la formación módulos sobre estrategias para plantear preguntas en los diferentes momentos de la clase, enfocadas en cómo formular preguntas científicas, de exploración y de reflexión, así como el modelado de prácticas que guíen a los estudiantes en reflexiones críticas sobre sus propias preguntas y predicciones. Desarrollar actividades de formación centradas en el uso de datos y evidencia para construir explicaciones también podría enriquecer los programas actuales. Se podrían utilizar estudios de casos en los que los docentes analicen datos reales y practiquen cómo guiar a los estudiantes en la formulación de conclusiones basadas en esos datos.

La formación también podría reforzar el facilitar discusiones donde se valore y se use la evidencia científica de manera explícita e incluir un enfoque más fuerte en la argumentación científica, promoviendo así un razonamiento lógico y basado en datos entre los estudiantes. Esto se podría hacer a partir de proponer actividades para comparar y contrastar diferentes fuentes de información, y luego modelar cómo guiar a los estudiantes en una evaluación de la consistencia y validez de las ideas basadas en estas fuentes.

El resultado de la segunda pregunta de investigación arrojó que los docentes que obtienen niveles más altos de implementación de un determinado criterio logran también niveles más altos de implementación en los demás. La correlación más fuerte fue entre proponer actividades prácticas, en las cuales deben observar, medir, recoger datos o información, registrarlos y manejar variables, y promover una diferenciación entre argumentos basados en evidencias y aquellos basados en opiniones durante las discusiones. La coordinación de la evidencia y la teoría para apoyar o refutar una conclusión, la argumentación, es una tarea epistémica y un proceso de discurso que representa un componente clave de la educación contemporánea (NGSS, 2014). Este hallazgo indica que el trabajo con datos concretos en actividades prácticas fortalece la capacidad de los estudiantes para discernir entre evidencia sólida y meras opiniones en contextos científicos, destacando la relevancia de integrar prácticas experimentales con el desarrollo de habilidades de argumentación.

También se encontró una correlación muy fuerte entre la discusión de ideas y las preguntas y predicciones. Según la literatura, esto aporta a la generación de un clima de aprendizaje en el cual se promueve la creación de sentido colectivo (Erdogan y Campbell, 2008). Estudios previos coinciden en que las preguntas científicas cobran especial relevancia cuando se plantean sobre la base del desarrollo de habilidades de pensamiento de orden superior para estimular el pensamiento crítico de los estudiantes, especialmente en el nivel primario (Permana y Utomo, 2021; Sidiq et al., 2021). Además, estas preguntas facilitan un clima de aprendizaje en el que los estudiantes se involucran en discusiones y análisis, al igual que muchos científicos.

La tercera correlación más fuerte fue entre proponer a los estudiantes actividades prácticas, en las cuales deben observar, recolectar, registrar y sistematizar datos, y la construcción de explicaciones. Esto podría significar que los docentes están alejándose de la simple transmisión de información para pasar a guiar a sus estudiantes a construir explicaciones de los fenómenos y confirmar hipótesis. Así, los estudiantes incorporan una estrategia para formular explicaciones, demuestran una cadena de razonamientos y usan evidencia para justificar ideas (Krajcik et al., 2014).

El hecho de que en dos de las correlaciones más fuertes resalte la práctica de observación y manipulación de datos, sumado a que el promedio de aplicación más bajo encontrado fue precisamente el de construir explicaciones, ofrece una perspectiva valiosa sobre la naturaleza de la enseñanza de las ciencias en el contexto panameño. Esto podría indicar que los docentes del programa aún se ubican dentro de un enfoque de indagación tradicional, al centrarse en una parte del proceso científico, la experimentación en este caso, sugiriendo un énfasis considerable en el aspecto práctico de la indagación. De alguna manera, esto podría implicar que se ofrecen oportunidades limitadas para participar en los aspectos sociales del aprendizaje que surgen del compromiso con las comunidades profesionales de práctica (Walsh y McGowan, 2017). Programas de formación de este tipo podrían beneficiarse de incorporar la enseñanza de diversas técnicas para socializar resultados de investigaciones y para el fomento de discusiones en las que se compare y contraste la evidencia con las explicaciones desarrolladas.

La fuerza encontrada en estas correlaciones demuestra cierta intención del programa de fomentar las prácticas científicas de manera asociada unas con otras. Este podría ser el inicio de un camino hacia el desarrollo de habilidades científicas para la vida, gran parte de los beneficios que una educación en ciencias tiene para los estudiantes. Otra posible explicación de estos resultados podría ser que esto sucede simplemente porque hay docentes que dominan esas prácticas mejor que otros y los motivos

pueden ser varios: porque realizaron otros programas de formación, porque se interesaron y aprendieron sobre ECBI por su cuenta, etc. Para evaluar con mayor precisión si es HC la variable que logra afianzar este tipo de destrezas en los docentes, una vez más, es necesario comparar observaciones con un grupo control.

Esta investigación también buscó conocer la relación entre la implementación de la ECBI y el aprendizaje de los estudiantes, en primer lugar, a partir de computar regresiones lineales simples entre cada criterio de ECBI y el aprendizaje. Todas las regresiones muestran que cuando un docente domina satisfactoriamente un criterio, sus estudiantes demuestran mayores aprendizajes. Este hallazgo proporciona una base sólida para abogar por enfoques pedagógicos que enfatizan la incorporación equitativa de estas prácticas de ECBI, ya que cada criterio aporta de manera única al desarrollo de habilidades y conocimientos.

La variable que mantiene una relación más fuerte con la variable dependiente fue la de las preguntas y predicciones. Las preguntas abren el diálogo con el mundo real y permiten poner en práctica el pensamiento crítico. Al formular predicciones que parten de un interrogante profundo y significativo, los estudiantes ponen en juego su capacidad de juzgar, evaluar a la luz de observaciones y datos recolectados y, por ende, explicar fenómenos. Este resultado muestra un punto de partida alentador para mejorar todas las demás prácticas, que parten de una pregunta científica, y así lograr una apreciación de cómo se desarrolla el conocimiento científico.

Por otro lado, se computó una regresión lineal múltiple para determinar la asociación entre todas las variables juntas con el aprendizaje de los estudiantes. Esta demostró que, a mayor nivel de implementación de la ECBI, mejores son los resultados de los estudiantes y que esta asociación es significativa. Esta conclusión respalda la idea de que la ECBI no solo es una metodología prometedora para contextos como el panameño, sino que su efectividad está directamente vinculada con el dominio y la aplicación coherente de sus prácticas fundamentales. Los estudiantes que trabajan con docentes que demostraron un nivel emergente o experto en los criterios observados obtienen mayores ganancias, en términos de prácticas científicas, que aquellos que trabajan con docentes que muestran un nivel en progreso o iniciado. Una vez más, para lograr identificar con mayor precisión si la responsable de este resultado es la participación en HC, resultaría necesario repetir este estudio con un grupo control.

Estos resultados sientan un precedente en la región, dado que permiten afirmar que una buena práctica docente de ECBI maximiza el desarrollo cognitivo de los estudiantes y se relaciona con los beneficios que la ciencia aporta a la sociedad y a los individuos. La formación docente es una parte estratégica de la política educativa en la que los supuestos acerca de cómo se define una buena educación podrían verse claramente (Beech, 2006). La relevancia de los hallazgos de este estudio radica en que no solo se evidenció una asociación significativa, sino que dicha asociación se observó en los diferentes niveles de implementación por parte de los docentes. Por consiguiente, no solo es importante continuar capacitando en ECBI, sino que es relevante prestar atención a maximizar el nivel de implementación de dicha metodología para alcanzar mejoras en el desarrollo de las competencias científicas de estudiantes beneficiarios de este tipo de programas.

Dado que el desarrollo profesional docente es una variable significativa en el establecimiento de prácticas de aula y en el impacto en el aprendizaje de los estudiantes, es necesario redoblar esfuerzos en la formación docente efectiva en ciencias. Según la literatura y lecciones aprendidas de este programa, se puede profundizar en el conocimiento y el manejo de los contenidos por parte de los docentes y el desarrollo de prácticas de ECBI efectivas. Al mismo tiempo, se podría trabajar todas las prácticas de manera transversal e integrada durante la formación de los docentes, apuntando a involucrar a los docentes como estudiantes en los enfoques de aprendizaje que usarán posteriormente en sus clases (Rundgren, 2018).

Un programa de formación que integre todas las prácticas científicas relevantes, en el marco de políticas y planes estratégicos, podría significar la mejora en la práctica docente y en los aprendizajes de los estudiantes. Al mismo tiempo, es necesario el foco en el aprendizaje sobre la base de la indagación y modelando estrategias de enseñanza durante el proceso de formación, al igual que brindar a los docentes acompañamiento o *coaching* con expertos para una transferencia efectiva a la práctica de lo aprendido en la formación. Particularmente, en el marco de este y otros programas similares, vale la pena prestar atención a desarrollar en los docentes la habilidad de incentivar el planteamiento de preguntas, preguntas científicas y predicciones por parte de los estudiantes por ser la variable que demostró mayor asociación.

REFERENCIAS

- Aguilera, D., Martín-Páez, T., Valdivia-Rodríguez, V., Ruiz-Delgado, A., Williams-Pinto, L., Vílchez-González, J. M. y Perales-Palacios, F. J. (2018). La enseñanza de las ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española. *Revista de Educación*, 381, 259-284. <http://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2017-381-388>
- Beech, J. (2006). Las agencias internacionales, el discurso educativo y las reformas de la formación docente en Argentina y Brasil (1985-2002): Un análisis comparado. Universidad de San Andrés. <http://hdl.handle.net/10908/557>
- Bonett, D. G. y Wright, T. A. (2000). Sample size requirements for estimating Pearson, Kendall and Spearman correlations. *Psychometrika*, 65, 23-28. <https://doi.org/10.1007/BF02294183>
- Bruns, B. y Luque, J. (2015). *Profesores excelentes: cómo mejorar el aprendizaje en América Latina y el Caribe*. Banco Mundial.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2.^a ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Couso, D. (2014). De la moda de «aprender indagando» a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. Departament de Didàctica de les Matemàtiques i les Ciències Experimentals / CRECIM. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Cubilla-Bonnetier, D., D'Alfonso, D. y De León Sautú, N. (2024). *Lectoescritura en foco: factores que influyen en el rendimiento lector*. Centro de Investigación Educativa AIP de Panamá. <https://ciedupanama.org/informe-publico-lectoescritura-en-foco/>
- D'Alfonso, D., Warren, N., González, E., Rodríguez, A., Pitti, K., y De León Sautú, N. (2021). Prácticas docentes de aula en la enseñanza del pensamiento computacional en escuelas medias oficiales y particulares de la región metropolitana de la Ciudad de Panamá. *Acción y Reflexión Educativa*, 46, 207- 230. <https://doi.org/10.48204/j.are.n46a9>
- Diaconu, D. V., Radigan, J., Suskavcevic, M., y Nichol, C. (2012). A multi-year study of the impact of the rice model teacher professional development on elementary science teachers. *International Journal of Science Education*, 34(6), 855-877. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.642019>
- Erdogan, I., y Campbell, T. (2008). Teacher questioning and interaction patterns in classrooms facilitated with differing levels of constructivist teaching practices. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1891-1914. <https://doi.org/10.1080/09500690701587028>
- Firman, M. A., Ertikanto, C., y Abdurrahman, A. (2019). Description of meta-analysis of inquiry-based learning of science in improving students' inquiry skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157(2). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/2/022018>
- Furman, M. (2020). *Aprender Ciencias en las escuelas primarias de América Latina: ¿dónde estamos y cómo podemos mejorar*. Oficina de Unesco en Montevideo. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375199>

- Furman, M. (2021). *Enseñar distinto: Guía para innovar sin perderse en el camino*. Siglo XXI Editores.
- García-Carmona, A. (2023). Scientific thinking and critical thinking in science education: Two distinct but symbiotically related intellectual processes. *Science & Education*, 1-19.
<https://doi.org/10.1007/s11191-023-00460-5>
- Garet, M. S., Porter, A. C., Desimone, L., Birman, B. F. y Yoon, K. S. (2001). What makes professional development effective? Results from a national sample of teachers. *American educational research journal*, 38(4), 915-945. <https://doi.org/10.3102/00028312038004915>
- Gellon, G., Feher, E. R., Furman, M. y Golombek, D. (2019). *La ciencia en el aula: lo que nos dice la ciencia sobre cómo enseñarla*. Siglo XXI Editores.
- Iwuanyanwu, P. N. (2022). What Students Gain by Learning through Argumentation. *International Journal of Teaching and Learning in Higher Education*, 34(1), 97-107.
- Iwuanyanwu, P. N. (2023). When science is taught this way, students become critical friends: Setting the stage for student teachers. *Research in Science Education*, 53(6), 1063-1079.
<https://doi.org/10.1007/s11165-023-10122-9>
- Khalaf, B. K. y Zin, Z. B M. (2018). Traditional and Inquiry-Based Learning Pedagogy: A Systematic Critical Review. *International Journal of Instruction*, 11(4), 545-564.
<https://doi.org/10.12973/iji.2018.11434a>
- Krajcik, J., Codere, S., Dahsah, C., Bayer, R. y Mun, K. (2014). Planning instruction to meet the intent of the Next Generation Science Standards. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 157-175. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9383-2>
- 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(7), 737-762.
<https://doi.org/10.1080/1046560X.2019.1625572>
- Macedo, B. (2016). Educación Científica. Oficina Regional de Ciencias de la UNESCO para América Latina y el Caribe. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000246427>
- MEDUCA y OCDE (2019). *Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes: Panamá*, MEDUCA-OCDE. <https://www.educapanama.edu.pa/?q=articulos-educativos/articulos/programa-para-la-evaluacion-internacional-de-estudiantes-pisa-panama>
- NGSS, Next Generation Science Standards (2014). *Read The Standards*.
<https://www.nextgenscience.org/search-standards>
- NRC, National Research Council (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. National Academies Press.
- NRC, National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press.
- Penuel, W. R., Fishman, B. J., Yamaguchi, R. y Gallagher, L. P. (2007). What makes professional development effective? Strategies that foster curriculum implementation. *American educational research journal*, 44(4), 921-958. <https://doi.org/10.3102/0002831207308221>
- Permana, D. y Utomo, U. (2021). Learning needs analysis: Thematic teaching book based on HOTS assisted with 3D stereoscopic images to improve critical thinking ability of elementary school students. *International Journal for Educational and Vocational Studies*, 3(2), 116-123.
<https://doi.org/10.29103/ijevs.v3i2.3294>
- Rundgren, C. J. (2018). Implementation of inquiry-based science education in different countries: some reflections. *Cultural Studies of Science Education*, 13(2), 607-615.
<https://doi.org/10.1007/s11422-016-9787-8>

- SENACYT (2018). La SENACYT y MEDUCA realizaron el seminario taller La Evaluación como herramienta en la enseñanza de ciencias. *SENACYT*. <https://www.senacyt.gob.pa/la-senacyt-y-meduca-realizaron-el-seminario-tallerla-evaluacion-como-herramienta-en-la-ensenanza-de-ciencias/>
- SENACYT. (2019). La SENACYT promueve intercambio pedagógico entre maestros del Proyecto Hagamos Ciencia. *SENACYT*. <https://www.senacyt.gob.pa/la-senacyt-promueve-intercambio-pedagogico-entre-maestros-del-proyecto-hagamos-ciencia/>
- Sidiq, Y., Ishartono, N., Desstya, A., Prayitno, H. J., Anif, S. y Hidayat, M. L. (2021). Improving elementary school students' critical thinking skill in science through hots-based science questions: A quasi-experimental study. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 10(3), 378-386
<https://doi.org/10.15294/jpii.v10i3.30891>
- Strat, T. T. S., Henriksen, E. K. y Jegstad, K. M. (2023). Inquiry-based science education in science teacher education: a systematic review. *Studies in Science Education*, 1-59.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2207148>
- UNESCO. (2021a). La ciencia al servicio de la sociedad. *UNESCO*. <https://es.unesco.org/themes/ciencia-al-servicio-sociedad>
- UNESCO. (2021b). Estudio Regional Comparativo y Explicativo (ERCE 2019): Reporte nacional de Resultados, Panamá. *UNESCO*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380251>
- Walsh, E. M. y McGowan, V. C. (2017). «Let your data tell a story»: climate change experts and students navigating disciplinary argumentation in the classroom. *International Journal of Science Education*, 39(1), 20-43. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1264033>

Transforming the Way Science Is Taught: Evidence Supporting Inquiry-Based Education

Delfina D'Alfonso

Centro de Investigación Educativa AIP, Ciudad de Panamá, Panamá
delfina.dalfonso@gmail.com

Nadia De León

Centro de Investigación Educativa AIP, Instituto de Investigaciones Científicas y Servicios de Alta Tecnología de Panamá AIP, Ciudad de Panamá, Panamá
ndeleon@indicat.org.pa

María Heller, Lineth Campos, Krystal del Rosario

Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, Dirección de Innovación en el Aprendizaje de la Ciencia y la Tecnología, Ciudad de Panamá, Panamá
mheller@senacyt.gob.pa, lcampos@senacyt.gob.pa, kdelrosario@senacyt.gob.pa

The critical role of science in driving technological innovation and social advancement highlights the need for robust science education systems. However, in Latin America, science teaching at the primary level remains predominantly transmissive (Furman, 2021). In Panama, concerns persist regarding the quality of science education, with low student performance in both regional and international assessments (UNESCO, 2021b; (MEDUCA y OCDE, 2019). This research explores Inquiry-Based Science Education (IBSE), a method that fosters active student engagement through questioning, investigation, and evidence-based explanations, which can lead to significant learning outcomes (NRC, 2000). The study investigates the implementation of IBSE among teachers participating in *Hagamos Ciencia* (HC), a professional development program led by the National Secretariat for Science, Technology, and Innovation, and its relationship between program implementation and students' science performance.

The study is framed in the theoretical foundations of IBSE, emphasizing the learning of science through engagement in scientific practices. This approach focuses on scientific practices outlined in the Next Generation Science Standards, a widely recognized framework for advancing science education. The use of several appropriate science teaching practices was examined among Panamanian teachers in HC, including proposing activities aligned with learning objectives; formulating questions and predictions; observing, collecting, and systematizing data; constructing explanations; and discussing ideas.

Researchers utilized a mixed-methods approach combining classroom observations with students' performance measured through tests at the end of 2019, with a sample of 245 4th, 5th, and 6th-grade teachers and their 2,213 students. Mentors conducted observations using a rubric specifically designed for the program, which measured the level of implementation of appropriate science teaching practices on a Likert scale from 1 (beginner) to 4 (expert). The average implementation level for each observed practice was calculated, and a qualitative characterization of teachers' proficiency in IBSE implementation was developed. To examine the relationship between IBSE implementation and student performance, the average test scores of each teacher's students were calculated. Linear regressions were conducted for each science teaching practice to assess its individual association with learning outcomes, followed by a multiple regression model to further explore the overall relationship between IBSE practices and student performance.

Results indicate that HC teachers are generally at the beginner stage of IBSE implementation. The data highlighted teacher challenges in promoting the formulation of significant scientific questions and predictions. Teachers encourage observation and data collection, while the use of this data as evidence to construct explanations is not sufficiently emphasized. Importantly, classroom discussions often rely on consensus rather than evidence-based argumentation. Each of the five practices, when considered separately, was a significant predictor of student performance. Regression analysis also revealed a significant positive correlation between the overall level of IBSE implementation and student learning. Within the overall model, asking questions was the only significant variable, as well as the intercept.

This study contributes to the growing body of evidence supporting IBSE as a transformative science education approach, underscoring the need for sustained and focused teacher training in order to fully realize its potential. The findings suggest that to achieve higher levels of IBSE implementation, teacher training should include particular emphasis on fostering teachers' ability to guide students in asking questions, engaging in scientific inquiry, and making predictions. Additionally, teachers need special support in learning how to guide their students in the process of utilizing their findings as evidence to support their arguments.



Una mirada al conocimiento del educador de docentes de matemáticas: un estudio de caso

An Insight Into the Mathematics Teachers Educator's Knowledge: A Case Study

Andrés Pérez-Montilla, José María Cardeñoso Domingo
Departamento de Didáctica (Área de Didáctica de la Matemática), Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Cádiz, Puerto Real, Cádiz, España
andres.perezmontilla@uca.es, josemaria.cardenoso@uca.es

Miguel Ángel Montes Navarro
Departamento de Didácticas Integradas (Área de Didáctica de la Matemática), Facultad de Educación, Psicología y Ciencias del Deporte, Universidad de Huelva, Huelva, España
miguel.montes@ddcc.uhu.es

RESUMEN • Este artículo pretende caracterizar parte del conocimiento profesional movilizado por un educador de docentes de matemáticas en la práctica. Mediante un enfoque cualitativo-interpretativo y a través de un estudio de casos instrumental, ilustramos algunos de los conocimientos profesionales que apoyaron las acciones de un educador de docentes durante un episodio de discusión colectiva en torno a la planificación de la enseñanza de las matemáticas en un programa de formación inicial de profesores de secundaria. Los resultados apuntan a distintos saberes emergentes que podrían contribuir a una comprensión más profunda sobre cómo gestionar de manera efectiva las discusiones colectivas en la formación inicial del profesorado de Matemáticas.

PALABRAS CLAVE: Educador de docentes; Discusión colectiva, Formación del profesorado de Matemáticas, Conocimiento profesional, Desarrollo profesional.

ABSTRACT • This article seeks to characterize specific dimensions of the professional knowledge that a mathematics teacher educator uses within their practice. Adopting a qualitative-interpretative approach and employing an instrumental case study methodology, we elucidate various aspects of professional knowledge that underpinned the actions of a mathematics teacher educator during a collective discussion concerning the planning of mathematics teaching in a pre-service teacher education program. The results highlight various emerging forms of knowledge that could contribute to a deeper understanding of how to manage collective discussions effectively in the initial training of mathematics teachers.

KEYWORDS: Teacher educator; Collective discussion; Mathematics teacher education; Professional knowledge; Professional development.

Recepción: octubre 2023 • Aceptación: enero 2025 • Publicación: marzo 2025

Pérez-Montilla, A., Cardeñoso, J. M. y Montes, M. Á. (2025). Una mirada al conocimiento del educador de docentes de matemáticas: un estudio de caso. *Enseñanza de las Ciencias*, 43(1), 23-40. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6065>

INTRODUCCIÓN

La investigación sobre desarrollo profesional del profesor de matemáticas ha puesto de relieve el papel relevante de los educadores de docentes en la formación tanto inicial como continua del profesorado. Sin embargo, los trabajos que tratan de caracterizar la naturaleza u organización del conocimiento profesional requerido para el buen desempeño de su práctica profesional se encuentran todavía en una etapa incipiente (Beswick y Goos, 2018; Goos y Beswick, 2021). Ello es debido a que el conocimiento y las habilidades que necesita un formador¹ (en adelante, MTE) –entendido como cualquier profesional que trabaja con profesores para desarrollar la enseñanza de las matemáticas (Jaworski, 2008) – difieren según el contexto en el que tiene lugar la formación o su cualificación profesional.

Algunos investigadores señalan que el saber de los educadores de docentes debería ser una extensión del saber del profesor (Castro-Superfine et al., 2020). En este sentido, Leikin (2020) afirmaba que estos profesionales necesitan conocimientos y competencias que van más allá de las que necesita un docente para enseñar matemáticas. A su vez, Escudero-Ávila et al. (2021) apuntan a que la naturaleza de los conocimientos que necesitan estos profesionales es distinta de los requeridos por el docente, ya que el contenido de la formación va más allá de las matemáticas y su didáctica, y porque además los destinatarios no son alumnos, sino aprendices adultos (Pérez-Montilla y Cardeñoso, 2023). En este sentido, el estudio cualitativo de Martignone et al. (2022) analizó las respuestas de un grupo de educadores de distintos perfiles profesionales acerca de qué conocimientos y habilidades serían necesarias para ser un buen educador. Este trabajo aportó hipótesis sobre algunas dimensiones del *conocimiento especializado*, entendido como el saber deseable o esperable. En todas las investigaciones anteriormente reseñadas el conocimiento profesional que debe construir un docente de matemáticas durante la formación aparece como una dimensión importante del saber del educador (Chapman, 2021).

Por otro lado, otros estudios se han interesado por caracterizar empíricamente distintas *prácticas profesionales*. Por ejemplo, Li y Castro-Superfine (2016) describieron cómo varios educadores planificaban sus programas de formación inicial evidenciando que estos profesionales seleccionaban distintos objetivos, como crear entornos seguros y colaborativos o conectar la teoría con la práctica valiéndose de distintas estrategias y recursos como tareas profesionales o el modelado para lograrlos. Otras investigaciones, como la de Şahin-Gür y Prediger (2024), se centran también en la práctica de planificar, pero esta vez cursos de formación continua, y concluyen que conforme mayor capacidad tenían los facilitadores participantes de conectar los objetivos del programa con elementos concretos del contenido, más coherente resultaba la secuencia de actividades. Finalmente, Amador (2022) caracterizó la mirada profesional de un grupo de formadores y más concretamente, su habilidad para interpretar el pensamiento de los profesores y conectar las interpretaciones con las evidencias.

Dado que las investigaciones que describen el conocimiento de los educadores en la práctica se encuentran en una etapa incipiente de desarrollo (Pascual, 2021), el objetivo de este artículo será caracterizar parte de los conocimientos de un educador de profesores de matemáticas (en adelante, MTE) mientras gestionaba un episodio de discusión colectiva (Ferreira et al., 2023) acerca de la planificación de la enseñanza durante un programa dirigido a futuros profesores de secundaria. Por consiguiente, la pregunta de investigación a la que intentaremos responder será: ¿qué tipos de conocimientos emergentes apoyaron las acciones de un educador de profesores de Secundaria mientras gestionaba una discusión colectiva? Para ello, comenzamos exponiendo el marco teórico que fundamenta nuestra investigación, describimos el contexto y la metodología para finalizar con los resultados, discusión y conclusiones.

1. En este artículo la expresión *formador* de docentes de matemáticas (MTE) incluye a todo el colectivo de profesionales que trabaja con docentes de matemáticas, tanto educadores -profesionales que apoyan el aprendizaje de profesores en activo y en formación inicial en contextos institucionales- como facilitadores -coaches, líderes de programas de desarrollo profesional...-.

CONTEXTUALIZACIÓN TEÓRICA

En esta sección adoptamos una perspectiva sociocultural con el fin de caracterizar algunos aspectos de la práctica profesional de los educadores de docentes de matemáticas, más concretamente durante la gestión de discusiones colectivas en la formación del profesorado. Finalmente, se describen algunos elementos del conocimiento profesional deseable para dirigirlos tomando la perspectiva de Escudero-Ávila et al. (2021).

La práctica profesional del educador de docentes de matemáticas

Ponte y Quaresma (2016) definieron la práctica como un sistema de actividades recurrentes y socialmente organizadas que tiene en cuenta los significados que los participantes asignan a lo que hacen, lo que origina unos motivos a alcanzar a través de sus acciones. Desde una perspectiva sociocultural (Ernest, 2006), la práctica puede concebirse como un sistema o conjunto de actividades admitidos dentro de una comunidad profesional entendiendo una actividad como «una unidad global dentro de la cual cobran sentido una serie de acciones o comportamientos movidos por un objetivo» (Sales et al., 2006, p. 2).

Las investigaciones de Amador (2022), Li y Castro-Superfine (2016) y Şahin-Gür y Prediger (2024) ponen de manifiesto que *enseñar a enseñar matemáticas*, tanto en la formación inicial como continua, es una actividad idiosincrática de todos los educadores de docentes de matemáticas en la que realizan unas tareas o acciones concretas para lograr unos objetivos, ayudándose de diversos recursos, como tareas profesionales, los cuales amplifican las capacidades individuales (Llinares, 2002). El conocimiento profesional del educador sería, por tanto, un recurso conceptual que apoyaría y guiaría la toma de decisiones y la realización de dichas acciones.

En este sentido, una práctica relevante es la de dirigir discusiones colectivas (Ferreira et al., 2023). Durante estas discusiones grupales los docentes tienen la posibilidad de acceder a otras perspectivas, teniendo el educador de docentes un papel crucial en su gestión, puesto que pueden constituir escenarios para la negociación de significados y llegar a ser oportunidades de aprendizaje para los profesores. Ferreira et al. (2023) distinguen cinco prácticas en la gestión discusiones colectivas:

- a) Establecer una comunidad de aprendizaje: se caracteriza por tener como fin proveer de un entorno seguro y confortable en el que los docentes se sientan proclives a compartir ideas y prácticas. Algunas acciones, como animar, elogiar, invitar o apoyar, contribuyen a que puedan darse esos ambientes de desarrollo profesional.
- b) Interpretar las interacciones con y entre los profesores: parafrasear intervenciones, validar alguna contribución, pedir aclaraciones, matizar lo que quiere decir algún participante o el propio educador, escuchar atentamente las intervenciones y ampliar los razonamientos de los docentes con comentarios son formas de dar sentido y significado a las interacciones que suceden durante la discusión colectiva.
- c) Establecer conexiones: en algunas ocasiones los educadores establecen relaciones con otros momentos del programa acontecidos previamente o relacionan las intervenciones con aspectos externos al programa.
- d) Desafiar a los profesores para que avancen en su conocimiento: el objetivo de esta práctica es promover la reflexión desafiando las afirmaciones de los docentes con el fin de que se planteen nuevas perspectivas o se reafirmen. Para ello, los educadores pueden recurrir a recursos tales como contraejemplos o preguntas.
- e) Sistematizar los aprendizajes: esta práctica está relacionada con la última fase de la discusión. Los educadores llevan a cabo acciones como recuperar los conocimientos previos que los docentes habían expuesto al inicio, de manera que sea posible establecer relaciones con los saberes construidos durante la discusión colectiva, o resumir los principales acuerdos adoptados.

El conocimiento profesional del educador de docentes

No existe un consenso unánime sobre qué debería enseñarse en los programas de formación inicial o continua del profesorado, ya que el desarrollo profesional de los docentes de matemáticas es un proceso polifacético y complejo. Desde nuestra perspectiva sobre tales procesos (Pérez-Montilla et al., 2023) consideramos que la propuesta de Escudero-Ávila et al. (2021) (ver figura 1) nos permite caracterizar y organizar parte del conocimiento requerido por cualquier educador de docentes para enseñar a enseñar matemáticas en un programa de formación inicial –contexto de nuestro estudio–.

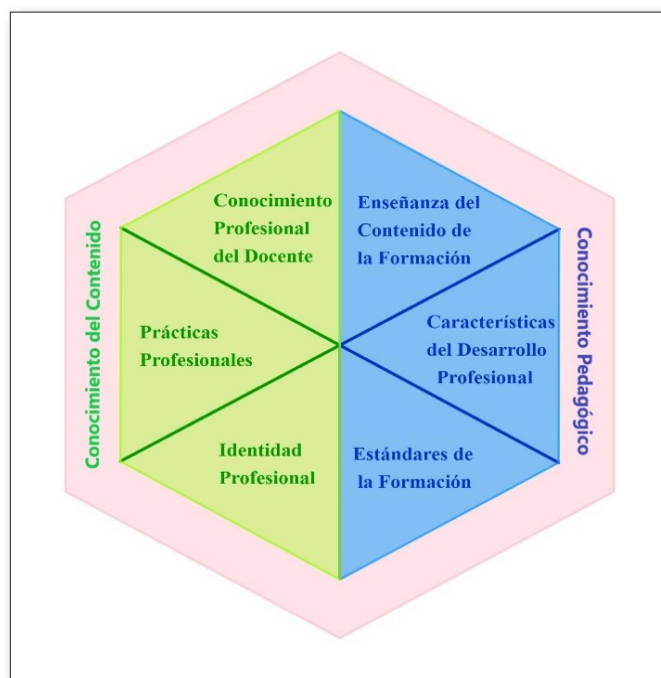


Fig. 1. El conocimiento profesional del educador de docentes. Fuente: elaboración propia.

Asumiendo que todos los educadores de docentes son también profesores, estos autores se basan en el trabajo de Shulman (1987) para identificar dos grandes dominios: el *conocimiento del contenido de la formación* (MTECK) y el *conocimiento didáctico del contenido de la formación* (MTEPCK). Para el MTECK asumen la perspectiva de Ponte (2011), organizándolo en tres subdominios: *conocimiento profesional del docente, prácticas e identidad profesionales*.

Respecto al *conocimiento profesional del docente* (CO), Escudero-Ávila et al. (2021) apuntaron que el conocimiento que necesita construir un docente de Matemáticas para enseñar matemáticas ha de ser conocido por el educador, aunque este último elabora una reconstrucción diferente tanto del *conocimiento del contenido matemático* (CK) como del *conocimiento didáctico del contenido* (PCK) (Carrillo et al., 2018), caracterizándose por un conocimiento matemático más extenso y profundo (Zopf, 2010), así como por una mayor densidad de conexiones con el PCK, de manera que le permita desempaquetar y reconstruir la (futura) práctica profesional de los docentes.

En referencia con el *conocimiento del educador sobre las prácticas profesionales* (PP), estos autores señalan que los educadores deberían conocer qué actividades realiza un profesor de Matemáticas, especialmente las relacionadas con la enseñanza/aprendizaje de las matemáticas, así como las capacidades, habilidades y competencias necesarias para llevarlas a cabo con éxito.

Finamente, la *identidad profesional* (IP) se refiere al conocimiento que debería tener un educador sobre los diversos posicionamientos en torno al *ser y sentirse* docente de matemáticas que pueden darse en una comunidad profesional, así como los factores que influyen en su configuración.

En referencia al MTEPCK, los autores señalan el *conocimiento de la enseñanza del contenido de la formación* (CE) como el conocimiento que han de tener los educadores sobre diversas estrategias, recursos, técnicas y ejemplos para enseñar el contenido, tales como los *casos prácticos* o el *análisis de vídeos* (Montes et al., 2022), además de las teorías de enseñanza aplicables a contextos de formación de docentes.

Otro elemento sería el *conocimiento de las características del desarrollo profesional* (DP) que, en sintonía con Sánchez y García (2002), incluiría conocimiento acerca de las distintas perspectivas teóricas sobre la forma en que aprenden los estudiantes para profesor, fortalezas y dificultades que encontrarán en su especialización como docentes, cuáles son sus saberes previos cuando acceden al programa o trayectorias de aprendizaje de los docentes.

Finalmente, el conocimiento de los *estándares de los programas de formación* (EF) incluye conocimiento sobre la organización de los distintos contenidos que conforman los programas de formación de docentes, su secuenciación y relaciones, asumiendo que estos pueden variar muy significativamente de un contexto a otro.

MÉTODO

Se llevó a cabo un análisis cualitativo-interpretativo (Bassey, 2003) a través de un estudio de casos instrumental, donde el objeto de la investigación fue caracterizar el conocimiento emergente de un educador de docentes durante la gestión de un episodio de discusión colectiva en un programa de formación inicial español para profesores de matemáticas de secundaria. A continuación, se describen el contexto, los datos, el proceso de análisis empleado y el participante.

Contexto

La toma de datos tuvo lugar durante el desarrollo de la asignatura obligatoria Aprendizaje y Enseñanza en la Especialidad de Matemáticas, la cual constaba de 18 sesiones. Debido a los recursos disponibles solo se grabaron las 6 primeras, todas ellas dentro del bloque *análisis curricular y del aprendizaje*, que comenzaba con una primera sesión dedicada a reflexionar sobre las finalidades de la educación matemática y continuaba, durante las sesiones siguientes, con un análisis del currículum de matemáticas en la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y Bachillerato españoles. A su vez, concluía con el estudio de las competencias matemáticas. El episodio elegido en este artículo aconteció durante la cuarta sesión, en la cual se les facilitó a los estudiantes para profesor (en adelante, EPP) una tarea profesional (ver figura 2) en la que debían elaborar un documento en pequeño grupo y realizar una puesta en común entre toda la clase posteriormente.

Las competencias específicas pretenden contribuir a las competencias clave a partir de cada una de las materias.

En esta actividad se trata de razonar la forma en que las diez competencias clave de matemáticas pueden realizar esa contribución a las ocho competencias clave.

Para ello debes tener como referencia la **Instrucción conjunta 1 /2022, de 23 de junio, de la Dirección General de Ordenación y Evaluación Educativa y de la Dirección General de Formación Profesional, por la que se establecen aspectos de organización y funcionamiento para los centros que impartan Educación Secundaria Obligatoria para el curso 2022/2023.**

De esta instrucción debes consultar los siguientes elementos:

- El perfil de salida (p. 26 y 27).
- Las competencias clave (p.27 y 28).
- Los descriptores operativos de las competencias clave (p. 28 a 35).
- La división de las competencias específicas en cinco bloques competenciales (p. 140).
- Las competencias específicas de matemáticas (p. 141).
- Los saberes básicos (p. 148).

Señala en un documento contribuciones de las Matemáticas a la adquisición de cada una de las competencias clave, apoyándote en las lecturas anteriores.

Fig. 2. Tarea profesional. Fuente: campus virtual de la asignatura

Datos recogidos

La principal fuente de información de esta investigación proviene de las transcripciones de las sesiones. Para segmentar la información y definir las unidades de significado, se seleccionaron aquellos episodios de información donde se observasen aspectos de la formación inicial del profesorado relacionados con la enseñanza/aprendizaje de las matemáticas. Posteriormente, y con un interés meramente confirmatorio para el equipo investigador, se realizó una entrevista semiestructurada al informante (Kvale, 1996), en la que se le solicitó que expusiese qué objetivos sustentaban cada una de las acciones que realizó, en pro de triangular el análisis de su conocimiento ya realizado. Para ello, el entrevistador –un miembro del equipo investigador– había visionado el episodio completo y anotado las acciones del participante basándose en la descripción dada por Ferreira et al. (2023) y detallada en el marco teórico de este artículo. A continuación, y tomando como punto de partida el cuestionamiento de dichas acciones, se plantearon preguntas contingentes, como, por ejemplo: ¿qué objetivo persigues cuando le pides al grupo que te expliquen qué entienden por «interpretar modelizar y resolver problemas de la vida cotidiana y propios de las matemáticas»?; o ¿qué fin persigues cuando les pones este ejemplo? Como apunte, durante la entrevista se le ofreció la posibilidad de visualizar el episodio en vídeo por si necesitaba centrarse en algún detalle o momento concreto del episodio para añadir detalles.

Proceso de análisis

El proceso de análisis comenzó con una etapa *top-down* (Grbich 2003), en la que mediante una revisión bibliográfica se extrajeron algunos elementos del conocimiento del educador para algunos subdomi-

nios –el de identidad profesional se ha omitido por cuestiones de espacio y de las prácticas profesionales no se encontraron evidencias empíricas suficientes en las fuentes consultadas–. Con esta información se construyó un sistema *a priori* de potenciales saberes (tabla 1). La parte *bottom-up* se llevó a cabo mediante el análisis del episodio por parte de un miembro del equipo investigador, identificando, en una primera etapa, las acciones llevadas a cabo por el informante, anteriormente descritas en el marco teórico, junto a los instrumentos de los que se valió. Estas acciones nos sirvieron como hipotéticos indicadores de la presencia de un conocimiento profesional movilizado. En segundo lugar, cada una de esas acciones se vinculó a un posible objetivo, el cual se cotejó con lo manifestado por el informante en la entrevista semiestructurada. Para finalizar, una vez que las acciones, instrumentos y fines pretendidos habían sido identificados y relacionados entre sí, se emplearon los descriptores de la tabla 1 y se seleccionaron aquellos conocimientos del MTE que podrían estar apoyando dichas acciones. En esta última fase del análisis se introdujeron nuevos elementos de conocimiento, según lo requiriese la información empírica emergente, reformulando y reinterpretando las definiciones/descriptores de los subdominios ya existentes y sus componentes en caso de que fuese necesario. La credibilidad de los resultados se obtuvo por validación entre miembros del equipo investigador (Bryman, 2001), habiendo realizado el análisis por separado y anteriormente descrito los tres investigadores de este trabajo, debatiendo las discrepancias hasta alcanzar un consenso unánime.

Tabla 1.
Elementos del conocimiento del educador a priori

<i>Dominios</i>	<i>Subdominios</i>	<i>Conocimientos y descriptores</i>	
Conocimiento del contenido de la formación (MTECK)	Conocimiento Profesional del Docente (CP)	Conocimiento del Contenido Matemático (CK) (Carrillo et al., 2018)	
		Conocimiento Didáctico del Contenido Matemático (PCK) (Carrillo et al., 2018)	
Conocimiento didáctico del contenido de la formación (MTEPCK)	Enseñanza del Contenido de la Formación (CE)	CE1: <i>Conocimiento sobre estrategias, técnicas, ejemplos y recursos de enseñanza con profesores</i>	Conocimiento de ejemplos, estrategias y recursos técnicos para enseñar el contenido de la formación, así como de sus fundamentos, potencialidades y limitaciones. (Chick y Beswick, 2018; Pascual et al., 2021)
		CE2: <i>Conocimiento sobre tareas profesionales para docentes</i>	Conocimiento sobre distintas tipologías de tareas para la formación, sus potencialidades y limitaciones. (Pascual et al., 2023)
	Características del desarrollo profesional del docente (DP)	DP1: <i>Indicadores/ evidencias de desarrollo profesional</i>	Conocimiento sobre indicadores que informan sobre el grado de desarrollo profesional de un docente. (Pascual, 2021; Pérez-Montilla y Arnal-Palacián, 2023)
		DP2: <i>Fortalezas y debilidades vinculadas al desarrollo profesional</i>	Conocimiento sobre las dificultades, errores, obstáculos y puntos fuertes relacionados con el desarrollo profesional. (Pérez-Montilla y Arnal-Palacián, 2023; Pérez-Montilla et al., 2023)
		DP3: <i>Teorías sobre el desarrollo profesional de los profesores</i>	Teorías que ilustran y describen los procesos de desarrollo profesional de los docentes. (Pascual, 2021)
	Estándares de la formación (EF)	EF1: <i>Conocimiento del programa de estudios</i>	Conocimiento sobre la estructura del plan de formación: orden, secuenciación, fines, resultados de aprendizaje y objetivos. (Pascual et al., 2021; Chick y Beswick, 2018)

Fuente: elaboración propia.

El informante

Nuestro informante (Joel) es licenciado en matemáticas y docente de secundaria con más de veinte años de experiencia. Además, lleva más de cinco años como educador de docentes de Matemáticas, impartiendo parte de un programa de formación inicial de profesores de Secundaria y ha comenzado a investigar en educación matemática recientemente. Su elección es intencional, ya que su doble perfil de docente en activo e investigador puede ofrecernos evidencias diversas de su conocimiento para enseñar a enseñar matemáticas en secundaria (Wu y Cai, 2022).

ANÁLISIS DE LOS DATOS

Las intervenciones de Joel se han codificado como F-X (donde X es un número), y como EF-X para la entrevista, mientras que la de los estudiantes para profesor se ha hecho como EPP-NX (N es un identificador para el individuo y X para la intervención). El episodio comienza cuando Joel proyecta y lee ante toda la clase el inicio del informe que había elaborado un pequeño grupo de EPP como respuesta a la tarea profesional, y decide iniciar una discusión colectiva tomando como punto de partida una afirmación contenida en dicho documento e incitando a los futuros docentes a reflexionar sobre aspectos de la enseñanza de las matemáticas que iban más allá de la consigna de la tarea inicialmente propuesta:

F-1: antes de avanzar me gustaría que me aclaraseis qué significaría (cita textualmente) «interpretar, modelizar y resolver problemas de la vida cotidiana y propios de las matemáticas».

(Silencio. Nadie responde.)

F-2: por ejemplo, ¿qué sería un problema de la vida cotidiana para vosotros?

EPP-11: un problema que te puedes encontrar en el día a día.

F-3: un problema que te puedes encontrar en el día a día. Por ejemplo, uno parecido a éste: Pedro tiene 80 melones. Cada melón cuesta... (risas) ¿Eso es un problema de la vida cotidiana?

EPP-21: si no vende melones...

F-4: si no vende melones, muy difícilmente ¿verdad?

EPP-31: si no sientes alusión...

F-5: sería un problema con el que tú te puedes sentir de alguna manera identificado ¿no? Lo ves como algo cercano. Probablemente, si soy un docente de Barbate tendré que poner un problema distinto a si mi centro está en la campiña jerezana [...] Pero fijaos como yo puedo, de alguna manera, contextualizar en función del alumnado que tengo delante. Y ahora, también me habla de problemas propios de la matemática. ¿Qué sería un problema propio de la matemática?

EPP-41: cualquiera que aparece en un libro.

F-6: ¿cualquiera que aparece en un libro?

EPP-42: en un libro de matemáticas.

F-7: no sé si recordaréis cuando vimos el vídeo de Wolfram Alpha que decía que muchas veces, en los institutos, las matemáticas se parecen mucho a las matemáticas. [...] Los problemas propios de las matemáticas son suma de polinomios, calcúlame la integral de... [...] Y ahora ¿yo que tengo que hacer con esos problemas de la vida cotidiana o de las matemáticas? Tengo que interpretar el problema, tengo que modelizarlo y tengo que resolverlo. Eso ¿qué sería? ¿A qué os suena?

EPP-43: al constructivismo matemático.

F-8: ¿al constructivismo psicológico? Está relacionado, sí, ¿verdad? Yo pretendo, de alguna manera, que el alumnado antes de ponerse a trabajar tenga que interpretar lo que está trabajando, después tiene que modelizarlo ¿no? ¿no es eso actividad matemática? Cuando modelizamos convertimos algo que no tiene por qué ser matemáticas en algo que sí termina siendo matemáticas y, luego, resolverlo y como que se cierra el ciclo. Probablemente tenga que volver a interpretar ya que una vez resuelto tenemos que ver si esa interpretación es correcta. ¿Cualquier problema que yo pueda plantear en el aula favorece esto? ¿El de los melones?

EPP-44: no, ese es básico.

F-9: entonces en la medida de lo que dice EPP-4 tened cuidado porque el pretender desarrollar (competencias) para mí tiene unas exigencias como docente a la hora de plantear (la enseñanza), proponer (las tareas) [...]

Se le preguntó a Joel cuál era el objetivo principal que perseguía con la discusión colectiva, a lo que respondió: «yo lo que esperaba era un cuestionamiento por su parte. Yo intento que ellos se vayan haciendo cuestiones respecto a lo que hacen y que vayan viendo el rol que como docentes tienen dentro del aula» (EF-4). A continuación, se detalla el análisis del episodio, el cual ha sido sintetizado en la tabla 2.

Tabla 2.
Síntesis del análisis del episodio

<i>Intervención</i>	<i>Acciones</i>	<i>Finalidad</i>	<i>Instrumentos técnicos</i>	<i>Conocimientos del educador</i>
F-1	Identificar	Detectar aspectos importantes en una tarea profesional	Respuesta escrita y observación directa	DP1
	Pedir aclaraciones	Evocar sus conocimientos previos	Discusión colectiva	CE1
F-2	Reorientar	Buscar la participación de los EPP	Pregunta	CE1
F-3	Contraponer	Ayudarles a avanzar en su conocimiento	Ejemplo comparativo	CE1, CP-PCK
F-4	Validar	Dar legitimidad a la aportación del EPP-2 para resaltar ideas importantes	Reproducir los razonamientos de los EPP	DP4
F-5	Relacionar	Establecer conexiones entre la formación y la práctica de aula	Modelado de la práctica	PP1, CP-CC, CP-PCK
	Pedir aclaraciones	Evocar sus conocimientos previos	Pregunta	CE1
F-6	Pedir aclaraciones	Dar sentido y significado a la intervención del EPP-4	Pregunta	CE1
F-7	Aclarar/explicar	Asegurar la comprensión de las ideas principales	Ejemplos	CP-CK
	Retomar	Establecer conexiones con otros elementos del proceso formativo	Evocación	EF1

<i>Intervención</i>	<i>Acciones</i>	<i>Finalidad</i>	<i>Instrumentos técnicos</i>	<i>Conocimientos del educador</i>
F-8	Parfrasear	Dar sentido y significado a la intervención del EPP-4	Reformulación de la intervención	DP1
	Aclarar/explicar	Asegurar la comprensión de las ideas principales	Comentario	CP-CK
	Cuestionar	Ayudarles a avanzar en su conocimiento	Pregunta	CE1
F-9	Sistematizar aprendizajes	Organizar el conocimiento y relacionarlo con los objetivos de aprendizaje	Comentario	PP1

Fuente: elaboración propia.

Durante la intervención F-1, su conocimiento sobre *indicadores/evidencias de desarrollo profesional* (DP1) (ver tabla 2) le habría ayudado a ver una potencial oportunidad de aprendizaje en el documento elaborado por un pequeño grupo de EPP. En la figura 2 se mostró que la tarea profesional se circunscribía únicamente a analizar aspectos concretos del currículum oficial español, pero ello no impidió a Joel el utilizar las respuestas dadas por los EPP como desencadenante para iniciar una discusión colectiva sobre otros aspectos como el papel del profesor a la hora de planificar la enseñanza. Por ello, pide aclaraciones al pequeño grupo de EPP con el fin de evocar sus conocimientos previos, tal y como confirmó en la entrevista: «[...] en esa pregunta en concreto estaba tratando de conectar con el módulo de complementos, apelar a sus conocimientos teóricos aprendidos durante el máster [...]» (EF-2).

A continuación, en F-2, al no recibir respuesta, Joel reorienta el foco de la discusión hacia aspectos más concretos como los tipos de problemas y tareas, consiguiendo que un EPP se anime a responder. El objetivo de esta invitación era: «[...] O sea, yo estaba pensando más bien en la selección general de cualquier contenido que hace el docente. Lo que pasa que, bueno... me parecía una buena manera de ejemplificar esa idea, el pensar en lo que más a mano tienen ellos (los EPP) cuando trabajan en la clase de matemáticas que es una tarea. [...]» (EF-9). Por tanto, el uso de preguntas para reorientar el objeto de la discusión colectiva con el fin ayudar a los EPP a participar supondría una evidencia de su *conocimiento sobre estrategias de enseñanza* (CE1).

Una vez que consiguió que el EPP-1 aportase una idea, en F-3, se observa la acción de contraponer. Esta acción viene motivada por el hecho de que el informante conoce distintas preconcepciones de los EPP y la influencia que tienen en cómo seleccionan tareas: «[...] ellos tienen la sensación, o por lo menos en mi experiencia de los años que llevo aquí, tienen la sensación de que cualquier actividad desarrolla cualquier competencia. [...]» (EF-8). Por tanto, Joel construyó un contraejemplo –evidencia de su CE1– basándose en su *conocimiento sobre tareas matemáticas* (CP-PCK). En el discurso del episodio evidenció conocer distintos tipos de tareas y su adecuación a un determinado enfoque de enseñanza, aspecto que quedó confirmado en la entrevista: «[...] la elección y la selección que hacen los docentes de las actividades que proponen es muy importante y no pueden elegir las al azar. Tienen que estar bien relacionadas con el tópico que están trabajando (los alumnos) pero también tienen que ser lo suficientemente ricas y cercanas [...]» (EF-6).

En la intervención F-4, Joel pone en valor la aportación del EPP-2 y da su aprobación cuando dice: «si no vende melones, muy difícilmente». En la entrevista declaró que el objetivo que le mueve a poner en valor las aportaciones de sus estudiantes es: «[...] yo quiero que todo el mundo en función de lo que sabe se plante lo que puede hacer con esa idea. Y yo creo que las ideas, de alguna manera, hay que dejarlas nacer en la cabeza de los alumnos [...]» (EF-13), por lo que hipotetizamos que podría haber movilizado su conocimiento sobre *aspectos emocionales y afectivos en el desarrollo profesional de los*

docentes (DP4) para incluir matizaciones *a posteriori* basadas en las intervenciones, pero manteniendo un ambiente distendido y comfortable.

En F-5, Joel estableció una conexión/relación entre el contexto de los problemas matemáticos de la vida cotidiana y otros aspectos de la práctica mediante la estrategia del modelado de la enseñanza, evidenciando su conocimiento sobre prácticas profesionales (PP), en concreto, *conocimiento sobre competencias, capacidades y habilidades de los docentes de matemáticas* (PP1). Joel mostró a través de su discurso su capacidad para adaptar las tareas a grupos de alumnos concretos, lo que supondría una evidencia de su *conocimiento de los contextos educativos* (CP-CC) (Shulman, 1987). Al final de la intervención, les solicita aclaración respecto a qué entienden por un problema propio de las matemáticas mediante una pregunta (CE1), porque quería que los EPP reflexionasen sobre cómo este tipo de tareas son o no pertinentes a la hora de desarrollar competencias matemáticas, tal y como confirmó en la entrevista: «ellos están reflexionando sobre cómo desarrollar competencias. Entonces, en ese contexto, me parece importante que ellos discriminen entre problemas que se podrían considerar que no salen de la propia matemática porque no necesitan ser aplicados o porque en el contexto de clase en el que se trabajan no son aplicados» (EF-9).

A continuación, en F-6, Joel habría movilizado su CE1 para lanzarle una pregunta al EPP-1 con el fin de que desarrolle su respuesta, dándole la oportunidad de retomar su postura, certificar o replantear los significados expuestos. Como puede observarse, el estudiante explicó que se refería a cualquiera que aparece «en un libro de matemáticas».

Tras la aclaración, Joel habría empleado en F-7 su conocimiento del contenido matemático (CP-CK) para aclarar y garantizar la comprensión de las ideas principales que quiere exponer mediante dos ejemplos de tareas propias de las matemáticas –la suma de polinomios y el cálculo de integrales–. Finalizó la intervención realizando una conexión con otro momento del proceso formativo con el objetivo de ampliar el horizonte de los EPP, al trasladar el foco a otros elementos de la enseñanza, tales como los recursos tecnológicos, algo que no se explicita en el episodio, pero que sí quedó patente en la entrevista: «[...] yo quería evocar ese vídeo porque me parece [...] que la incorporación de las TICs –tecnologías de la información y comunicación– te cambia el terreno de juego. Yo quería que ellos vincularan lo que estábamos trabajando (competencias) con Wolfram Alpha porque [...] la incorporación de tecnologías hace que tú te puedas centrar más en las aplicaciones o los conceptos que en los cálculos [...]» (EF-12). Por lo tanto, tendríamos una evidencia de su conocimiento del plan de estudios de la formación (EF1).

En F-8, Joel ve en la contribución del EPP-4 (DP1) una oportunidad para la introducción de nuevas ideas en la discusión, aspecto que se observaría en la acción de parafrasear la respuesta del EPP sobre el constructivismo, pero manteniendo parte del significado. A su vez, amplió la intervención con una alusión a la noción de modelización matemática, lo que supondría una evidencia de su conocimiento del contenido matemático (CP-CK). Termina desafiando a los estudiantes (CE1) con la pregunta: «¿Cualquier problema que yo pueda plantear en el aula favorece esto?», para que movilicen sus conocimientos didácticos sobre tareas (enriquecidos durante el episodio), aspecto que confirmó en la entrevista: «yo entiendo que si tienen que modelizar y de alguna manera hacer cercano el contenido a los alumnos ellos tienen que escarbar en los conocimientos didácticos que ellos tienen para hacerlo realidad [...]» (EF-1).

Para finalizar, en F-9, nuestro participante sistematizó los aprendizajes, que en palabras de Joel durante la entrevista fueron: «[...] pretendo ir más allá de eso (las tareas). O sea que no sólo piensen en la actividad en sí sino en el diseño didáctico completo. La metodología que van a utilizar, el tipo de aprendizaje por el que van a apostar... Y, bueno, la actividad para mí sólo es un mero ejemplo para intentar que reflexionen y que se planteen cuál es su posición en general cuando dan clase. [...]» (EF-9). Para ello, Joel tomó la decisión de ir focalizándose en otros aspectos más concretos de la práctica, como la selección de tareas o los recursos digitales, con el objetivo de andamiar el proceso reflexivo, lo que nos aportaría evidencias de su *conocimiento sobre actividades/prácticas profesionales de los docentes de matemáticas* (PP1).

DISCUSIÓN

El objetivo de este artículo es caracterizar el conocimiento movilizado por un educador de docentes de matemáticas durante la gestión de una discusión colectiva. En el análisis realizado se observaron distintos tipos de saberes que apoyaron sus acciones, siendo un conocimiento organizado en la acción y para la acción.

En primer lugar, tras el análisis realizado sería posible identificar cuatro saberes emergentes de nuestro informante no identificados *a priori* (tabla 1): conocimiento de los contextos de enseñanza (CC), conocimiento sobre actividades de los docentes de matemáticas (PP1), conocimiento sobre competencias, capacidades y habilidades de los docentes de matemáticas (PP2) y conocimiento sobre aspectos emocionales y afectivos en el desarrollo profesional de los docentes (DP4). En la tabla 3 se incluyen los nuevos descriptores propuestos para tales saberes, tomando como base las evidencias obtenidas en el análisis. Igualmente, en dicha tabla hemos ubicado dichos conocimientos en distintos subdominios del marco de Escudero-Ávila et al. (2021), excepto el conocimiento sobre contextos de enseñanza, que quedaría fuera del subdominio *conocimiento profesional*, tal y como lo conciben estos autores. No obstante, podría discutirse la propia definición del subdominio dada por Escudero-Ávila et al. (2021) adoptando una perspectiva más amplia sobre el conocimiento del docente como la que proponen Peters-Dasdemir et al. (2023), de manera que este saber podría incluirse dentro de la categoría conocimiento didáctico (*pedagogical knowledge*, PK-C).

Tabla 3.
Nuevos saberes del educador identificados tras el análisis

<i>Domínios</i>	<i>Subdominios</i>	<i>Nuevos elementos de conocimiento</i>	<i>Descriptores tras el análisis</i>	<i>Evidencia</i>
Conocimiento del contenido de la formación (MTECK)	Conocimiento profesional del docente (CO)	CC: <i>Conocimiento de los contextos de enseñanza</i>	Conocimiento sobre distintos contextos en los que se desenvuelve el profesor de matemáticas	Tener en cuenta el contexto de enseñanza como un factor relevante en la selección de tareas de matemáticas
	Prácticas profesionales (PP)	PP1: <i>Conocimiento sobre actividades características de los docentes de matemáticas</i>	Conocimiento sobre distintas actividades/prácticas profesionales	Contextualizar acciones del profesor (proponer tareas) en prácticas más generales (planificar la enseñanza)
		PP2: <i>Conocimiento sobre competencias, capacidades y habilidades de los docentes de matemáticas</i>	Conocimiento sobre competencias, capacidades y habilidades necesarias para enseñar	Ser capaz de establecer y explicitar las conexiones entre la teoría y las acciones del profesor
Conocimiento didáctico del contenido de la formación (MTEPCK)	Características del desarrollo profesional del docente (DP)	DP4: <i>Conocimiento sobre aspectos emocionales y afectivos en el desarrollo profesional de los docentes</i>	Conocimiento sobre lo afectivo en el desarrollo profesional del profesorado	Validar los aspectos positivos de las contribuciones de los EPP en una discusión colectiva

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al conocimiento de Joel *sobre competencias, capacidades y habilidades de los docentes de matemáticas*, su experiencia como docente de secundaria le sirvió para establecer conexiones bidireccionales entre teoría y práctica (intervención F-7), tal y como afirman Wu y Cai (2022). Por otro lado, el hecho de ser capaz de establecer conexiones de manera consciente y justificada entre elementos generales, a la hora de planificar la enseñanza, y elementos más concretos, como tareas, el contexto o los recursos digitales, supondrían una evidencia de su *conocimiento sobre actividades características de los docentes de matemáticas*. En consecuencia, su propia experiencia como docente de secundaria constituyó una fuente de conocimiento para nuestro educador docentes de matemáticas, tal y como señalan Ozmantar y Agac (2021).

Respecto al *conocimiento del programa de estudios* (EF1), nuestros resultados sugieren que este conocimiento habría apoyado a Joel a la hora de establecer conexiones y rescatar conocimientos aprendidos en otras materias (Pascual, 2021) o momentos del proceso formativo en las discusiones colectivas. Cabe reseñar que el marco de conocimiento especializado que propone Martignone et al. (2022) no contempla este saber, por lo que nuestros resultados plantearían la necesidad de ampliar dicho referente teórico.

Para finalizar, consideramos que nuestros resultados podrían enriquecer la perspectiva de Ferreira et al. (2023) y ayudarían a ganar en comprensión respecto a cómo los educadores de docentes de matemáticas gestionan discusiones colectivas. En este sentido, cabe reseñar que los resultados apuntan a una nueva acción, como es la de reorientar el foco, la cual habría sido utilizada por Joel para centrar la atención en aspectos más accesibles cuando la demanda con la que se interpela a los EPP resulta demasiado exigente al inicio de la discusión colectiva.

Por otro lado, nuestros resultados apuntarían a que el *conocimiento sobre aspectos emocionales y afectivos en el desarrollo profesional de los docentes* (DP4) habría informado a Joel sobre cómo influirían las emociones en el aprendizaje de los EPP, sus reacciones (Chick y Beswick, 2018), motivaciones, intereses..., constituyéndose en un apoyo fundamental para conseguir *establecer una comunidad de aprendizaje*. Evitar críticas sobre la idoneidad o pertinencia de las contribuciones que surgen de manera espontánea y validar o reforzar los aspectos positivos de las intervenciones podrían ser indicadores de la presencia de este saber.

Por otro lado, el conocimiento sobre *fortalezas y debilidades vinculadas al desarrollo profesional* (DP2) habría sido de utilidad a Joel para dar sentido a las interacciones entre y con los profesores, anticiparse a posibles debilidades e identificar necesidades formativas. Tras el análisis realizado, hipotetizamos que las acciones de contraponer o cuestionar los planteamientos de los EPP podrían ser estrategias que utilice el educador para ayudar a los EPP a superar algún tipo de dificultad, como también se observó en el trabajo de Pascual et al. (2021).

Acera del conocimiento de Joel sobre *indicadores/evidencias de desarrollo profesional* (DP1), podríamos decir que ayudó a nuestro participante a *identificar y seleccionar* informaciones, eventos o aspectos relevantes de las interacciones o del contexto, con el fin de convertirlas en oportunidades de aprendizaje (Amador, 2022). Acciones tales como parafrasear total o parcialmente las contribuciones de los EPP, o enriquecer y ampliar las intervenciones, servirían como indicadores de la presencia de este saber.

Para finalizar, el *conocimiento sobre ejemplos, estrategias y recursos de enseñanza con profesores* (CE1) fue determinante para Joel durante la gestión de la discusión colectiva, ya que le ayudó a decidir cómo actuar y qué instrumentos utilizar. Recursos como preguntas, ejemplos, el modelado..., así como los momentos en los que fueron utilizados, nos indicarían la presencia de este saber y, por ende, del grado de experiencia gestionando discusiones colectivas.

CONCLUSIONES

Este artículo tiene como objetivo caracterizar el conocimiento movilizado por un educador de docentes durante un episodio de discusión colectiva en un programa de formación inicial. En este sentido, se identificaron nuevos saberes emergentes que vienen a enriquecer el marco de Escudero-Ávila et al. (2021), tal y como se mostró en la tabla 3, aunque sigue siendo necesario profundizar en la noción de *conocimiento especializado*. Por ejemplo, la manera en que nuestro informante movilizó su PCK sobre tareas matemáticas para contraponer perspectivas o modelar cómo adaptar las tareas al contexto del aula sugieren que los educadores de docentes tendrían un conocimiento del conocimiento del profesor de matemáticas distinto y, además, movilizarían ese saber para otros fines diferentes a los objetivos que persiguen los profesores. A su vez, la rica cantidad de conexiones entre subdominios –intervenciones F-3 y F-5–, tal y como señalan Carrillo et al. (2019), podría constituir un interesante punto de partida para ahondar en esa idea de especialización.

Por otro lado, pensamos que los hallazgos de este trabajo contribuyen a ganar una comprensión más profunda respecto al conocimiento necesario para una gestión eficaz de las discusiones colectivas en la formación inicial. Por poner un ejemplo, la acción de reorientar el foco de la discusión con el objetivo de establecer una comunidad de aprendizaje vendría a expandir y enriquecer el marco de Ferreira et al. (2023). A su vez, nuestro análisis habría identificado distintos tipos de saberes deseables para una gestión eficaz de estas discusiones grupales con docentes, como por ejemplo, el conocimiento sobre aspectos emocionales y afectivos en el proceso de desarrollo profesional. En consecuencia, este estudio apunta a algunos focos importantes que necesitan ser aprendidos o atendidos en los programas de desarrollo profesional de todos los formadores.

Como limitaciones del estudio, nuestro enfoque no contempla la posibilidad de que distintas ideas y conocimientos pudieran haber emergido durante otros momentos de discusión colectiva, al haberse considerado un único episodio. En este sentido, somos conscientes de la dificultad existente a la hora de generalizar o extrapolar los resultados, aunque la descripción que hemos realizado del episodio nos ha permitido ganar en comprensión acerca del conocimiento movilizado por un educador de docentes de matemáticas, con perfil de profesor en activo, para gestionar una discusión colectiva.

Para finalizar, quisiéramos reseñar que otras limitaciones son el contexto del estudio –un programa de formación inicial–, el perfil del informante y la tarea profesional. Por consiguiente, son necesarios más investigaciones que confirmen o no el alcance y la validez de los descriptores empíricos y saberes emergentes mostrados en este trabajo, aunque esperamos que esta primera aproximación sirva como un punto de partida que redunde en una mayor comprensión sobre la práctica y el conocimiento profesional de los educadores de docentes de matemáticas.

AGRADECIMIENTOS

A los grupos de investigación HUM-462 y DESYM (HUM-168), el proyecto PID2021-122180OB-I00 (MINECO) del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, al proyecto ProyExcel_00297, de la Junta de Andalucía, al centro de investigación COIDESO de la Universidad de Huelva y a la Red MTSK financiada por AUIP.

BIBLIOGRAFÍA

- Amador, J. M. (2022). Mathematics teacher educator noticing: examining interpretations and evidence of students' thinking. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 25(2), 163-189. <https://doi.org/10.1007/s10857-020-09483-z>
- Bassey, M. (2003). *Case study research in educational settings*. En P. Sikes (Ed.). Open University Press.
- Beswick, K. y Goos, M. (2018). Mathematics teacher educator knowledge: what do we know and where to from here? *Journal of Mathematics Teacher Education*, 21(5), 417-427. <https://doi.org/10.1007/s10857-018-9416-4>
- Bryman, A. (2001). *Social research methods*. Oxford University Press.
- Carrillo, J., Climent, N., Montes, M., Contreras, L. C., Flores-Medrano, E., Escudero-Ávila, D., Vasco, D., Rojas, N., Flores, P., Aguilar-González, Á., Ribeiro, M. y Muñoz-Catalán, M. C. (2018). The mathematics teacher's specialised knowledge (MTSK) model. *Research in Mathematics Education*, 20(3), 236-253. <https://doi.org/10.1080/14794802.2018.1479981>
- Carrillo, J., Montes, M., Codes, M., Contreras, L. C. & Climent, N. (2019). El conocimiento didáctico del contenido del formador de profesores de matemáticas: su construcción a partir del análisis del conocimiento especializado pretendido en el futuro profesor. En F. Imbernón, A. Shigunov y I. Fortunato (Eds.), *Formação permanente de professores: experiências iberoamericanas*. São Paulo (pp. 324-341). Edições Hipótese.
- Castro-Superfine, A., Prasad, P. V., Welder, R. M., Olanoff, D. y Eubanks-Turner, C. (2020). Exploring mathematical knowledge for teaching teachers: supporting prospective elementary teachers' relearning of mathematics. *The Mathematics Enthusiast*, 17(2 y 3), 367-402. <https://scholarworks.umt.edu/tme/vol17/iss2/3/>
- Chapman, O. (2021). Mathematics teacher educator knowledge for teaching teachers. En K. Beswick y O. Chapman (Eds.), *The Learning and Development of Mathematics Teacher Educators: International Perspectives and Challenges* (pp. 403-416). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62408-8_21
- Chick, H. y Beswick, K. (2018). Teaching teachers to teach Boris: a framework for mathematics teacher educator pedagogical content knowledge. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 21(5), 475-499. <https://doi.org/10.1007/s10857-016-9362-y>
- Ernest, P. (2006). Reflections on theories of learning. *ZDM - International Journal on Mathematics Education*, 38(1), 3-7. <https://doi.org/10.1007/BF02655901>
- Escudero-Ávila, D., Montes, M. y Contreras, L. C. (2021). What do mathematics teacher educators need to know? Reflections emerging from the content of mathematics teacher education. En M. Goos y K. Beswick (Eds.), *The learning and development of mathematics teacher educators: international perspectives and challenges* (pp. 23-40). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62408-8_2
- Ferreira, M. C. N., Ribeiro, A. J. y Ponte, J. P. (2023). Práticas e ações do formador de professores que ensinam matemática na orquestração de discussões coletivas. *Bolema - Boletín de Educación Matemática*, 37(76), 666-687. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v37n76a14>
- Goos, M. y Beswick, K. (2021). *The learning and development of mathematics teacher educators: international perspectives and challenges*. Springer.
- Grbich, C. (2003). *New approaches in social research*. SAGE.

- Jaworski, B. (2008). Development of the mathematics teacher educator and its relation to teaching development. En B. Jaworski y T. Wood (Eds.), *The International Handbook of Mathematics Teacher Education: Volume 4: The Mathematics Teacher Educator as a Developing Professional* (pp. 335-361). Sense Publishers. <https://pdfs.semanticscholar.org/bffb/07ea14b875bad2d4868a7cd23e5a34f25a05.pdf>
- Kvale, S. (1996). *Interviews: an introduction to qualitative research interviewing*. SAGE.
- Leikin, R. (2020). How far is the horizon? En K. Beswick y O. Chapman (Eds.), *International Handbook of Mathematics Teacher Education: Volume 4* (pp. 15-33). Brill Sense. https://doi.org/https://doi.org/10.1163/9789004424210_002
- Li, W. y Castro-Superfine, A. (2016). Mathematics teacher educators' perspectives on their design of content courses for elementary preservice teachers. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 21(2), 179-201. <https://doi.org/10.1007/s10857-016-9356-9>
- Martignone, F., Ferretti, F. y Rodríguez-Muñiz, L. J. (2022). What aspects can characterize the specialised knowledge of a mathematics teacher educator? *Educación Matemática*, 34(3), 301-328. <https://doi.org/10.24844/EM3403.11>
- Montes, M., Climent, N. y Contreras, L. C. (2022). Construyendo conocimiento especializado en geometría: un experimento de enseñanza en formación inicial de maestros. *Aula Abierta*, 51(1), 27-36. <https://doi.org/10.17811/rifie.51.1.2022.27-36>
- Ozmantar, M. F. y Agac, G. (2021). Mathematics teacher educators' knowledge sources in teacher education practices. *Mathematics Education Research Journal*, 35, 1-27. <https://doi.org/10.1007/s13394-021-00382-x>
- Pascual, M. I. (2021). *El conocimiento del formador de maestros en la etapa de formación inicial, en relación con la enseñanza de la Didáctica de las Matemáticas. Un estudio de caso*. [Tesis doctoral Universidad de Huelva]. <http://hdl.handle.net/10272/20208>
- Pascual, M. I., Climent, N., Codes, M., Martín, J. P. y Contreras, L. C. (2023). Tareas en la formación inicial de maestros para la construcción de conocimiento especializado para la enseñanza de las matemáticas. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 98(37.2), 55-72. <https://doi.org/10.47553/rifop.v98i37.2.99221>
- Pascual, M. I., Montes, M. y Contreras, L. C. (2021). The pedagogical knowledge deployed by a primary mathematics teacher educator in teaching symmetry. *Mathematics*, 9(11), 1-12. <https://doi.org/10.3390/math9111241>
- Pérez-Montilla, A. y Arnal-Palacián, M. (2023). An approach to the teacher educator's pedagogical content knowledge for the development of professional noticing in Pre-service teacher education. *Education Sciences*, 13(6), 544. <https://doi.org/10.3390/educsci13060544>
- Pérez-Montilla, A. y Cardeñoso, J. M. (2023). Hacia una posible configuración del conocimiento profesional del formador de docentes de matemáticas : un análisis comparativo. *Bolema - Boletín de Educación Matemática*, 37(75), 148-167. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v37n75a08>
- Pérez-Montilla, A., Cardeñoso, J. M. y Montes, M. A. (2023). Una aproximación al conocimiento del formador de docentes de matemáticas en la formación inicial. En C. Jiménez-Gestal, Á. A. Magreñán y E. Badillo (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XXVI* (pp. 443-450). <https://www.seiem.es/docs/actas/26/Comunicaciones/443.pdf>
- Peters-Dasdemir, J., Holzäpfel, L., Barzel, B. y Leuders, T. (2023). Competency framework for the qualification of facilitators of mathematics. En A. Manizade, N. Buchholtz y K. Beswick (Eds.), *The Evolution of Research on Teaching Mathematics: International Perspectives in the Digital Era* (pp. 311-338). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-31193-2_11
- Ponte, J. P. (2011). Teachers' knowledge, practice, and identity: essential aspects of teachers' learning. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 14(6), 413-417. <https://doi.org/10.1007/s10857-011-9195-7>

- Ponte, J. P. y Quaresma, M. (2016). Teachers' professional practice conducting mathematical discussions. *Educational Studies in Mathematics*, 93(1), 51-66. <https://doi.org/10.1007/s10649-016-9681-z>
- Şahin-Gür, D. y Prediger, S. (2024). Facilitators' planning practices for PD activities and their alignment to chosen PD goals: A case study on relevance of unpacking PD goals. En P. Drijvers, C. Csapodi, H. Palmér, K. Gosztonyi y E. Herendiné-Kónya (Eds.), *Thirteenth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME13)* (pp. 4818–4825). Alfréd Rényi Institute of Mathematics; Eötvös Loránd University of Budapest. <https://hal.science/CERME13/hal-04420737v1>
- Sales, C., Peirats, J. y San Martín, Á. (2006). Actividades con tecnologías de la información en la enseñanza secundaria. Realidad y esperanzas de cambio. *Congreso Internacional EDUTEC 2005. Formación del Profesorado y Nuevas Tecnologías*, 1-11. <https://roderic.uv.es/handle/10550/46766>
- Sánchez, V. y García, M. (2002). Formadores de profesores de matemáticas. Una aproximación teórica a su conocimiento profesional. *Revista de Educación*, 333, 481-493. <https://redined.mecd.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/67332/008200430351.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-23. <https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411>
- Wu, Y. y Cai, J. (2022). Does school teaching experience matter in teaching prospective secondary mathematics teachers? Perspectives of university-based mathematics teacher educators. *ZDM - Mathematics Education*, 54(3), 665-678. <https://doi.org/10.1007/s11858-022-01344-8>
- Zopf, D. A. (2010). *Mathematical knowledge for teaching teachers: The mathematical work of and knowledge entailed by teacher education*. [Tesis doctoral University of Michigan]. https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/77702/dzopf_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

An Insight Into the Mathematics Teachers Educator's Knowledge: A Case Study

Andrés Pérez-Montilla, José María Cardenoso Domingo

Departamento de Didáctica (Área de Didáctica de la Matemática), Facultad de Ciencias de la Educación,
Universidad de Cádiz, Puerto Real, Cádiz, España
andres.perezmontilla@uca.es, josemaria.cardenoso@uca.es

Miguel Ángel Montes Navarro

Departamento de Didácticas Integradas (Área de Didáctica de la Matemática), Facultad de Educación, Psicología y
Ciencias del Deporte, Universidad de Huelva, Huelva, España
miguel.montes@ddcc.uhu.es

This article is part of a research project on the work of mathematics teacher educators (MTEs). In recent years, several studies have focused on the knowledge of MTEs, as well as their practices and beliefs, when supporting the prospective or in-service teachers' improvement in the teaching and learning of mathematics, thus emphasizing their crucial role in teacher education. Specifically, this study aims to explore the knowledge that a mathematics teacher educator draws upon while leading a collective discussion in a pre-service teacher education program for prospective secondary school mathematics teachers.

To achieve this objective, we begin by analysing the concept of practice from a sociocultural perspective. We conclude that *teaching how to teach mathematics* constitutes an idiosyncratic practice of MTEs, as they engage in a variety of actions to accomplish specific goals, utilizing diverse tools in the process. Among these tools is professional knowledge, which functions as a conceptual instrument to guide their decision-making process. Although the nature and organization of this knowledge constitute the subjects of ongoing research, we adopt the perspective used by Escudero-Ávila et al. (2021), who categorize this knowledge into two subdomains: the MTEs' content knowledge (MTECK) and their pedagogical content knowledge (MTEPCK). In the context of our study, we examine the decision-making of an MTE when managing a collective discussion with Ferreira et al.'s approach as a reference (2023).

A qualitative-interpretive analysis was conducted through a single case study, in which the informant had a dual profile: in addition to being a mathematics teacher educator, he is also an active secondary school mathematics teacher. The research took place in the classroom of the Learning and Teaching in the Mathematics Specialty course, with the primary data source being the audio and video transcriptions from six sessions of this program. For this study, a collective discussion episode from session 4 was selected, triggered by a professional task on the analysis of the curriculum. The method used was a top-down/bottom-up approach (Grbich, 2003).

The results allowed us to identify four emerging areas of knowledge: knowledge of teaching contexts, knowledge of activities which are specific in mathematics teaching, knowledge of the mathematics teachers' competencies, abilities, and skills, and knowledge about the emotional and affective aspects in the professional development of mathematics teachers.

In conclusion, this study highlights the integrated and interconnected nature of mathematics teacher educators' professional knowledge. The findings suggest that educators share knowledge with mathematics teachers, albeit with different goals in mind, while also possessing knowledge specific to their own profession. The results provided promising insights into the effective management of collective discussions in teacher education and open new avenues for research that shed light on the mathematics teacher educators' professional practice.



Integración de la tecnología en diseños de una actividad de aprendizaje: estudio de casos

Technology Integration in the Design of a Learning Activity: A Case Study

Andrea López Rodríguez

Facultad de Educación. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
lalopez4@uc.cl

Alejandra Meneses Arévalo

Facultad de Educación. Pontificia Universidad Católica de Chile. Villarrica, Araucanía Región, 7820436, Chile.
amenesea@uc.cl

RESUMEN • El estudio tiene por objetivo examinar los diseños de actividades mediadas por la tecnología creados por profesores de ciencias de secundaria a partir de la tecnología seleccionada, los conocimientos que orquestan y las contradicciones que emergen de la integración de la tecnología. Los diseños se analizaron en el marco del conocimiento tecnológico pedagógico y de contenido (TPACK) y de la teoría de la actividad (TA). Los hallazgos informaron que los profesores incluyen tecnología específica en el contenido, pero las metas de aprendizaje que formulan son de baja demanda cognitiva. Las principales contradicciones estuvieron asociadas a los conocimientos de los profesores, características de los estudiantes, acceso a la tecnología, reglas institucionales, etc. Finalmente, se discuten y se hacen recomendaciones para preparar a los profesores para la integración efectiva de la tecnología.

PALABRAS CLAVE: TPACK; Teoría de la actividad; Diseño de actividades; Tecnología; Contradicciones.

ABSTRACT • The study aims to examine the design of technology-mediated activities created by secondary science teachers drawing on the selected technology, the knowledge they orchestrate, and the contradictions that emerge from technology integration. Using the framework of Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) and Activity Theory (AT), the designs were analyzed. The findings revealed that teachers integrate technology which is specific to the content, but the learning goals that they formulate involve a low cognitive demand. The main contradictions were associated with teachers' knowledge, student characteristics, access to technology, institutional rules, and more. Finally, recommendations are discussed in order to prepare teachers for effective technology integration.

KEYWORDS: TPACK; Activity Theory; Activity Design; Technology; Contradictions.

Recepción: abril 2023 • Aceptación: octubre 2024 • Publicación: marzo 2025

López Rodríguez, A. y Meneses Arévalo, A. (2025). Integración de la tecnología en diseños de una actividad de aprendizaje: estudio de casos. *Enseñanza de las Ciencias*, 43(1), 41-63.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5931>

INTRODUCCIÓN

Las reformas internacionales de enseñanza de las ciencias, como en Estados Unidos y Chile, promueven el uso de tecnología para facilitar el aprendizaje, andamiando la comprensión de procesos científicos (National Academies of Sciences, Engineering, 2019). En EE.UU., se propone que la tecnología permita a los estudiantes adquirir prácticas científicas y comprender conceptos científicos a lo largo de su vida escolar (National Research Council [NRC], 2012). En Chile, el currículo de ciencias para educación primaria y secundaria destaca la tecnología como fundamental para la alfabetización científica (Ministerio de Educación de Chile, 2012, 2015, 2019). Para lograrlo, se espera que los profesores de ciencias posean sólidos conocimientos del contenido, pedagógicos y tecnológicos específicos para la enseñanza (Mishra y Koehler, 2006).

El marco de conocimiento tecnológico pedagógico y contenido (TPACK, por sus siglas en inglés) es una de las propuestas más destacadas para describir el conocimiento profesional necesario para una integración efectiva de la tecnología educativa en el aula (Koehler et al., 2014). La mayoría de los estudios empíricos sobre este tipo de conocimiento se han basado en medidas de autoinforme (Schmid et al., 2021). Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que el TPACK declarado por los profesores puede no reflejar adecuadamente las decisiones tomadas para integrar la tecnología en sus aulas ni los modos concretos en que la incorporan en actividades (Schmid et al., 2021). Por ello, se ha comenzado a investigar el TPACK a través del análisis de diseños de clases y observaciones en el aula (Schmid et al., 2021).

La Teoría de la Actividad (TA) enfatiza que las actividades están dirigidas a objetivos, pero que lograrlos depende del sistema más amplio en el que se llevan a cabo (Zwickl et al., 2023). Se reconoce que una actividad aislada puede no presentar problemas, pero pueden surgir contradicciones al integrarse con otros elementos del sistema de actividades. Laferrière et al. (2013) argumentan que superar las barreras mediante el principio de contradicción de TA conduce a una integración tecnológica adecuada. Por lo tanto, es crucial identificar las contradicciones que pueden emerger al integrar tecnología en las actividades de clase diseñadas por los profesores, considerando su contexto de enseñanza.

En la enseñanza de las ciencias, se necesitan estudios que analicen la integración de la tecnología en actividades de enseñanza para alcanzar objetivos de aprendizaje que promuevan tanto el conocimiento como las prácticas científicas (NRC, 2012). Además, a partir del diseño de actividades en el contexto de la pandemia y la enseñanza en línea, será importante determinar los conocimientos de TPACK que orquestan los profesores para comprender situadamente las decisiones que toman en la enseñanza de ciencias. El propósito de este estudio es examinar en profundidad los diseños de actividades mediadas por la tecnología creados por profesores de ciencias –Biología, Química y Física– de enseñanza media en Chile, analizando los recursos tecnológicos escogidos, los conocimientos que orquestan y las contradicciones que emergen de la integración tecnológica para el aprendizaje de las ciencias. Dado que la pandemia aceleró el uso de la tecnología, este estudio aportará información relevante para comprender cómo integrar la tecnología para el aprendizaje de las ciencias en la pospandemia.

Tres preguntas de investigación guían este estudio:

- P1: ¿Cómo integran profesores de secundaria de Física, Química y Biología la tecnología digital en el diseño de una actividad de ciencias?
- P2: ¿Qué conocimientos disciplinares, pedagógicos y tecnológicos orquestan y declaran los profesores de ciencias para integrar la tecnología digital en el diseño de una actividad de ciencias?
- P3: ¿Qué contradicciones dentro del diseño de actividad podrían afectar el aprendizaje de ciencias mediado por la tecnología?

MARCO TEÓRICO

Orquestar conocimientos para integrar la tecnología en actividades de aprendizaje de ciencias

En este estudio se examinan las decisiones de integración tecnológica que hacen los profesores en sus diseños de actividades de aprendizaje de ciencias. Se argumenta que, mediante el análisis de estas actividades, se puede acceder a la cognición de los docentes a partir de las decisiones pedagógicas tomadas (Harris et al., 2015; Willermark, 2018). El modelo más utilizado en la investigación en educación tecnológica es el modelo de conocimiento tecnológico, pedagógico y de contenido (TPACK, por sus siglas en inglés).

TPACK, propuesto por Mishra y Koehler (2006) basándose en modelo de conocimiento pedagógico del contenido (PCK, por sus siglas en inglés) de Shulman (1986), incorporando el conocimiento tecnológico (TK, por sus siglas en inglés) para enseñar eficazmente en la era digital. Por lo tanto, TPACK consta de tres conocimientos base: 1) *conocimiento tecnológico* (TK) sobre tecnologías en un contexto general; 2) *conocimiento pedagógico* (PK, por sus siglas en inglés) sobre métodos de enseñanza y aprendizaje; y 3) *conocimiento de contenido* (CK, por sus siglas en inglés) sobre conceptos y prácticas específicas de una disciplina. La interacción de estos tres conocimientos genera cuatro adicionales: 4) *conocimiento pedagógico de contenido* (PCK, por sus siglas en inglés) que se refiere al conocimiento de la pedagogía que es aplicable a la enseñanza del contenido específico; 5) *conocimiento tecnológico de contenido* (TCK, por sus siglas en inglés) que se refiere al conocimiento de cómo el contenido puede transformarse mediante la aplicación de la tecnología; 6) *conocimiento tecnológico pedagógico* (TPK, por sus siglas en inglés) que se refiere al conocimiento del uso de la tecnología para apoyar los enfoques de enseñanza y aprendizaje; y 7) *conocimiento tecnológico, pedagógico y de contenido* (TPACK) que se refiere al conocimiento necesario para enseñar contenido con tecnología.

TPACK es altamente contextualizado a temas específicos de clases y actividades pedagógicas (Cox y Graham, 2009). Por lo tanto, el conocimiento requerido por un profesor de ciencias es diferente al de un profesor de inglés, ciencias sociales u otra área disciplinar. La educación científica se destaca como un campo privilegiado para la integración de la tecnología, ofreciendo una amplia gama de entornos y aplicaciones educativas con diversas posibilidades para estudiantes y profesores. Por ejemplo, estudios previos han señalado que las tecnologías promueven el cambio conceptual (Ariza y Armenteros, 2014) y la investigación científica (Stinken-Rösner et al., 2023). Estas tecnologías incluyen sensores y dispositivos de medición como alternativas a los equipos de laboratorio tradicionales; simulaciones interactivas y experimentos remotos permiten a los estudiantes explorar configuraciones que no se pueden realizar en el aula; el software de análisis y presentación de datos minimiza las barreras al abordar las mediciones; y las aplicaciones de realidad virtual y aumentada permiten modelar y visualizar interrelaciones entre cantidades (Stinken-Rösner et al., 2023).

Sin embargo, la integración de tecnología en la enseñanza de las ciencias no significa simplemente agregar tecnología a los enfoques existentes; requiere que los profesores desarrollen e interconecten conocimiento sobre tecnología, ciencia y pedagogía (Jimoyiannis, 2010). McCrory (2008) destaca dos tipos de uso de la tecnología en el aula de ciencias: pedagógica y científica, y clasifica las tecnologías usadas en el aula de ciencias en tres categorías: 1) tecnología no relacionada con la ciencia pero útil en su servicio (p. ej., hojas de cálculo); 2) tecnología diseñada específicamente para la enseñanza y aprendizaje de ciencias (p. ej., animaciones); y 3) tecnología diseñada para hacer ciencias (p. ej., sensores). Este estudio analiza los diseños de actividades de clases usando tanto el modelo de TPACK como la clasificación de McCrory (2008) para comprender los propósitos de la integración tecnológica en Biología, Química y Física.

Teoría de la Actividad y las contradicciones en los diseños de actividades

Existen tres generaciones de la Teoría de la Actividad (TA). La primera generación fue propuesta por Vygotsky (1978), quien postulaba que los sujetos usaban herramientas, artefactos o lenguaje culturalmente específicos para controlar e influir en sus objetivos. La segunda generación de TA se desarrolló basándose en el trabajo de Leont'ev (1978), quien especificó que las actividades se componían de tres nodos o elementos: *sujetos*, *objetos* y *herramientas*, entendidos estos como puntos de conexión y mediación dentro de un sistema de actividad. El *sujeto* actúa con el fin de alcanzar ciertas metas, y sus acciones están dirigidas hacia el *objeto* (objetivo) de la actividad (Gregorcic et al., 2018). El *objeto* no es necesariamente una entidad física (Jonassen y Rohrer-Murphy, 1999). Por ejemplo, en un salón de clases, el objeto podría ser el desarrollo de habilidades para comprender un curso en particular (Zwickl et al., 2023). El *sujeto* hace uso de *herramientas* para actuar sobre el *objeto*, las cuales pueden ser materiales o conceptuales (Årlebäck, 2020). Engeström (1987) extiende este modelo añadiendo un elemento más denominado *comunidad* y dos elementos mediadores: *reglas* y *división del trabajo*. Finalmente, la tercera generación propuesta por Yrjö Engeström (1999) considera diálogos, perspectivas múltiples y redes de sistemas de actividad interactuantes que están unidos por un objeto compartido.

Cuando se introduce una nueva tecnología para alcanzar nuevos objetivos, los primeros usuarios de la tecnología a menudo desafían el curso de la actividad normal de su comunidad; por lo tanto, surgen *oportunidades* y *contradicciones* (Laferrière et al., 2013). Las oportunidades son edificantes, mientras que las contradicciones ralentizan el proceso de implementación (Engeström, 1987). En consecuencia, es de suma importancia identificar las contradicciones que surgen como barreras para la integración de la tecnología en las actividades de aprendizaje realizadas por los profesores. Existen cuatro tipos de contradicciones estipuladas por Engeström (1987): las *contradicciones primarias* son aquellas dentro de los nodos de la actividad; las *contradicciones secundarias* son aquellas entre los nodos constituyentes de la actividad; las *contradicciones terciarias* surgen entre la forma actual y emergente de una actividad; finalmente, las *contradicciones cuaternarias* surgen entre las actividades centrales y limítrofes (Gregorcic et al., 2018).

Los teóricos de la actividad sostienen que, al examinar cualquier comportamiento humano, también debemos considerar el contexto social, cultural e histórico en el que se sitúan las acciones (Land y Rubin, 2020). En este sentido, este estudio consideró la segunda generación de TA como marco conceptual para analizar los diseños de actividades mediados por la tecnología y las entrevistas semiestructuradas posdiseño de los participantes. La segunda generación considera un solo sistema de seis componentes: *sujeto*, *herramientas*, *objeto*, *reglas*, *comunidad* y *división del trabajo*. En este estudio, el *sujeto* es el profesor que diseña una clase mediada por la tecnología para promover aprendizajes en ciencias. Los aprendizajes por alcanzar son declarados por cada profesor en la meta de aprendizaje (*objeto*). Las *herramientas* son las tecnologías digitales seleccionadas por los profesores. La *comunidad* es el grupo de estudiantes a los que está dirigida la actividad de ciencias. Las *reglas* son las establecidas para el funcionamiento del aula o la escuela. La *división de trabajo* se refiere a los roles y relaciones dentro de la *comunidad* para llevar a cabo la actividad. Finalmente, en este estudio nos interesa estudiar las contradicciones secundarias, es decir, las que se dan entre los componentes del sistema de actividad (por ejemplo, contradicciones entre el *sujeto* y la *herramienta*). Este análisis nos permitirá identificar desalineaciones que puede darse entre los elementos del diseño de la actividad y el contexto, las cuales podrían afectar la integración efectiva de la tecnología. La figura 1 muestra los componentes del sistema de actividad considerados en este estudio.

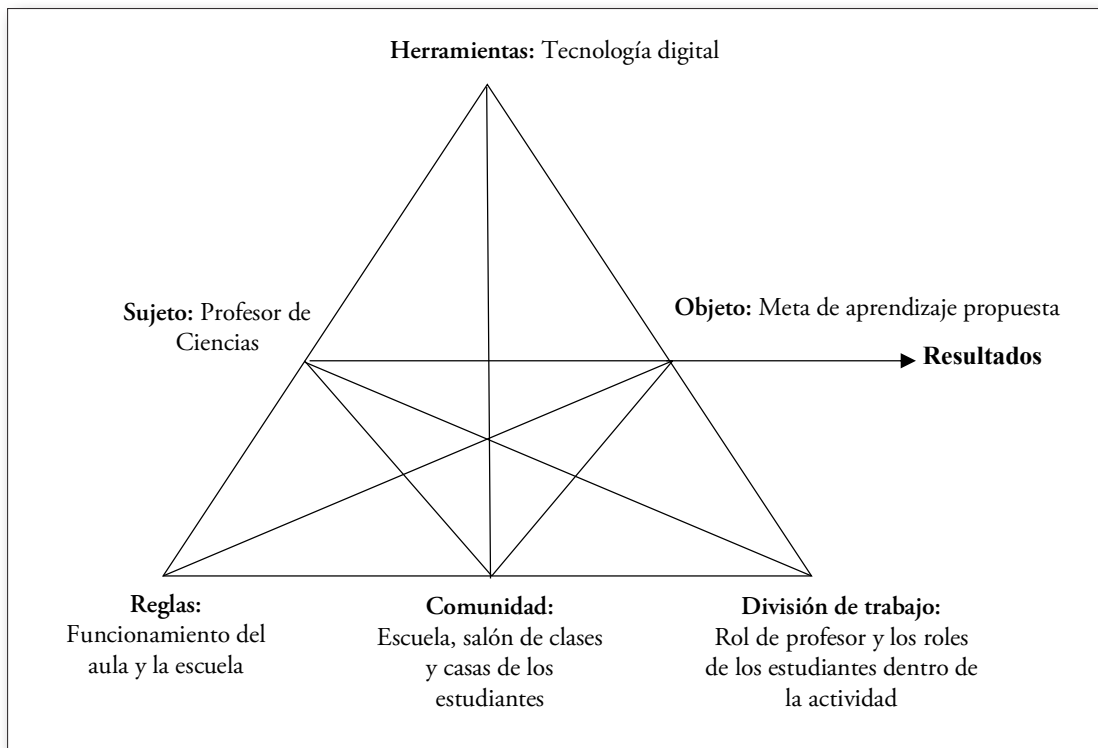


Fig. 1. Componentes del sistema de actividad considerados en este estudio. Modelo adaptado de Engeström (2014).

MÉTODOS

Diseño y participantes

Para esta investigación cualitativa se utilizó un diseño de estudio de casos múltiples (Yin, 2018). Según Cresswell (2007), en un estudio de casos múltiples se selecciona un tema o fenómeno y luego se eligen diferentes casos para investigar este tema. En este estudio, el tema fue la integración de tecnología en actividades de aprendizaje diseñadas por profesores de ciencias en servicio, investigado mediante tres casos: un profesor de Química, uno de Biología y uno de Física (seudónimos: Paula, Camilo y Felipe, respectivamente).

La selección de los casos se basó en tres razones: (1) las diferencias en las áreas disciplinares para identificar variaciones en la integración tecnológica según la disciplina; (2) la experiencia práctica, ya que la evidencia sugiere que esta se relaciona con los conocimientos disciplinares, pedagógicos y tecnológicos de los profesores (Roussinos y Jimoyiannis, 2019); y (3) la experiencia con la tecnología para comprender cómo esta afecta los diseños de actividades que integran recursos digitales. La tabla 1 ofrece una descripción de los casos de estudio.

Tabla 1
Descripción de los casos de estudio

<i>Casos</i>	<i>Disciplina</i>	<i>Experiencia docente</i>	<i>Formación en tecnología educativa</i>	<i>Actualización en tecnología educativa</i>
Profesora Paula	Química	4 años	Cursos generales sobre tecnología	Autodidacta (por ejemplo, Instagram y búsqueda en Internet)
Profesor Camilo	Biología	3 años	Cursos generales sobre tecnología y curso sobre uso de la tecnología en educación	Seminarios, Autodidacta (por ejemplo, búsqueda en Internet)
Profesor Felipe	Física	31 años	Ninguna	Cursos informales sobre Arduino, diplomado, autodidacta (por ejemplo, búsqueda en Internet) Ayuda de familiares expertos

Recolección de datos

Para este estudio se utilizaron dos estrategias de recolección de datos: diseño de una actividad de aprendizaje con tecnologías y una entrevista semiestructurada enfocada en la reflexión posdiseño de los participantes. Antes de la recolección de datos, los participantes fueron contactados por correo electrónico y firmaron un consentimiento aprobado por el comité de ética de la universidad.

Diseño de una actividad de aprendizaje de ciencias mediada por la tecnología

Se solicitó a cada participante diseñar una actividad de aprendizaje de ciencias mediada por tecnología usando un formato establecido por los investigadores. La duración de la actividad fue a criterio de los participantes. Los criterios fueron: se asignó por áreas –Biología, Química y Física– un contenido transversal basado en el marco para la educación científica K-12 (NRC, 2012) y un objetivo de aprendizaje del currículo de Ciencias Naturales de Chile asociado a dicho contenido. Se delimitó el curso (primero medio, estudiantes de 15-16 años), concepto transversal (energía y materia) y un objetivo de aprendizaje para cada área. Esto redujo la variabilidad de los diseños, permitiendo comparaciones entre grupos y determinando las diferencias.

El formato de diseño tenía tres partes para identificar los siguientes aspectos:

- Sección 1: Identificar tipos de tecnologías que integran los profesores de ciencias.
- Sección 2: Determinar los tipos de actividades de ciencias mediadas por tecnología que diseñan los profesores.
- Sección 3: Evidenciar conocimientos pedagógicos, tecnológicos, de contenido y TPACK en la elección de tecnología.

El formato se presentó en un formulario de Google compartido por correo electrónico. Se informó a los participantes que el tiempo estimado para realizar el diseño era de 30 minutos, con un límite de una semana para completar y enviar el formulario al investigador encargado.

Entrevista semiestructurada

Las entrevistas se realizaron entre 3 a 10 días después de entregado el diseño de la actividad de aprendizaje de ciencias mediada por la tecnología. La entrevista tenía como objetivo aclarar y profundizar aspectos del sistema de actividad de los profesores. Así como identificar las contradicciones dentro y entre los sistemas de actividades que afectan la integración efectiva de las tecnologías.

- Tema 1: Decisiones sobre el diseño de la actividad de ciencias mediada por tecnología.
- Tema 2: Condiciones institucionales para la enseñanza de las ciencias mediada por tecnología.
- Tema 3: Formación docente para la enseñanza de las ciencias mediada por tecnología.

Las entrevistas se realizaron virtualmente, con una duración promedio de 45 minutos, siguiendo todos los resguardos éticos pertinentes.

Análisis de los datos

Para responder a las preguntas de investigación, se realizó un análisis deductivo e inductivo (Azungah, 2018) en las siguientes fases:

- Fase 1: Se analizaron las metas de aprendizaje según los procesos cognitivos de Anderson y Krathwohl (2001): *recordar, comprender, aplicar, analizar, evaluar y crear*.
- Fase 2: Se identificaron las tecnologías digitales integradas en los diseños y se codificaron según las tres categorías de McCrory (2008) descritas en la subsección 2.1 del Marco teórico. Se añadió una cuarta categoría, tecnologías generales (p. ej., PowerPoint), no consideradas por McCrory, emergente debido a su presencia en los diseños analizados. Esta categoría incluye tecnologías usadas para propósitos pedagógicos generales, como el uso de *PowerPoint* para la presentación de contenidos.
- Fase 3: Se utilizó un enfoque de codificación inductivo y deductivo para identificar los conocimientos disciplinares, pedagógicos y tecnológicos empleados por los profesores en los diseños y entrevistas (Miles y Huberman, 1994). La codificación inductiva generó esquemas a partir de datos, mientras que la codificación deductiva usó esquemas derivados del marco TPACK (Graham et al., 2009, 2012). La tabla 2 especifica los tipos de conocimientos y ejemplos.

Tabla 2.

Códigos de conocimientos identificados en el diseño de actividad y en la entrevista posdiseño

<i>Conocimientos TPACK</i>	<i>Código asociado a los conocimientos TPACK</i>	<i>Ejemplo</i>
CK	Conocimiento del contenido que se debe aprender y enseñar.	Reconocer la fotosíntesis como un proceso de construcción de materia orgánica a partir del aprovechamiento de la energía solar y su combinación con el dióxido de carbono del aire con el agua [diseño]
PK	Conocimiento sobre las características de los estudiantes.	... lo bueno de la tecnología que le da al estudiante sentirse en un espacio que es cercano a él; porque hay que decirlo, la tecnología es cercana a los chicos y las chicas de hoy en día, se sienten cómodos. [entrevista]
TCK	Conocimiento sobre tecnologías que demuestren un principio o contenido científico.	Usando el simulador, subir la frecuencia (manteniendo la amplitud fija), al nivel siguiente y hacer la toma de tiempo nuevamente para 10 gotas y así sucesivamente hasta el valor máximo de frecuencia. [diseño]
TPK	Conocimiento de tecnologías para seguir y evaluar el progreso de los estudiantes.	Ellos (los estudiantes) después en base a sus datos pueden hacer una planilla Excel, pero de Google, y me comparten el archivo de Google Drive. [entrevista]
	Conocimiento de tecnologías para mejorar la productividad docente.	recurrí a la guía, la pude descargar, recurrí a la guía que tenía, la repasé, la miré y efectivamente creo que es un buen recurso y una buena herramienta para aplicar en el aula. [entrevista]

<i>Conocimientos TPACK</i>	<i>Código asociado a los conocimientos TPACK</i>	<i>Ejemplo</i>
PCK	<p>Conocimiento de modelos para representar contenido abstracto.</p> <p>Conocimiento de las concepciones alternativas de los estudiantes sobre la temática.</p>	<p>Tenemos las herramientas del péndulo (maqueta física) que es muy fácil de construirse... se puede hablar de cuántas oscilaciones hace en un segundo y se puede llegar muy fácilmente con la experiencia del péndulo al concepto que se está pidiendo (frecuencia). [Entrevista]</p> <p>... lo que te habla al principio, como romper las preconcepciones, creo que los estudiantes generalmente van a decir que se pierde masa porque sale el gas, que la masa no es constante, etc., y creo que es súper bueno porque el recurso los pone al tiro en choque con sus hipótesis [entrevista]</p>
TPACK	<p>Conocimiento de tecnologías específicas para las ciencias y las formas en las que pueden usarse para apoyar el desarrollo de las prácticas científicas y/o estrategias de instrucción.</p> <p>Conocimiento de tecnologías para mejorar la representación de fenómenos o conceptos científicos.</p> <p>Conocimiento sobre tecnologías para descubrir ideas alternativas de los estudiantes relacionadas a un tema de ciencias.</p>	<p>En parejas ingresan al simulador, predicen que va a pasar antes de usarlo y luego de utilizar el simulador deben poner a prueba su hipótesis [diseño]</p> <p>... (los estudiantes) se recuerdan todavía de eso (ley de conservación de la masa), más que de lo que escribieron en un cuaderno, se recuerdan el aspecto visual que te da la virtualidad [entrevista]</p> <p>Hay una página que me encanta y es de ideas previas de la UNAM. Entonces, uno ingresa y pone, no sé, Biología, por ejemplo y pone fotosíntesis, y te aparecen todas las ideas previas que hay. Entonces, leo que es lo que está allí, y con eso digo: 'bueno, entonces si yo hago esto los estudiantes podrían responder esto', y entonces yo que podría responder ante eso que están diciendo los estudiantes. [entrevista]</p>

- Fase 4: Para identificar las contradicciones en el diseño de la actividad de ciencias y en las entrevistas posdiseño, se adoptó el marco de la Teoría de la Actividad. Primero, se codificaron los datos en los seis elementos definidos por la teoría. Por ejemplo, cuando un docente mencionaba el uso de tecnologías por los estudiantes, se generaba el indicador «rol del estudiante en la actividad», que se clasificaba en la categoría «división del trabajo» (figura 1). Segundo, se examinó cómo interactuaban los diferentes elementos de la actividad, buscando discrepancias, conflictos o tensiones entre ellos. Por ejemplo, cómo las actividades de aprendizaje pueden no alinearse con los objetivos, o cómo las herramientas pueden no ser adecuadas para lograrlos. Estas tensiones se identificaron como contradicciones. Finalmente, se analizó el origen de cada contradicción, como conocimiento limitado de tecnologías específicas de contenido (TCK) o sobre la construcción de metas de aprendizaje (TPK). Las contradicciones se detallan en la siguiente sección. Los diseños de actividades y las entrevistas se codificaron usando Atlas-ti versión 8.

RESULTADOS

En esta sección se presentan los tres casos organizados en torno a las tres preguntas que guiaron la investigación sobre (1) la integración de la tecnología en el diseño de una actividad de ciencias, (2) los conocimientos específicos que orquestan: para integrar la tecnología digital en el diseño de una

actividad y (3) las contradicciones dentro del diseño de actividad que podrían afectar el aprendizaje de ciencias mediado por la tecnología.

Caso 1: Paula, profesora de Química

Integración de un simulador para el aprendizaje de las Ciencias

Paula, profesora de Química con 4 años de experiencia en nivel secundario, recibió formación ocasional en tecnología educativa durante la universidad, pero no en el uso específico de tecnologías para la enseñanza de las ciencias. Sin embargo, mostró interés en aprender de forma autodidacta, especialmente a través de redes sociales como Instagram. La figura 2 muestra una representación del diseño de actividad realizado por Paula.

Como se aprecia en la figura 2, la meta de aprendizaje era «*Evidenciar la ley de la conservación de la masa en un sistema cerrado*». Según la taxonomía de Anderson y Krathwohl (2001), esta meta se clasificó como de complejidad media, ya que el proceso de evidenciar se relaciona con el ámbito de *aplicar*. La profesora seleccionó una **simulación interactiva** sobre la ley de conservación de la masa. La **simulación** presenta dos experimentos con parámetros fijos. Según McCrory (2008), este recurso se clasifica como tecnología diseñada para *la enseñanza-aprendizaje de las ciencias*, pues aborda las concepciones alternativas de los estudiantes sobre la pérdida de masa en forma de vapor.

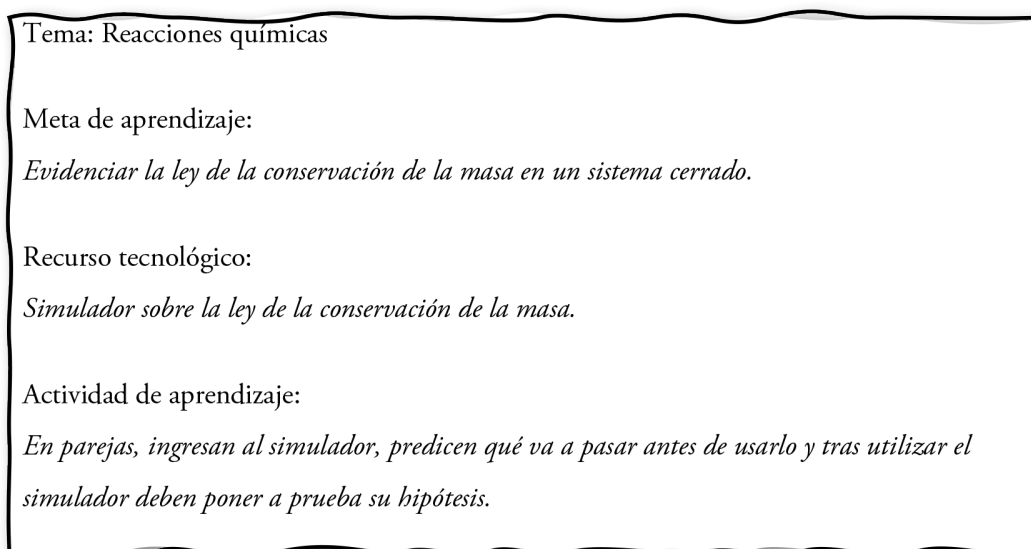


Fig. 2. Diseño de actividad realizado por la profesora de Química.

Conocimientos disciplinares, pedagógicos y tecnológicos orquestados por la profesora de Química para integrar el simulador para el aprendizaje de la ley de conservación de la masa

El análisis del diseño y la entrevista proporcionó información sobre los conocimientos usados por la profesora Paula al integrar tecnología en su actividad.

CK

El conocimiento de contenido se manifestó en la meta de aprendizaje.

PK

El conocimiento pedagógico se reflejó en su comprensión de las características de los estudiantes al seleccionar la tecnología:

La tecnología es cercana a los chicos y chicas de hoy, se sienten cómodos.

PCK

El conocimiento pedagógico de contenido se evidenció en su comprensión de las concepciones alternativas de los estudiantes:

Los estudiantes generalmente creen que se pierde masa porque sale el gas, que la masa no es constante, y el recurso los enfrenta a sus hipótesis.

TCK

El conocimiento tecnológico de contenido se mostró en su elección de un simulador para observar la ley de la conservación de la masa.

TPACK

Los datos revelan que la profesora Paula usó su conocimiento pedagógico, tecnológico y de contenido de dos maneras: Primero, al elegir e integrar tecnología para apoyar metodologías de enseñanza (aprendizaje activo) y el desarrollo de prácticas científicas como formular y comprobar hipótesis. Segundo, en su conocimiento de cómo la tecnología mejora la representación de conceptos, facilitando que los estudiantes construyan modelos mentales:

El aprendizaje (ley de conservación de la masa) que queda en ellos (estudiantes) es impresionante. Recuerdan más el aspecto visual que ofrece la virtualidad que lo escrito en un cuaderno.

Contradicción entre el sujeto y objeto, entre la comunidad y la división de trabajo y entre las reglas y la comunidad

En la figura 3 se presenta el sistema de actividad de la profesora Paula, donde se identificaron varias contradicciones. En el diseño de la actividad, se observó una contradicción secundaria entre el *sujeto* (profesora Paula) y el *objeto* (meta de aprendizaje: «Evidenciar la ley de la conservación de la masa en un sistema cerrado»). Aunque la meta es concisa, carece de claridad al no proporcionar suficiente información para que los estudiantes entiendan claramente lo que se espera de ellos y las actividades que deben realizar. Esto indica la necesidad de un conocimiento especializado sobre la construcción de metas de aprendizaje específicas (PCK). Formular metas claras es esencial para que los estudiantes comprendan los objetivos y para seleccionar las actividades y recursos adecuados.

Adicionalmente, el análisis de las declaraciones de la profesora Paula durante la entrevista reveló una contradicción entre la comunidad y la división del trabajo:

Tuve que hacer un cambio en mis clases, pero que a la vez no fuera perjudicial; porque a veces es peor, porque no les carga (Internet), porque se sienten más excluidos. ¿No tengo teléfono?, ¿cómo lo hago? Eso es lo malo de la tecnología.

Esta contradicción surge debido a la falta de recursos tecnológicos y acceso limitado a Internet de algunos estudiantes durante la pandemia, lo cual afecta el desarrollo de las actividades y el logro de la meta de aprendizaje propuesta.

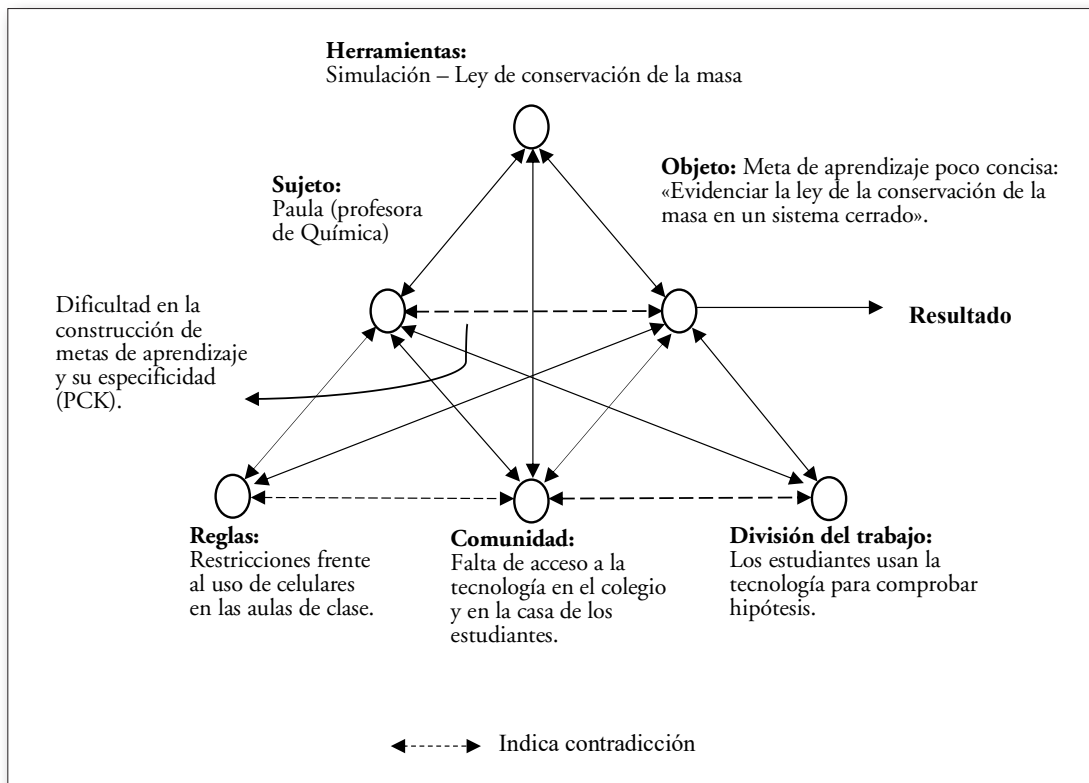


Fig. 3. Sistema de actividad profesora Paula de Química: Contracción secundaria entre el sujeto y objeto, la comunidad y la división de trabajo, y las reglas y la comunidad.

Otra contradicción se evidenció entre las *reglas* y la *comunidad*, ya que la profesora mencionó: «*Tenemos tabletas en el colegio, pero son de baja calidad, y no se permite el uso de teléfonos en clase*». Esta limitación de recursos tecnológicos en la institución, junto con las reglas que prohíben el uso de teléfonos celulares por parte de los estudiantes en el aula, dificulta la implementación de actividades mediadas por la tecnología.

Caso 2: Camilo, profesor de Biología

Integración de un video para la enseñanza de las ciencias

Camilo, profesor de Biología con 3 años de experiencia en secundaria, tomó un curso sobre «tecnología en la enseñanza de las ciencias» durante su pregrado, donde aprendió conceptos básicos que ahora están desactualizados. Para mantenerse actualizado, participa en seminarios, valorando estos espacios para conocer experiencias de expertos y descubrir nuevas herramientas aplicables a su enseñanza. La figura 4 muestra una representación del diseño de actividad realizado por el profesor.

Tema: Materia y energía en ecosistemas

Meta de aprendizaje:
Reconocer la fotosíntesis como un proceso de construcción de materia orgánica a partir del aprovechamiento de la energía solar y su combinación con el dióxido de carbono del aire con el agua.

Recurso tecnológico:
Serie de animaciones desarrolladas por HHMI BioInteractive.

Otros recursos:

- Manzanas, plátanos, lechuga, espinaca.
- Recorrido por los jardines o áreas verdes del colegio, cuaderno u hojas de apuntes, lápiz y hoja de trabajo para el estudiante (se utilizará mientras ven el vídeo y la desarrollan en el momento).

Actividad de aprendizaje:
Esta actividad se divide en tres momentos:

1. Los estudiantes revisan el vídeo HHMI BioInteractive Fotosíntesis y realizan las actividades 1 y 2 de la hoja de trabajo.
2. Los estudiantes se reúnen en equipos de trabajo de 3 personas. Inicialmente, comparten ideas sobre el vídeo; luego, observan las frutas y hojas. Después, realizan el recorrido por las áreas verdes del colegio y, por último, escriben preguntas: la cantidad que deseen.
3. Los estudiantes regresan al salón de clase, escuchan una breve reflexión del profesor y discuten con sus compañeros sus preguntas; a su vez realizan una clasificación inicial sobre qué preguntas pueden ser susceptibles de investigar.

Fig. 4. Diseño de actividad realizado por el profesor de Biología.

La meta de aprendizaje propuesta por el profesor Camilo es: «Reconocer la fotosíntesis como un proceso de construcción de materia orgánica mediante el aprovechamiento de la energía solar y su combinación con el dióxido de carbono del aire y el agua». Según la taxonomía de Anderson y Krathwohl (2001), reconocer se considera de baja complejidad.

Para alcanzar esta meta, el profesor Camilo propone el uso de un video y una hoja de trabajo disponibles en el sitio web de BioInteractive. El video consiste en una serie de animaciones que explican el proceso de la fotosíntesis a nivel microscópico. Según la propuesta de McCrory (2008), este recurso tecnológico se clasifica como una tecnología diseñada para *la enseñanza-aprendizaje de las ciencias*, ya que ofrece representaciones visuales de fenómenos complejos que no son directamente observables.

Conocimientos disciplinares, pedagógicos y tecnológicos orquestados por el profesor de Biología para integrar el video para el aprendizaje de la fotosíntesis

El análisis del diseño y la entrevista proporcionó información sobre los conocimientos empleados por el profesor Camilo al integrar tecnología en su actividad.

CK

Su conocimiento de contenido se reflejó en la meta de aprendizaje.

PK

El conocimiento pedagógico se manifestó en la consideración de los estilos de aprendizaje de los estudiantes al seleccionar la tecnología:

En este contexto de pandemia, muchos estudiantes disfrutaban de observar videos o utilizar sus dispositivos móviles.

PCK

Su comprensión pedagógica de contenido se evidenció en su conocimiento de las concepciones alternativas de los estudiantes:

Es valioso cuando los estudiantes comienzan a cuestionar la idea previa de que respirar es absorber lo que está en el aire.

TPK

Su conocimiento pedagógico tecnológico se mostró en la utilización de tecnologías para mejorar su productividad docente:

Recurrí a una guía que encontré, la revisé y considero que es una herramienta valiosa para aplicar en el aula.

TCK

El conocimiento tecnológico de contenido se reflejó en su elección de un video con animaciones para ilustrar el proceso de fotosíntesis a nivel microscópico.

TPACK

Su conocimiento tecnológico, pedagógico y de contenido se evidenció en la utilización de tecnologías para identificar ideas previas de los estudiantes:

Utilizo una página de ideas previas de la UNAM para comprender las concepciones de los estudiantes y planificar respuestas adecuadas a sus planteamientos.

Contradicciones sujeto y herramientas

El recurso tecnológico elegido por el profesor Camilo son animaciones que representan los procesos microscópicos de la fotosíntesis, divididas en secciones con gran cantidad de información en períodos cortos. Esto genera una contradicción entre el *sujeto* y las *herramientas*, ya que no se tuvieron en cuenta las limitaciones de la tecnología, como el exceso de información en poco tiempo (ver figura 5). Una solución propuesta fue que los estudiantes pausaran el video para responder preguntas, pero esto limitaría el uso de la tecnología a reproducir y pausar el video para extraer información puntual y responder a las preguntas de la hoja de trabajo.

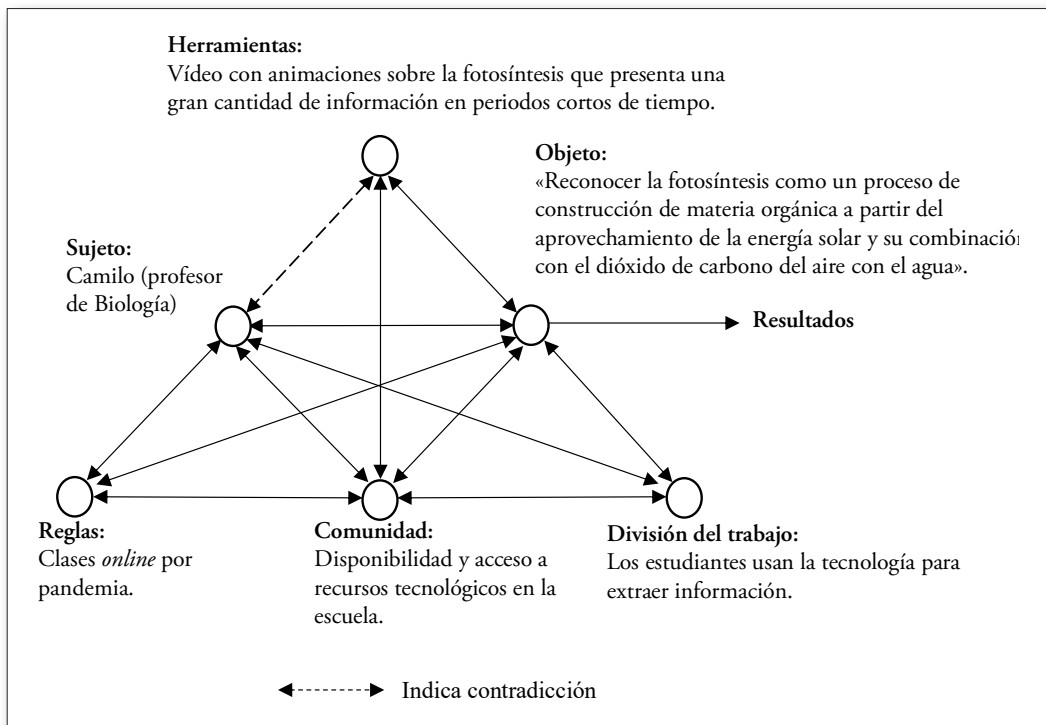


Fig. 5. Sistema de actividad caso 2: contradicción entre el sujeto y las herramientas.

Caso 3: Felipe, profesor de Física

Integración de la hoja de cálculo al servicio de las ciencias y un simulador interactivo para aprender sobre las ondas

Felipe, profesor de Física con 31 años de experiencia en secundaria, tuvo una formación tecnológica insuficiente durante su pregrado, centrado en Física y Matemáticas sin pedagogía. Su último año en educación fue deficiente. Ha aprendido en el terreno y realizó un diplomado de seis meses en enseñanza de las ciencias en universidades local y extranjera. Desde entonces, su desarrollo tecnológico ha sido autodidacta, apoyado por su hijo ingeniero y contactos en robótica. Asiste a talleres de Arduino y se auto instruye para mejorar sus habilidades tecnológicas en la enseñanza de las ciencias. La figura 6 muestra una representación del diseño de actividad realizado por el profesor

Tema: Ondas y sonido

Meta de aprendizaje:

Reconocer la frecuencia como el número de ciclos por unidad de tiempo.

Recurso tecnológico:

Simulador interactivo PhET: Ondas.

Actividad de aprendizaje:

Tomar datos cambiando la variable frecuencia. Luego, sobre la base de los datos obtenidos, poder concluir a qué hace referencia dicha variable.

Usando el simulador:

1. Ubicar la frecuencia (y amplitud) en el valor mínimo.
2. Utilizando el cronómetro de la simulación (o de sus celulares), contar cuánto tiempo cuesta que caigan un total de 10 gotas.
3. Luego, subir la frecuencia (manteniendo la amplitud fija) al nivel siguiente y hacer la toma de tiempo nuevamente para 10 gotas, y así sucesivamente hasta el valor máximo de frecuencia.
4. Hacer una tabla de valores, en una hoja Excel y determinar la media aritmética de esos datos (recurso aprendido por los estudiantes, en tecnología).
5. Posteriormente, responder a las siguientes preguntas:
 - a) ¿Qué sucede con el tiempo a medida que se aumenta la «frecuencia»?
 - b) Determina el número de gotas que caen en 120 segundos, en cada uno de los casos estudiados.
 - c) Divide el número de gotas calculados por 10. ¿Qué significado tiene ese resultado, en cada uno de los casos?
 - d) Construye una posible definición para el concepto de «frecuencia».

Fig. 6. Diseño de actividad realizado por el profesor de Física.

La meta de aprendizaje establecida por el profesor fue: «Reconocer la frecuencia como el número de ciclos por unidad de tiempo». Tras un análisis, se determinó que esta meta estaba dirigida a que los estudiantes alcanzaran el nivel *comprender*, según Anderson y Krathwohl (2001) este se considera como un nivel de baja demanda cognitiva. El profesor Felipe propone la integración de dos recursos tecnológicos: una **hoja de cálculo** y una **simulación interactiva**. La **hoja de cálculo** se clasificó como *tecnología al servicio de la ciencia* (McCrorry, 2008), mientras que la **simulación** se consideró como *tecnología para hacer ciencia* (McCrorry, 2008), ya que permite variar parámetros y proporciona instrumentos de medición incorporados, como un cronómetro y una cinta métrica.

Conocimientos disciplinares, pedagógicos y tecnológicos orquestados por el profesor de Física para integrar la simulación y la hoja de cálculo para el aprendizaje de las ondas.

El análisis del diseño y la entrevista proporcionaron información sobre los conocimientos utilizados por el profesor Felipe al integrar tecnología en su actividad.

CK

Su conocimiento de contenido se evidencia en la formulación de la meta de aprendizaje.

PK

El profesor Felipe empleó su conocimiento pedagógico al resaltar la importancia de considerar las características e intereses de los estudiantes al seleccionar la tecnología:

Las simulaciones son más amigables para los estudiantes, les permite interactuar y sentirse motivados.

TPK

Su conocimiento tecnológico pedagógico se mostró en el uso de tecnologías que permiten hacer seguimiento del proceso de aprendizaje de los estudiantes:

Los estudiantes pueden utilizar una planilla de Google para compartir y analizar los datos.

TCK

Su conocimiento tecnológico de contenido se reflejó en la elección de un simulador para comprender el concepto de frecuencia.

TPACK

El conocimiento tecnológico, pedagógico y de contenido se demostró en la elección y uso de una simulación interactiva para que los estudiantes recolectaran datos y luego utilizaran hojas de cálculo para el análisis e interpretación de estos.

Contradicciones entre el sujeto y las herramientas, la división de trabajo y el objeto, el sujeto y el objeto, y la comunidad y las herramientas

En la figura 7 se muestra el sistema de actividad del profesor Felipe, del cual se derivaron cuatro contradicciones secundarias que podrían afectar la integración efectiva de la tecnología. La primera contradicción se dio entre el *sujeto* y las *herramientas*. El profesor no logra destacar el valor del uso de las hojas de cálculo para comprender el concepto de frecuencia, ya que propone usarla para calcular la media aritmética, pero este cálculo no se relaciona con la actividad. La segunda contradicción surge entre la *división del trabajo* y el *objeto*. En el diseño (figura 6), se indica que *los estudiantes deben determinar el número de gotas que caen en 120 segundos en cada caso estudiado y luego dividir este número por 10*. Sin embargo, lo correcto sería que los estudiantes dividieran 120 segundos entre el número de gotas calculado para cada caso, lo que impediría una respuesta precisa y la deducción correcta del valor de la frecuencia en cada caso.

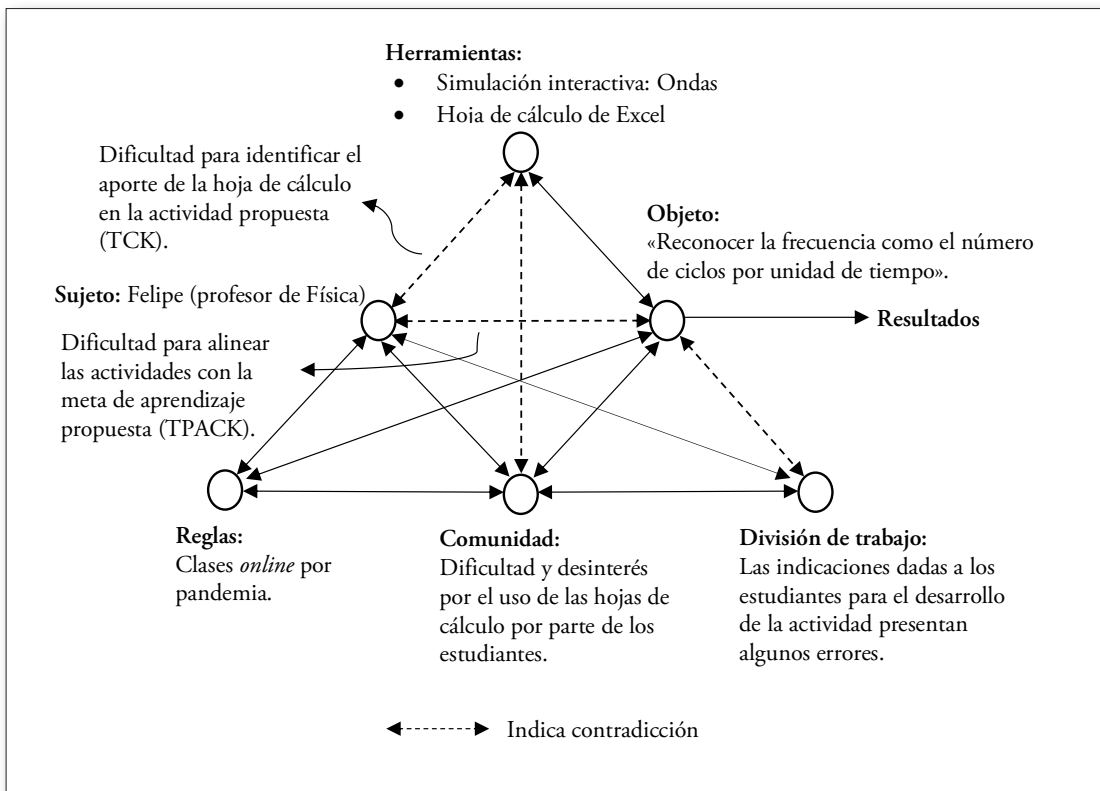


Fig. 7. Sistema de actividad caso 3: contradicción entre el sujeto y las herramientas, la división de trabajo y el objeto, el sujeto y el objeto, y la comunidad y las herramientas.

Una tercera contradicción surgió entre el *sujeto* y el *objeto*. Al analizar el diseño, se observó que al profesor Felipe le costaba alinear la meta de aprendizaje con las actividades propuestas. Mientras la meta estaba en un nivel bajo, según Anderson y Krathwohl (2001), las actividades permitían a los estudiantes realizar tareas cognitivas más complejas con ayuda tecnológica. El profesor reconoció esta dificultad durante la entrevista: «*lo más difícil para mí, si es el objetivo (meta de aprendizaje), lo reconozco. Si usted me pregunta no tengo inconveniente en decirlo, generar los objetivos*». La última contradicción se presentó entre la *comunidad* y las *herramientas*. Durante la entrevista, el profesor Felipe mencionó que los estudiantes mostraban poco interés y dificultad para usar hojas de cálculo, considerándolas poco atractivas y poco amigables. Este desinterés y dificultad podrían afectar su participación en la actividad.

DISCUSIÓN

Este estudio investigó cómo tres profesores de ciencias en servicio integraron la tecnología en sus diseños de actividades de aprendizaje, los conocimientos orquestados y las contradicciones emergentes de la integración de la tecnología. Los resultados mostraron que los profesores seleccionaron tecnologías propias del área de las ciencias, aunque con variaciones en su integración. La profesora Paula y el profesor Felipe adoptaron un enfoque de aprendizaje mediado por tecnología, mientras que el profesor Camilo se centró en la enseñanza mediada por tecnología. El profesor Felipe de Física usó simulaciones y hojas de cálculo que permitían la interacción de los estudiantes con los datos, mientras que la profesora Paula limitó la interacción a parámetros fijos. Aunque se ha encontrado que los conocimientos tecnológicos y el uso de la tecnología se relacionan negativamente con la experiencia docente

(Roussinos y Jimoyiannis, 2019), otros estudios indican que profesores con experiencia tecnológica tienen valores más altos de PK, TPK y frecuencia de uso de tecnología que los docentes en formación (Wekerle y Kollar, 2022). En este sentido, el desarrollo profesional relacionado con tecnología para enseñar ciencias, como el uso de Arduino para toma de datos en tiempo real, informado por el profesor Felipe, confirma que no basta con el dominio disciplinar para integrar efectivamente la tecnología; se necesita una formación profunda en tecnologías específicas para un área de contenido (TCK), crucial para desarrollar el TPACK (Belfiori, 2014).

Las metas de aprendizaje revelaron una dificultad generalizada en proponer objetivos de alta demanda cognitiva. Estas metas, independientemente del tiempo de experiencia docente, se clasificaron en nivel bajo y medio (Anderson y Krathwohl, 2001), contrastando con estudios que indican que la experiencia docente aumenta el conocimiento pedagógico del contenido (PCK) (Roussinos y Jimoyiannis, 2019). Esto puede deberse a procesos de rendición de cuentas que favorecen el recuerdo de información fragmentada (Pringle et al., 2015) o a la falta de conocimiento o experiencia para usar la tecnología en niveles cognitivos más altos.

La Teoría de la Actividad (TA) fue una herramienta poderosa para identificar y comprender las contradicciones en un sistema de actividad. TA permitió analizar factores subyacentes en el diseño de actividades mediadas por la tecnología y su impacto en el éxito de la actividad. Los conocimientos de los profesores (*sujeto*) fueron un factor clave en la redacción de metas de aprendizaje (*objeto*), la elección de recursos tecnológicos (*herramientas*) y el uso propuesto de la tecnología (*división de trabajo*). Este hallazgo coincide con estudios que reportan que el nivel TPACK es el indicador más importante para la integración de la tecnología en la enseñanza (Saritepeci, 2022).

Además, se identificaron contradicciones externas a los profesores que podrían causar el fallo de sus sistemas de actividad, como la falta de acceso a recursos tecnológicos y reglas institucionales que prohíben el uso de celulares en las aulas. Este resultado respalda hallazgos que destacan la influencia de aspectos institucionales y características de los estudiantes en la integración tecnológica (Xue et al., 2021). Es crucial que las escuelas reconozcan que la integración de la tecnología está influenciada por el contexto social y cultural (Petko et al., 2018), y así avanzar en la formulación de políticas educativas, mejorar las condiciones físicas y proporcionar recursos humanos.

CONCLUSIONES Y PROYECCIONES

Este estudio examinó en profundidad los diseños de actividades mediadas por la tecnología elaborados por tres profesores de ciencias. Los resultados mostraron que, aunque los profesores integraron tecnologías específicas de contenido, las metas de aprendizaje se centraban en actividades de baja y media demanda cognitiva. Por lo tanto, la integración tecnológica por sí sola no garantiza necesariamente el desarrollo de habilidades de alto nivel cognitivo en los estudiantes. Para lograr este objetivo, los profesores necesitan conocimientos y experiencia en el uso de la tecnología para apoyar actividades con mayores demandas cognitivas. La Teoría de la Actividad resultó ser un marco eficiente para analizar cómo las características de los profesores (p. ej., conocimientos) y el contexto (p. ej., acceso a la tecnología) influyen en sus decisiones de diseño.

En cuanto a las limitaciones del estudio, solo se seleccionaron tres casos de profesores de ciencias, lo que puede no brindar una imagen completa de la integración tecnológica en un contexto específico. Además, el estudio se desarrolló en Chile, por lo cual sus resultados pueden ser aplicables a países latinoamericanos con características similares, pero no necesariamente a países con diferencias culturales, educativas y políticas significativas.

Las implicaciones de este estudio son relevantes para los programas de formación y desarrollo profesional docente que busquen preparar a los profesores de ciencias para integrar la tecnología en sus aulas. Es crucial que los profesores en formación y en servicio adquieran conocimientos sobre la formulación de metas claras y desafiantes para el aprendizaje de las ciencias, incluyendo actividades donde los estudiantes deban justificar, comparar, analizar y/o evaluar. Además, se recomienda proporcionar a los profesores herramientas para integrar la tecnología diseñada para la enseñanza y aprendizaje de la ciencia, apoyando el desarrollo de prácticas científicas y metodologías específicas de contenido (McCrory, 2008).

Finalmente, las prácticas de enseñanza desarrolladas o reforzadas durante la pandemia podrían adoptarse para la enseñanza de ciencias en la pospandemia. Esto incluye procedimientos de evaluación y el desarrollo de experiencias de laboratorio apoyadas por simulaciones interactivas y aplicaciones móviles, tanto en clase como en casa. Estas prácticas son cruciales para abordar la limitación de recursos de laboratorio y las exigencias que enfrentan los profesores en servicio, como el tiempo limitado, la necesidad de cubrir los contenidos del plan de estudios y el rendimiento de los estudiantes en pruebas estandarizadas.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a los docentes que participaron en este estudio, que se desarrolló en el proyecto FONDECYT 1190990 y en la BECA DE INSTRUCTOR BECARIO de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

REFERENCIAS

- Anderson, L., y Krathwohl, D. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of bloom's taxonomy of educational objectives*.
- Ariza, M. R., y Armenteros, A. Q. (2014). ICT and meaningful science learning. *Enseñanza de Las Ciencias*, 32(1), 101–115. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.433>
- Ärlebäck, J. B. (2020). A case study of tensions and challenges arising as a swedish upper secondary teacher designs and implements a model development sequence on statistics. *International Perspectives on the Teaching and Learning of Mathematical Modelling*, 139–150. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37673-4_13
- Azungah, T. (2018). Qualitative research: Deductive and inductive approaches to data analysis. *Qualitative Research Journal*, 18(4), 383–400. <https://doi.org/10.1108/QRJ-D-18-00035>
- Belfiori, L. (2014). Uso del marco TPACK por alumnos de un profesorado de matemáticas. In *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa* (pp. 1733–1740).
- Cresswell, J. (2007). Qualitative inquiry & research design; choosing among five approaches, 2d ed. In *Reference and Research Book News* (Vol. 22, Issue 2). Copyright Clearance Center.
- Engeström, Y. (2014). Learning by expanding: An activity-theoretical approach to developmental research, second edition. In *Learning by Expanding: An Activity-Theoretical Approach to Developmental Research, Second Edition*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139814744>
- Engeström, Y., y Sannino, A. (2010). Studies of expansive learning: Foundations, findings and future challenges. *Educational Research Review*, 5(1), 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2009.12.002>
- Engeström, Yrjö. (1987). *Learning by expanding: An activity-theoretical approach to developmental research*. Orienta-konsultit.

- Engeström, Yrjö. (1999). *Innovative learning in work teams: Analyzing cycles of knowledge creation in practice* (pp. 377–404). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511812774.025>
- Graham, C. R., Borup, J., y Smith, N. B. (2012). Using TPACK as a framework to understand teacher candidates' technology integration decisions. *Journal of Computer Assisted Learning*, 28(6), 530–546. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2011.00472.x>
- Graham, C. R., Burgoyne, N., Cantrell, P., Smith, L., Clair St., L., y Harris, R. (2009). TPACK development in science teaching: Measuring the TPACK confidence of inservice science teachers. *TechTrends*, 53(5), 70–79. <https://doi.org/10.1007/s11528-009-0328-0>
- Gregorcic, B., Etkina, E., y Planinsic, G. (2018). A new way of using the interactive whiteboard in a high school physics classroom: A case study. *Research in Science Education*, 48(2), 465–489. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9576-0>
- Harris, J., Grandgenett, N., y Hofer, M. (2015). Testing a TPACK-Based technology integration assessment rubric. In *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2010*.
- Jimoyiannis, A. (2010). Designing and implementing an integrated technological pedagogical science knowledge framework for science teachers professional development. *Computers and Education*, 55(3), 1259–1269. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.05.022>
- Jonassen, D. H., y Rohrer-Murphy, L. (1999). Activity theory as a framework for designing constructivist learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 47(1), 61–79. <https://doi.org/10.1007/BF02299477>
- Koehler, M. J., Mishra, P., Kereluik, K., Shin, T. S., y Graham, C. R. (2014). The technological pedagogical content knowledge framework. In *Handbook of Research on Educational Communications and Technology: fourth Edition*. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5_9
- Laferrière, T., Hamel, C., y Searson, M. (2013). Barriers to successful implementation of technology integration in educational settings: A case study. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(5), 463–473. <https://doi.org/10.1111/jcal.12034>
- Land, C. L., y Rubin, J. C. (2020). Part of the assignment: student–teachers' planning instruction within/across activity systems. *Teaching Education*, 31(3), 279–297. <https://doi.org/10.1080/10476210.2018.1546689>
- Leont'ev, A. N. (1978). Activity, consciousness, and personality. *Englewood Cliffs, NJ. Prentice Hall*.
- McCrorry, R. (2008). Science, technology, and teaching: The topic-specific challenges of TPCK in science. In *Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPCK) for educators* (pp. 193–206). Routledge New York.
- Miles, M. B., y Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook* (2nd ed). Sage. [https://doi.org/10.1016/s1098-2140\(99\)80125-8](https://doi.org/10.1016/s1098-2140(99)80125-8)
- Ministerio de Educación de Chile. (2012). *Bases curriculares primero a sexto básico*. Santiago: Unidad Curriculum y Evaluación.
- Ministerio de Educación de Chile. (2015). *Nuevas bases curriculares y programas de estudio 7° y 8° año de educación básica/1° y 2° año de educación media*. Santiago: Unidad Curriculum y Evaluación.
- Ministerio de Educación de Chile. (2019). *Bases curriculares 3° y 4° medio*. Santiago: Unidad Curriculum y Evaluación.
- Mishra, P., y Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
- National Academies of Sciences, Engineering, and M. (2019). *Science and engineering for grades 6-12: Investigation and design at the center* (B. Moulding, N. Songer, y K. Brenner (eds.)). The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25216>

- 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>
- Petko, D., Prasse, D., y Cantieni, A. (2018). The interplay of school readiness and teacher readiness for educational technology integration: A structural equation model. *Computers in the Schools*, 35(1), 1–18. <https://doi.org/10.1080/07380569.2018.1428007>
- Pringle, R. M., Dawson, K., y Ritzhaupt, A. D. (2015). Integrating science and technology: Using technological pedagogical content knowledge as a framework to study the practices of science teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 24(5), 648–662. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9553-9>
- Roussinos, D., y Jimoyiannis, A. (2019). Examining primary education teachers' perceptions of TPACK and the related educational context factors. *Journal of Research on Technology in Education*, 51(4), 377–397. <https://doi.org/10.1080/15391523.2019.1666323>
- Saritepeci, M. (2022). Modelling the effect of TPACK and computational thinking on classroom management in technology enriched courses. *Technology, Knowledge and Learning*, 27(4), 1155–1169. <https://doi.org/10.1007/s10758-021-09529-y>
- Schmid, M., Brianza, E., y Petko, D. (2021). Self-reported technological pedagogical content knowledge (TPACK) of pre-service teachers in relation to digital technology use in lesson plans. *Computers in Human Behavior*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106586>
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- Stinken-Rösner, L., Hofer, E., Rodenhauer, A., y Abels, S. (2023). Technology implementation in pre-service science teacher education based on the transformative view of tpack: effects on pre-service teachers' TPACK, behavioral orientations and actions in practice. *Education Sciences*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/educsci13070732>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wekerle, C., y Kollar, I. (2022). Using technology to promote student learning? An analysis of pre- and in-service teachers' lesson plans. *Technology, Pedagogy and Education*, 31(5), 597–614. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2022.2083669>
- Willermark, S. (2018). Technological pedagogical and content knowledge: A review of empirical studies published from 2011 to 2016. *Journal of Educational Computing Research*, 56(3), 315–343. <https://doi.org/10.1177/0735633117713114>
- Xue, S., Du, J., y Yang, Y. (2021). Institutional influences on teachers' classroom technology integration: A multi-case study of teachers' uses of mobile social media at universities in China. *Asia Pacific Journal of Education*, 1–22. <https://doi.org/10.1080/02188791.2021.1996332>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (Sixth edit). SAGE.
- Zwickl, B. M., Ikoro, V., y Allie, S. (2023). Characterizing lab environments using activity theory. *The International Handbook of Physics Education Research: Teaching Physics*, 10–11. https://doi.org/10.1063/9780735425712_010

Technology Integration in the Design of a Learning Activity: A Case Study

Andrea López Rodríguez

Facultad de Educación. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

lalopez4@uc.cl

Alejandra Meneses Arévalo

Facultad de Educación. Pontificia Universidad Católica de Chile. Villarrica, Araucanía Región, 7820436, Chile.

amenesea@uc.cl

INTRODUCTION

This study explores how secondary science teachers design technology-mediated learning activities focusing on technology selection, knowledge orchestration, and the contradictions that arise. The framework combines Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) and Activity Theory (AT). TPACK identifies the knowledge required for effective technology integration, while AT highlights the broader system, revealing contradictions between tools, learning objectives, and institutional contexts.

METHODOLOGY

A qualitative multiple-case study was conducted with three secondary science teachers from Chile (representing the subjects of biology, chemistry, and physics). They were tasked with designing a technology-mediated learning activity for 15-16-year-old students, focusing on energy and matter. Activity designs and post-design interviews provided insights into the teachers' decisions and challenges.

FINDINGS AND DISCUSSION

The findings show that while the teachers integrated content-specific technologies, the cognitive demand of the activities was generally low. For example, the Chemistry teacher used a simulation for the law of conservation of mass, but the fixed parameters limited interaction, hindering deeper exploration. In Biology, a video explaining photosynthesis presented too much information too quickly, which overwhelmed students. In Physics, the teacher used a spreadsheet and simulation to analyze frequency data, but the learning objective remained basic, thus limiting complex cognitive tasks.

Teachers demonstrated strong content knowledge (CK), accurately conveying scientific concepts like conservation of mass, photosynthesis, and frequency. However, their pedagogical knowledge (PK) and technological knowledge (TK) were not fully used to enhance the students' learning. Teachers generally selected familiar technologies to engage students, but they did not always choose tools that supported higher-order thinking. The Chemistry simulation restricted interactivity, while the Biology video overwhelmed students with too much information. The Physics teacher's spreadsheets allowed for data collection but did not encourage deeper analysis.

Several contradictions emerged in the designs. In Chemistry, there was a misalignment between the learning objective –understanding the law of conservation of mass– and the activity's design, which lacked clarity and left students uncertain about the expectations. In Biology, the fast pace and information overload of the video created a gap between the teacher's intentions and the students' ability to process the content. In Physics, the professor used spreadsheets, but said that students found them complex and unattractive, which could reduce motivation and make it difficult for them to effectively analyze data.

In addition to these contradictions, teachers faced external challenges, such as institutional rules limiting access to technology. In some schools, students were not allowed to use mobile phones, which restricted the teachers' ability to integrate digital tools. Moreover, limited access to quality tablets and computers hindered the effectiveness of the technology-mediated activities, reflecting broader issues of unequal resource access.

CONCLUSION

This study shows that while secondary science teachers can integrate technology, its effectiveness is often limited by low cognitive demands and misalignment between tools and objectives. Many activities focus on basic tasks, lacking higher-order thinking, such as analysis or evaluation. Contradictions

also arose regarding the clarity of learning goals, the suitability of selected technologies, and resource access. To address this, professional development should focus on formulating clear, challenging objectives which are aligned with technology use. Teachers need support in using digital tools for deeper engagement, and schools must address factors like resource access and restrictive policies.



Construcción de un instrumento para mirar profesionalmente la gestión comunicativa de docentes de matemática

Construction of an Instrument to Notice Mathematics Teachers' Communicative Orchestration

Victoria Arriagada

Facultad de Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile
vparriagada@uc.cl

Ceneida Fernández

Departamento de Innovación y Formación Didáctica, Universidad de Alicante, San Vicente del Raspeig, Alicante, España
ceneida.fernandez@ua.es

Horacio Solar

Facultad de Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile
hsolar@uc.cl

RESUMEN • El objetivo del estudio es construir un instrumento para analizar y desarrollar la mirada profesional de la gestión comunicativa de docentes de matemática. Este artículo describe el proceso de construcción y validación de un instrumento, en cuatro fases, con dicho propósito. El instrumento está compuesto por actividades de vídeo, una rúbrica y lentes teóricos. El instrumento diseñado puede ser aplicado en programas de formación inicial y continua de docentes de Matemáticas donde se promueva el análisis de situaciones de aula, y en particular sobre la gestión comunicativa en esta. Además, la rúbrica diseñada podría ayudar a caracterizar el desarrollo de la mirada profesional sobre la gestión comunicativa en el aula en los programas de formación.

PALABRAS CLAVE: Mirada profesional; Matemáticas; Gestión comunicativa; Argumentación; Instrumento.

ABSTRACT • The aim of the study is to construct an instrument to analyze and develop mathematics teacher noticing of communicative orchestration. This article describes the process of construction and validation of an instrument, in four phases, for this purpose. The instrument is composed of video activities, a rubric and theoretical lenses. The designed instrument can be applied in pre-service and in-service training programs for mathematics teachers where the analysis of classroom situations in mathematics is promoted, and in particular on communicative orchestration in the classroom. Furthermore, the rubric designed could help to characterize the development of teacher noticing of communicative orchestration in the classroom in training programs.

KEYWORDS: Teacher noticing; Mathematics; Communicative orchestration; Argumentation; Instrument.

Recepción: diciembre 2023 • Aceptación: octubre 2024 • Publicación: marzo 2025

Arriagada, V., Fernández, C. y Solar, H. (2025). Construcción de un instrumento para mirar profesionalmente la gestión comunicativa de docentes de matemática. *Enseñanza de las Ciencias*, 43(1), 65-80. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6116>

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la investigación sobre la competencia mirar profesionalmente ha recibido un creciente interés (e.g. recientes revisiones en Dindyal et al., 2021; Weyers et al., 2023). Mason (2011) conceptualiza la competencia mirar profesionalmente (*noticing*) como «un cambio de atención» (p. 45), por lo que implica un aumento de la sensibilidad hacia los detalles en las situaciones de aprendizaje, evitando juicios, emociones o generalidades (*from account of to accounting for*).

Distintos estudios han abordado la competencia mirar profesionalmente en los futuros docentes o docentes de Matemáticas desde diferentes ópticas (Dindyal et al., 2021; Fernández et al., 2018; Wallin y Amador, 2019; Yang et al., 2019). Sin embargo, la mayoría de estos estudios se han centrado en cómo miran profesionalmente futuros docentes o docentes de Matemáticas y en su desarrollo en los programas de formación o desarrollo profesional, con foco en el *pensamiento matemático de los estudiantes* (Bywater et al., 2019; Ivars et al., 2018; Jacobs et al., 2010; Wager, 2014).

Si bien mirar profesionalmente el pensamiento matemático del estudiante es relevante, también es importante desarrollar una mirada profesional en otros aspectos de la práctica profesional de enseñar matemáticas, como es la gestión comunicativa en el aula o, en otras palabras, la orquestación de la discusión en el aula. Una manera de acercarnos a la gestión comunicativa en el aula es a través de la argumentación en el aula de matemáticas, porque implica facilitar que las ideas de los estudiantes sean objetos de debate y evaluación, fomentando el desarrollo de culturas matemáticas orientadas al diálogo (Goizueta y Solar, 2019). Es importante que el docente posea suficiente conocimiento y habilidad para gestionar la comunicación en el aula, de tal forma que genere debates significativos para los estudiantes (Boerst et al., 2011).

Estudios previos han mostrado instrumentos y herramientas favorables para analizar y desarrollar la mirada profesional de los docentes. Sin embargo, la mayoría de ellos se ha centrado en el pensamiento matemático del estudiante (Fernández et al. 2018; Fisher et al., 2019; Jacobs et al., 2010; Simpson y Haltiwanger, 2017) y algunos sobre pedagogía en general (Gold y Holodynski, 2017; Kaiser et al., 2017; Yang et al., 2019). Así lo indica también una revisión sobre instrumentos que se han utilizado sobre mirada profesional (Weyers et al., 2023), confirmando la tendencia de centrarse en el pensamiento matemático del estudiante y la escasa atención que han recibido otros aspectos de la práctica de enseñar matemáticas, como puede ser la gestión comunicativa en el aula.

Por ejemplo, se ha mostrado favorable el uso de representaciones de la práctica, también llamadas viñetas (Buchbinder y Kuntze, 2018), como pueden ser respuestas de estudiantes a una actividad, interacciones entre un profesor y un estudiante, interacciones entre varios estudiantes o una secuencia de actividades de un libro de texto. Las representaciones de la práctica proporcionan contextos reales para analizar un aspecto o varios aspectos de una situación de clase, ofreciendo oportunidades para relacionar ideas teóricas sobre la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas con ejemplos de la práctica (Fernández et al., 2018). Las representaciones de la práctica pueden estar en diferentes formatos, como vídeo (e.g. van Es y Sherin, 2008), escrito (e.g. Ivars et al., 2020), cómic o animación (e.g. Herbst y Kosko, 2014). Por otra parte, el uso de lentes teóricas entendidos como documentos con información teórica sobre la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas procedentes de investigaciones en educación matemática (Fernández y Choy, 2020) también son herramientas útiles que ayudan a focalizar la mirada de los docentes hacia aspectos importantes del aula y a interpretarlos para continuar con la enseñanza.

Nuestro estudio tiene como objetivo construir un instrumento para analizar y desarrollar la mirada profesional de los docentes de matemáticas sobre la gestión comunicativa en el aula. En este artículo, presentamos su diseño y validación.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A continuación, se desarrollan los referentes teóricos de este estudio. En primer lugar, la gestión comunicativa en el aula a través de la argumentación. En segundo lugar, nuestra conceptualización de la competencia mirar profesionalmente la gestión comunicativa en el aula a través de la argumentación.

Gestión comunicativa en el aula a través de la argumentación

Estudios previos han mostrado que ciertas *acciones docentes comunicativas* pueden apoyar la promoción de la argumentación (Boerst et al., 2011; Lee, 2006; Solar y Deulofeu, 2016; Solar et al., 2022). La tabla 1 presenta la selección de acciones docentes comunicativas de Solar y Deulofeu (2016) usadas en nuestro estudio que se agrupan en lo que hemos llamado *enfoques comunicativos*: gestión de oportunidades de participación (GO), gestión a través de preguntas (GP) y gestión del error (GE). En nuestro estudio estamos interesados en las acciones del docente para asegurar que todos los estudiantes tengan la oportunidad de aportar (GO), las acciones del docente para formular preguntas adecuadas a la actividad o para interactuar en base a buenas preguntas (GP) y las acciones del docente para transmitir a sus estudiantes que sus ideas, respuestas y procedimientos equivocados son importantes para construir el conocimiento matemático (GE).

Se seleccionaron estos enfoques comunicativos porque los vídeos analizados para el diseño del instrumento (fase 1) proceden de un proyecto anterior centrado en el desarrollo de competencias como la argumentación en el aula de matemáticas, y en el que se potenció el desarrollo de estos enfoques comunicativos.

Tabla 1.
Acciones docentes comunicativas utilizadas en nuestro estudio

<i>Enfoques comunicativos</i>	<i>Descripción</i>	<i>Acciones docentes comunicativas</i>
Gestión de oportunidades de participación (GO)	Acción del docente para asegurar que todos los estudiantes tengan la oportunidad de aportar	<p>Pasear por la sala de clases observando los desarrollos de los estudiantes, para así reconocer procedimientos distintos, respuestas erradas o errores frecuentes.</p> <p>Promover el debate de diferentes procedimientos, preguntas o respuestas utilizados para resolver un problema.</p> <p>Promover la intervención de todos los estudiantes, y no tan solo a aquellos que desean intervenir.</p> <p>Gestionar con flexibilidad que los alumnos puedan interrumpir al profesor e intervenir en la clase.</p> <p>No validar ni invalidar las preguntas realizadas por los estudiantes, respuestas ni procedimientos utilizados para resolver un problema.</p>
Gestión a través de preguntas (GP)	Acción del docente para formular preguntas adecuadas a la actividad o para interactuar en base a buenas preguntas	<p>Realizar preguntas que favorezcan la descripción y explicación de ideas/procedimientos por sobre preguntas cerradas.</p> <p>No hacer preguntas retóricas, es decir, hacer la pregunta y responder inmediatamente.</p> <p>Realizar contrapreguntas a los estudiantes a partir de las respuestas dadas por ellos.</p> <p>Devolver buenas preguntas planteadas por alumnos al resto del curso.</p> <p>Plantear preguntas que inviten a la reflexión y profundización.</p>

<i>Enfoques comunicativos</i>	<i>Descripción</i>	<i>Acciones docentes comunicativas</i>
Gestión del error (GE)	Acción del docente para transmitir a sus estudiantes que sus ideas, respuestas y procedimientos equivocados son importantes para construir el conocimiento matemático	Promover que alumnos con respuestas correctas e incorrectas expongan, sin validar antes la calidad de éstas. Gestionar el error socializando de manera colectiva los conocimientos matemáticos que van mejorando la respuesta inicial. Gestionar el error, con foco en las explicaciones incorrectas, y no en las respuestas correctas. Anticipar las posibles respuestas incorrectas de los estudiantes que se relacionan con el contenido matemático. Promover entre los estudiantes una discusión asertiva y constructiva sobre las respuestas incorrectas. Utilizar el error para resolver dudas.

Fuente: Solar y Deulofeu (2016).

Mirar profesionalmente la gestión comunicativa en el aula a través de la argumentación

De las diferentes conceptualizaciones de la mirada profesional, nuestro estudio se enmarca en la perspectiva cognitivo-psicológica (König et al., 2022; Santagata et al., 2021), ya que abordamos los procesos cognitivos asociados al *qué* (destreza de identificar/atender) y *cómo* (destreza de interpretar) el docente le da sentido a lo que identifica. Dentro de esta perspectiva, la mirada profesional implica ser capaz de identificar/atender detalles importantes de la situación de enseñanza de las matemáticas y ser capaz de interpretar los detalles identificados usando conocimiento (van Es y Sherin, 2008).

Por tanto, entendemos la competencia mirar profesionalmente la gestión comunicativa en el aula como el hecho de ser capaz de:

- Identificar detalles importantes sobre la gestión del docente en el aula de matemáticas, y en particular sobre las acciones docentes comunicativas para la gestión de oportunidades de participación, para la gestión a través de preguntas y para la gestión del error.
- Interpretar los detalles identificados sobre la gestión del docente en el aula de matemáticas usando conocimiento específico sobre las acciones docentes comunicativas.

Además, para el desarrollo de la competencia mirar profesionalmente entendemos que tiene que haber un cambio de atención (Mason, 2011), por lo que su desarrollo implicaría un aumento de la sensibilidad hacia los detalles en cuanto a la gestión del docente en el aula de matemáticas, evitando generalidades y juicios (Ivars et al., 2018).

El objetivo del estudio es diseñar y validar un instrumento para analizar y desarrollar en los docentes la competencia mirar profesionalmente la gestión comunicativa en el aula, con foco en GO, GP o GE.

CONSTRUCCIÓN Y VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

El instrumento está compuesto por tres actividades de vídeo, una rúbrica y unos lentes teóricos. Los lentes teóricos es un documento teórico formado por información sobre las *acciones docentes comunicativas* de los tres *enfoques comunicativos*. El diseño de los lentes teóricos se justifica porque investigaciones previas han mostrado que ayudan a focalizar la mirada profesional de los docentes sobre el aspecto del aula a identificar/interpretar (Fernández y Choy, 2020). El uso de vídeos se justifica porque estudios previos han mostrado que el uso de representaciones de la práctica en diferentes formatos favorece el desarrollo de la competencia (Buchbinder y Kuntze, 2018). La rúbrica permitirá al formador analizar el nivel de desarrollo de la competencia en los docentes y se diseñará acorde al desarrollo de

las destrezas de identificar e interpretar. Se describen, a continuación, las cuatro fases seguidas en la construcción de las actividades de vídeo y la rúbrica. Una primera versión de las características de la rúbrica con foco en GP fue presentada en Arriagada et al. (2023).

Fase 1: Diseño de las actividades de vídeo

Para la selección de los vídeos, se revisaron 20 vídeos de aula grabados durante programas de desarrollo profesional con docentes en Chile provenientes de otros proyectos. Los docentes de estos vídeos implementaban una actividad para promover una competencia matemática. De los 20 vídeos de aula revisados, se editaron 6 (tabla 2). El criterio de selección de estos videos fue que al menos se observaran dos acciones docentes comunicativas en dos de los enfoques: GO, GP o GE.

Tabla 2.
Vídeos editados

<i>Vídeo</i>	<i>Edades estudiantes del vídeo (años)</i>	<i>Duración vídeo</i>	<i>Competencia promovida en el vídeo</i>	<i>Contenido matemático principal del vídeo</i>
v-1*	11-12	7,8 min	Argumentación	Figuras geométricas
v-2*	12-13	7,9 min	Argumentación y modelamiento	Función lineal
v-3*	13-14	6,2 min	Argumentación y modelamiento	Función lineal y afín
v-4	14-15	6,9 min	Modelamiento	Potencias
v-5	14-15	6,5 min	Resolución problemas	Factorización
v-6	17-18	6,1 min	Resolución problemas	Cuerpos geométricos

Nota: (*) vídeos seleccionados como parte del instrumento.

Posteriormente, a través de un muestreo intencionado de máxima variación (Creswell, 2011), se convocó a 7 docentes, que voluntariamente accedieron a participar en entrevistas grupales estructuradas guiadas por el investigador principal (los llamaremos participantes de la validación). Estos docentes tienen características diversas (tabla 3). En estas entrevistas, los participantes visionaron entre 2-4 vídeos y contestaron tres preguntas relacionadas con los enfoques comunicativos (primera redacción de las preguntas del instrumento, figura 1).

Tabla 3.
Características de los participantes de la validación

<i>Participante validación</i>	<i>Formación profesional</i>	<i>Edad de estudiantes (años)</i>	<i>Años experiencia</i>	<i>Vídeos observados</i>
Claudia	Primaria con especialidad	12-14	10-20	v-2, v-3, v-5, v-6
Nicolete	Secundaria	15-16	5-10	v-2, v-3
Israel	Secundaria	17-18	10-20	v-2, v-3
Ángela	Secundaria	15-16	3-5	v-4, v-5, v-6
Gabina	Secundaria	15-16	Menor a 3	v-2, v-4
Keila	Secundaria en formación	15-16	0	v-4, v-5, v-6
Tomasa	Secundaria en formación	15-16	0	v-1, v-4

Culminadas las entrevistas grupales, se transcribieron las respuestas de los participantes de la validación y preseleccionamos los cuatro vídeos que más y diversas reacciones generaron en las tres preguntas

sobre la gestión comunicativa en el aula: v-1, v-2, v-3 y v-5. Los cuatro vídeos y las preguntas fueron enviados a expertos para su validación (fase 2).

Fase 2: Validación de los vídeos y preguntas

Siguiendo la recomendación de los estándares para pruebas educativas y psicológicas (AERA, APA y NCME, 2018), invitamos a 3 expertos a participar en la validación. La característica común de ellos es que son docentes de Matemática de formación y académicos en universidades chilenas. Además, todos han trabajado la competencia mirar profesionalmente como línea de investigación.

Se compartió con los expertos los cuatro vídeos preseleccionados en la fase 1, el documento teórico con información sobre las acciones docentes comunicativas de los tres enfoques comunicativos y las tres preguntas.

Se solicitó a los expertos que indicaran la idoneidad de cada vídeo para responder a las preguntas usando el documento teórico con relación a los enfoques comunicativos. Para ello, debían puntuarlos del 1 al 5. Las puntuaciones de los tres vídeos finalmente seleccionados fueron: v-1 ($\bar{x}_{GO}=5$; $\bar{x}_{GP}=4$; $\bar{x}_{GE}=4.3$), v-2 ($\bar{x}_{GO}=4.6$; $\bar{x}_{GP}=4.6$; $\bar{x}_{GE}=4$) y v-3 ($\bar{x}_{GO}=4$; $\bar{x}_{GP}=4.6$; $\bar{x}_{GE}=4.3$). Posteriormente, se realizó un grupo focal con los expertos donde explicaron y justificaron las puntuaciones. La redacción final de las preguntas se determinó en el grupo focal (figura 1).

1. ¿Qué te llama la atención respecto de cómo la docente del video gestiona las oportunidades de participación que ofrece a los estudiantes?
Observación: Se refiere a la acción del docente del video para asegurar que todos sus estudiantes tengan la oportunidad de aportar.
2. ¿Qué te llama la atención respecto de cómo la docente del video gestiona la discusión con sus estudiantes a través de preguntas?
Observación: se refiere a la acción del docente del video para formular preguntas adecuadas a la actividad o para interactuar en base a buenas preguntas.
3. ¿Qué te llama la atención respecto de cómo la docente del video gestiona el error con sus estudiantes?
Observación: Se refiere a la acción del docente del video para transmitir a sus estudiantes que sus ideas/respuestas/procedimientos equivocados son importantes para construir el conocimiento matemático.

Fig. 1. Preguntas del instrumento

Por tanto, las actividades de video del instrumento se componen de tres vídeos (v-1, v-2 y v-3) acompañados de las tres preguntas centradas en mirar profesionalmente la gestión comunicativa en el aula.

Fase 3: Diseño de la rúbrica

Para la construcción de la rúbrica, se identificaron categorías sobre *qué identifican* los docentes de la gestión comunicativa con foco en GO, GP y GE y *cómo interpretan*. Para ello, las respuestas a las entrevistas de los participantes de la validación fueron analizadas por los tres investigadores de este estudio a través de un análisis deductivo-inductivo (Kvale, 2011; Strauss y Corbin, 1990). Deductivo porque se partió de las categorías sobre qué identificaban los docentes teniendo en cuenta los enfoques comunicativos. Inductivo porque se refinaron o generaron nuevas categorías cuando fue necesario. Las categorías generadas de manera individual fueron discutidas hasta alcanzar un 100 % de acuerdo.

Este análisis generó cuatro categorías en la destreza *identificar* en cada enfoque comunicativo. En la categoría 1, los docentes identifican aspectos generales del aula que no se vinculan con el enfoque comunicativo. En la categoría 2, los docentes identifican aspectos de la gestión comunicativa, pero de forma general. En la categoría 3, los docentes identifican aspectos de la gestión comunicativa de manera específica, en relación con las acciones docentes comunicativas concretas. En la categoría 4, los docentes también indican acciones docentes comunicativas concretas y, además, relacionan la acción del docente con el estudiante. Puesto que las categorías generadas transitan desde aspectos más generales hasta aspectos más específicos de la gestión comunicativa (Ivars et al., 2020; Mason 2011) las categorías generadas se consideran niveles en cuanto a la especificidad sobre lo que identifican, y, por tanto, niveles en la destreza identificar.

También se generaron cuatro categorías en la destreza *interpretar*. La categoría descriptiva es en la que se relata un episodio del vídeo de manera general sin usar conocimiento específico de las acciones docentes comunicativas. La categoría evaluativa es en la que se realizan valoraciones con respecto a la manera de actuar del docente del vídeo. La categoría interpretativa es en la que se interpreta el aspecto identificado, relacionándolo con las acciones docentes comunicativas. En la categoría interpretativa emergieron dos subcategorías: interpretativa sin evidencias e interpretativa con evidencias. La diferencia de ambas subcategorías es si el docente incluía evidencias de lo comentado por «el/la docente del vídeo». Puesto que las categorías generadas van desde explicaciones a través de generalidades o juicios hasta interpretaciones específicas, que se relacionan con las acciones docentes comunicativas y proporcionando más detalles, las categorías generadas también podrían considerarse niveles en la destreza interpretar.

Tabla 4.

Ejemplificación de las categorías de identificar e interpretar generadas en el análisis (énfasis añadido)

<i>Foco</i>	<i>Respuesta</i>	<i>Identificar</i>	<i>Interpretar</i>
GE	Cuando el profesor se va acercando y va jugando con esto del parafraseo o va marcando, ahí normalmente yo creo que baja un poco esta sensación de ansiedad o inseguridad de los chicos y ahí es cuando empiezan a involucrarse más, creo yo, que eso es superclave, como esto de que el profesor se acerque, que baje la postura, que se siente con ellos , genera un cambio (Claudia, v-5)	Categoría 1. Identifica aspectos generales del aula que no se vinculan a GE (aspectos de ansiedad e inseguridad)	Descriptiva
GP	Creo que son preguntas bien gestionadas en el sentido de que los chicos inmediatamente se enganchan y empiezan a responder. Yo creo que quizás son preguntas bien pensadas antes, me da esa sensación, como que él tenía claro cuál eran las preguntas que iban a ir, entonces las dice muy confiado (Claudia, v-5)	Categoría 2. Identifica aspectos generales dentro del foco GP (no están relacionados con ninguna acción docente comunicativa)	Evaluativa
GP	Él iba dando como preguntas específicas y bien como orientadoras a lo que él quería que ellos llegaran, entonces encuentro que fueron superútiles sus intervenciones grupo a grupo para que fueran llegando y en ningún momento como dije anteriormente, en ningún momento les da la respuesta, sino que quiere que ellos lo vayan descubriendo y solamente él los va apoyando (Keila, v-5)	Categoría 3. Identifica aspectos específicos dentro del foco GP (en relación con la acción comunicativa: Plantear preguntas que inviten a la reflexión y profundización)	Interpretativa (en relación con la acción comunicativa: Plantear preguntas que inviten a la reflexión y profundización)

<i>Foco</i>	<i>Respuesta</i>	<i>Identificar</i>	<i>Interpretar</i>
GO	Iba tomando como las ideas particulares de cada uno o directamente, como que nombraba a los chicos, que veía como que más estaban entusiasmados como con la clase. De hecho, en un momento se acerca como a uno de los chicos que estaba como planteando algo. Le hace como ciertas preguntas, y luego como que, esto dice, así «como ya a ver compártenos con el resto de tus compañeros, lo que tú estás pensando» de esa manera siento que, que ella también toma o agarra las ideas de los estudiantes y se hace cargo también de trabajarlo, al querer, como contraponerlo con lo que piensan los demás a ver si están de acuerdo o no, están de acuerdo el resto de los estudiantes (Tomas, v-1)	Categoría 3. Identifica aspectos específicos dentro del foco GO (en relación con las acciones comunicativas: Pasear por la sala de clases observando los desarrollos de los estudiantes, para así reconocer procedimientos distintos, respuestas erradas o errores frecuentes y promover el debate de diferentes procedimientos)	Interpretativa (en relación con la acción comunicativa: Pasear por la sala de clases observando los desarrollos de los estudiantes, para así reconocer procedimientos distintos) e incluye evidencias de lo que dice el docente: «ya a ver compártenos con el resto de tus compañeros, lo que tú estás pensando»
GE	Siento que la principal dificultad de los estudiantes estuvo en que se habían puesto distancias muy cortas y que se tendían a quedar con la primera respuesta que obtenían, «ah, es más conveniente esta» y fin, y la profesora como que los sacó de ahí, llevándolos primero al <i>análisis de la pregunta</i> , «¿para dónde van?, a las montañas, ¿las montañas están a 5 kilómetros?, ¿no?». Entonces pensemos en otra distancia. Entonces llevarlos primero a razonar con respecto al problema y en segundo lugar a través de esto mismo, ¿cierto? Llevarlos a que indagaran un poco más, ¿cierto? A que no se quedaran con la primera respuesta y siguieran investigando con números más y más grandes. Siento que esa labor llevó a que los estudiantes vieran por lo menos de esa principal dificultad que era el poner distancias muy cortitas y quedarse con la primera respuesta (Israel, v-2)	Categoría 4. Identifica aspectos específicos dentro del foco GE (en relación con la acción comunicativa: Gestionar el error, con foco en las explicaciones incorrectas, y no en las respuestas correctas), y además indica el efecto que genera en los estudiantes «esa labor llevó a que los estudiantes vieran por lo menos de esa principal dificultad que era el poner distancias muy cortitas y quedarse con la primera respuesta».	Interpretativa (en relación con la acción comunicativa: Gestionar el error, con foco en las explicaciones incorrectas, y no en las respuestas correctas) e incluye evidencias de lo que dice el docente: «¿para dónde van?, a las montañas, ¿las montañas están a 5 kilómetros?, ¿no?».

Se muestra la rúbrica diseñada en la sección 4.

Fase 4: Validación de la rúbrica

Para validar la rúbrica, a los mismos 3 expertos que participaron en la fase 2, se envió la rúbrica elaborada y una selección de respuestas. Se solicitó a los expertos: (i) codificar las respuestas enviadas utilizando la rúbrica y justificar su decisión, y (ii) puntuar del 1 al 4 cada nivel de la rúbrica, indicando: (1) coherencia, en qué grado los niveles se relacionan con el foco; (2) relevancia, en qué grado los niveles son esenciales por cada foco; (3) claridad, en qué grado los niveles son comprensibles en semántica y sintaxis; y (4) suficiencia, en qué grado los niveles permiten medir la mirada profesional del docente en cada foco.

En los niveles sobre *identificar*, las puntuaciones en cada uno de los focos GO, GP y GE no tuvieron grandes diferencias. Las puntuaciones fluctuaron entre 3 y 4. La puntuación más baja fue en claridad ($\bar{x}=3.4$), siendo el nivel con menor puntuación en los tres focos el nivel 1 ($\bar{x}=3.7$). En los niveles sobre *interpretar*, las puntuaciones de todos los niveles estuvieron entre 2.7 y 4. La puntuación más

baja fue en claridad ($\bar{x}=2.9$), siendo nuevamente el nivel con menor puntuación el nivel 1 ($\bar{x}=3.3$). Con las puntuaciones y los comentarios de los expertos se realizaron los ajustes pertinentes.

Adicionalmente, se tuvo en cuenta los comentarios realizados en congresos nacionales e internacionales (Arriagada y Solar, 2023; Arriagada et al., 2023), para realizar los últimos ajustes de redacción.

RÚBRICA

La rúbrica (tabla 5), tal y como hemos comentado anteriormente en la fase 3 de la construcción, consta de cuatro niveles en la destreza *identificar* en cada foco (GO, GP y GE) y cuatro niveles en la destreza *interpretar*.

Los niveles de la destreza *identificar* en cada uno de los focos transitan desde aspectos más generales hasta aspectos más específicos de la gestión comunicativa. La característica del nivel 1 es que los docentes identifican aspectos generales de la gestión que no se relacionan con el foco específico (GO, GP o GE). En el nivel 2, los docentes identifican aspectos generales del foco específico (estos aspectos no están relacionados con los indicadores que son las acciones docentes comunicativas). En el nivel 3, los docentes identifican aspectos específicos del foco que están relacionados con los indicadores. Finalmente, en el nivel 4, los docentes identifican aspectos específicos del foco que están relacionados con los indicadores e indican el efecto que genera la acción en el estudiante.

Los niveles de la destreza *interpretar* transitan desde explicaciones a través de generalidades o juicios hasta interpretaciones específicas que se relacionan con las acciones docentes comunicativas. La característica del nivel 1 es que la interpretación es descriptiva o evaluativa del aula en general. En el nivel 2, la interpretación es también descriptiva o evaluativa, pero específica del foco (GO, GP, GE). En el nivel 3, la explicación es interpretativa, es decir, se relaciona con las acciones docentes comunicativas del foco específico. El nivel 4 tiene esta misma característica, sin embargo, en este nivel, a diferencia del nivel 3, se incluyen evidencias de lo que dice/hace el docente en el aula.

Tabla 5.
Rúbrica del instrumento

<i>Qué identifican los docentes</i>			
<i>Nivel 1</i>	<i>Nivel 2</i>	<i>Nivel 3</i>	<i>Nivel 4</i>
Gestión de oportunidades de participación para favorecer la comunicación (GO)			
Identifica aspectos generales de la gestión del docente que no se relacionan con la GO. Por ejemplo, clima de aula, motivación, etc.	Identifica aspectos generales de la GO del docente, sin tener relación con alguno de los indicadores (ver indicadores en el nivel 3).	Identifica aspectos específicos de la GO del docente, con relación a alguno de los indicadores (acciones docentes comunicativas): – Pasear por la sala de clases observando los desarrollos de los estudiantes, para así reconocer procedimientos distintos, respuestas erradas o errores frecuentes. – Promover el debate de diferentes procedimientos, preguntas o respuestas utilizados para resolver un problema.	Identifica aspectos específicos de la GO del docente con relación a alguno de los indicadores (ver indicadores en el nivel 3) e indica el efecto que genera en los estudiantes la GO realizada por la docente.

<i>Qué identifican los docentes</i>			
<i>Nivel 1</i>	<i>Nivel 2</i>	<i>Nivel 3</i>	<i>Nivel 4</i>
		<ul style="list-style-type: none"> – Promover la intervención de todos los estudiantes, y no tan solo a aquellos que desean intervenir. – Gestionar con flexibilidad que los alumnos puedan interrumpir al profesor e intervenir en la clase. – No validar ni invalidar las preguntas realizadas por los estudiantes, respuestas o procedimientos utilizados para resolver un problema. 	
Gestión a través de preguntas para favorecer la comunicación (GP)			
Identifica aspectos generales de la gestión del docente que no se relacionan con la GP. Por ejemplo, clima de aula, motivación, etc.	Identifica aspectos generales de la GP del docente, sin tener relación con alguno de los indicadores (ver indicadores en el nivel 3).	Identifica aspectos específicos de la GP del docente, con relación a alguno de los indicadores (acciones docentes comunicativas): <ul style="list-style-type: none"> – Realizar preguntas que favorezcan la descripción y explicación de ideas/procedimientos por sobre preguntas cerradas. – No hacer preguntas retóricas, es decir, hacer la pregunta y responder inmediatamente. – Realizar contrapreguntas a los estudiantes a partir de las respuestas dadas por ellos. – Devolver buenas preguntas planteadas por alumnos al resto del curso. – Plantear preguntas que inviten a la reflexión y profundización. 	Identifica aspectos específicos de la GP del docente, con relación a alguno de los indicadores (ver indicadores en el nivel 3) e indica el efecto que genera en los estudiantes la GP realizada por la docente.
Gestión del error para favorecer la comunicación (GE)			
Identifica aspectos generales de la gestión del docente que no se relacionan con GE en matemáticas. Por ejemplo, clima de aula, motivación, etc.	Identifica aspectos generales de la GE del docente, sin tener relación con alguno de los indicadores (ver indicadores en el nivel 3).	Identifica aspectos específicos de la GE del docente, con relación a alguno de los indicadores (acciones docentes comunicativas): <ul style="list-style-type: none"> – Promover que alumnos con respuestas correctas e incorrectas expongan, sin validar antes la calidad de estas. 	Identifica aspectos específicos de la GE del docente, con relación a alguno de los indicadores (ver indicadores en el nivel 3) e indica el efecto que genera en los estudiantes la GE realizada por la docente.

<i>Qué identifican los docentes</i>			
<i>Nivel 1</i>	<i>Nivel 2</i>	<i>Nivel 3</i>	<i>Nivel 4</i>
		<ul style="list-style-type: none"> – Gestionar el error socializando de manera colectiva los conocimientos matemáticos que van mejorando la respuesta inicial. – Gestionar el error, con foco en las explicaciones incorrectas, y no en las respuestas correctas. Promover entre los estudiantes una discusión asertiva y constructiva sobre las respuestas incorrectas. – Utilizar el error para resolver dudas 	
<i>Cómo interpretan los docentes</i>			
<i>Nivel 1</i>	<i>Nivel 2</i>	<i>Nivel 3</i>	<i>Nivel 4</i>
Descriptiva o evaluativa del aula en general. En la interpretación hay generalidades o juicios de valor con relación al aula en general.	Descriptiva o evaluativa. En la interpretación hay generalidades o juicios de valor con relación al foco específico (GO, GP, GE).	Interpretativa. La interpretación se relaciona con las acciones docentes comunicativas del foco específico. Sin embargo, no se incluyen evidencias del docente del vídeo.	Interpretativa. La interpretación se relaciona con las acciones docentes comunicativas del foco específico incluyendo evidencias del docente del vídeo.

DISCUSIÓN

En este artículo presentamos la construcción y validación de un instrumento para desarrollar la competencia mirar profesionalmente la gestión comunicativa del aula a través de la argumentación, con foco en la gestión de oportunidades, en la gestión a través de preguntas y en la gestión del error.

Para ello, en primer lugar, se ha particularizado la conceptualización de la competencia mirar profesionalmente en la gestión comunicativa en el aula de matemáticas a través de la argumentación, y en particular en los tres focos. Entendemos la competencia mirar profesionalmente la gestión comunicativa en el aula como ser capaz de (i) *identificar* detalles importantes sobre la gestión del docente en el aula de matemáticas, y en particular sobre las acciones docentes comunicativas para la gestión de oportunidades de participación, para la gestión a través de preguntas y para la gestión del error; y de (ii) *interpretar* los detalles identificados sobre la gestión del docente en el aula de matemáticas, usando conocimiento específico sobre las acciones docentes comunicativas. De esta manera, contribuimos a la extensa investigación realizada durante los últimos años, ampliando la diversidad de direcciones en la investigación y focos de atención con relación a la competencia mirar profesionalmente (Weyers et al., 2023).

Además, recientes estudios han abierto un marco para mirar profesionalmente prácticas equitativas (Hand, 2012; van Es et al., 2017) en el aula que ofrezcan espacios de aprendizaje equitativos (van Es et al., 2022). Consideramos que nuestro foco en gestión de oportunidades de participación contribuye en esta línea y enriquece la mirada profesional de docentes de Matemáticas.

El instrumento está compuesto por actividades de vídeo, una rúbrica y lentes teóricos, ya que estudios previos han mostrado que los lentes teóricos son herramientas útiles para el desarrollo de la competencia (Fernández y Choy, 2020; Ivars et al., 2020), y el uso de representaciones de la práctica en diferentes formatos como vídeos (Buchbinder y Kuntze, 2018; Esteley et al., 2021; Fernández et al., 2018), también favorece el desarrollo de la competencia. Además, la rúbrica diseñada y validada muestra diferentes niveles de adquisición/desarrollo de las destrezas identificar e interpretar consideradas en el estudio. En la destreza *identificar*, los niveles van desde aspectos más generales a aspectos más específicos de la gestión comunicativa (Ivars et al., 2018; Mason 2011). El nivel 1 se caracteriza por la identificación de aspectos no vinculados con los enfoques comunicativos. El nivel 2, por la identificación de aspectos generales de la gestión respecto del enfoque comunicativo. El nivel 3, por la identificación de aspectos específicos de la gestión del docente en relación con las acciones docentes comunicativas. Por último, el nivel 4 se caracteriza por la identificación de aspectos específicos de la gestión del docente en relación con las acciones docentes comunicativas y su relación con los estudiantes.

En la destreza *interpretar*, los niveles transitan desde generalidades o juicios hasta interpretaciones específicas (Mason 2011) que se relacionan con las acciones docentes comunicativas. De esta manera, el nivel 1 se caracteriza porque la interpretación es descriptiva o evaluativa sin relacionarse con los enfoques comunicativos. En el nivel 2, la interpretación también es descriptiva o evaluativa, pero en relación con el enfoque comunicativo. En el nivel 3, la intervención es interpretativa en relación con el enfoque comunicativo; sin embargo, no se aportan evidencias. Finalmente, la intervención en el nivel 4 también es interpretativa en relación con el enfoque comunicativo, aportando evidencias desde las acciones del docente en el aula.

La rúbrica puede permitir al formador de docentes disponer de una guía para analizar el nivel de desarrollo de la competencia en los docentes, o podría servir de herramienta analítica para los propios docentes en un programa de formación para analizar la gestión comunicativa del propio docente que aparece en el vídeo.

Por tanto, nuestro estudio tiene implicaciones tanto en formación inicial como continua de docentes de matemática. En formación inicial, es posible aplicar este instrumento en programas de formación donde se promueva el análisis de situaciones de aula en matemáticas, y en particular sobre la gestión comunicativa en el aula y analizar este progreso, generando un espacio reflexivo y constructivo en el aprendizaje de los futuros docentes. En formación continua, el panorama es similar. Los programas de desarrollo profesional, por ejemplo, en Chile, están orientados al acompañamiento docente de una forma reflexiva, donde comprender cómo aprenden los estudiantes e interpretar lo que dicen es fundamental. En esta línea, se espera que, al promover programas de acompañamiento apropiados con instrumentos apropiados, desencadene en la implementación de mejores prácticas en el aula.

Una limitación del estudio es que el instrumento se ha particularizado en los focos de gestión de oportunidades de participación, gestión a través de preguntas y gestión del error; sin embargo, se podrían complementar con otros focos que pudieran ser relevantes desde el punto de vista de la interacción entre docente y estudiantes, como gestión de la tarea y gestión de la confrontación de posturas. Además, en nuestro estudio no se ha considerado la especificidad del contenido matemático en el diseño del instrumento, ya que el foco de nuestro instrumento está puesto en la gestión del docente independientemente del contenido matemático que se esté trabajando en el aula. Por lo que una línea de investigación futura podría estar centrada en si algún aspecto del contenido matemático complementaría la rúbrica diseñada y validada. Otra propuesta de ampliación sería incorporar la destreza *decidir*, que, en nuestro estudio sobre la gestión comunicativa en el aula, se particularizaría en qué otras acciones propondrían los docentes para la gestión de oportunidades de participación, para la gestión a través de preguntas o para la gestión del error.

La continuidad de nuestro estudio a corto plazo es la aplicación de este instrumento en un programa de desarrollo profesional de argumentación para docentes de Matemáticas. Las respuestas de los docentes a las actividades de vídeo serán codificadas con la rúbrica para caracterizar la mirada profesional de la gestión comunicativa en el aula a través de los niveles. Estudios como el propuesto podría dar mayor robustez a la rúbrica diseñada, o incluso refinarla.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido realizado gracias a la beca de doctorado nacional de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, folio 21201121, de Chile.

REFERENCIAS

- American Educational Research Association, American Psychological Association, & National Council on Measurement in Education. (2018). *Estándares para pruebas educativas y psicológicas*. American Educational Research Association. <https://doi.org/10.2307/j.ctvr43hg2>
- Arriagada, V., Fernández, C. y Solar, H. (2023). Diseño y validación de una rúbrica para caracterizar la mirada profesional sobre la gestión comunicativa en el aula de matemáticas. En C. Jiménez-Gestal, Á. A. Magreñán, E. Badillo, E. y P. Ivars (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XXVI* (pp. 147-154). SEIEM.
- Arriagada, V. y Solar, H. (2023). Uso de vídeos sobre competencias matemáticas para elicitar el noticing (atención) de docentes de matemática. En *XVI Conferencia Interamericana de Educación Matemática*.
- Boerst, T., Sleep, L., Ball, D. y Bass, H. (2011). Preparing teachers to lead mathematics discussions. *Teachers College Record*, 113(12), 2844-2877. <https://doi.org/10.1177/016146811111301207>
- Buchbinder, O. y Kuntze, S. (2018). Representations of practice in teacher education and research – Spotlights on Different Approaches. En O. Buchbinder y S. Kuntze (Eds.), *Mathematics teachers engaging with representations of practice. A dynamically evolving field* (pp. 1-8). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70594-1_1
- Bywater, J. P., Chiu, J. L., Hong, J. y Sankaranarayanan, V. (2019). The teacher responding tool: scaffolding the teacher practice of responding to student ideas in mathematics classrooms. *Computers and Education*, 139, 16-30. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.05.004>
- Creswell, J. (2011). *Educational research: planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research*. Pearson.
- Dindyal, J., Schack, E. O., Choy, B. H. y Sherin, M. G. (2021). Exploring the terrains of mathematics teacher noticing. *ZDM-Mathematics Education*, 53(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11858-021-01249-y>
- Esteley, C., Villarreal, M., Mina, M. y Coirini Carreras, A. (2021). Uso de videos en la formación inicial de profesores de matemática como recurso para observar clases. *Revista Científica EFI-DGES*, 7(12), 65-89.
- Fernández, C., Sánchez–Matamoros, G., Valls, J. y Callejo, M. L. (2018). Noticing students' mathematical thinking: characterization, development and contexts. *Avances de Investigación en Educación Matemática*, 13, 39-61. <https://doi.org/10.35763/aiem.v0i13.229>

- Fernández, C. y Choy, B. H. (2020). Theoretical lenses to develop mathematics teacher noticing. Learning, Teaching, Psychological, and social perspectives. En S. Llinares y O. Chapman (Eds.), *International Handbook of Mathematics Teachers Education: Volume 2. Tools and Processes in Mathematics Teacher Education* (vol. 12, pp. 337-360). Brill.
https://doi.org/10.1163/9789004418967_013
- Fisher, M. H., Thomas, J., Jong, C., Schack, E. O. y Dueber, D. (2019). Comparing preservice teachers' professional noticing skills in elementary mathematics classrooms. *School Science & Mathematics, 119*(3), 142-149. <https://doi.org/10.1111/ssm.12324>
- Gold, B. y Holodynski, M. (2017). Using digital video to measure the professional vision of elementary classroom management: Test validation and methodological challenges. *Computers & Education, 107*, 13-30. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.12.012>
- Goizueta, M. y Solar, H. (2019). Relaciones entre la argumentación en el aula de matemáticas y la mirada profesional del profesor. En R. Olfos, E. Ramos y D. Zakaryan (Eds.), *Aportes a la práctica docente desde la didáctica de la matemática* (pp. 241-280). Graó.
- Hand, V. (2012). Seeing culture and power in mathematical learning: toward a model of equitable instruction. *Educational Studies in Mathematics, 80*(1), 233-247.
<https://doi.org/10.1007/s10649-012-9387-9>
- Herbst, P. y Kosko, K. W. (2014). Using representations of practice to elicit mathematics teachers' tacit knowledge of practice: a comparison of responses to animations and videos. *Journal of Mathematics Teacher Education, 17*(6), 515-537. <https://doi.org/10.1007/s10857-013-9267-y>
- Ivars, P., Fernández, C., Llinares, S. y Choy, B. H. (2018). Enhancing noticing: using a hypothetical learning trajectory to improve pre-service primary teachers' professional discourse. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 14*(11), 2-16.
<https://doi.org/10.29333/ejmste/93421>
- Ivars, P., Fernández, C. y Llinares, S. (2020). Uso de una trayectoria hipotética de aprendizaje para proponer actividades de instrucción. *Enseñanza de las Ciencias, 38*(3), 105-124.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2947>
- Jacobs, V. R., Lamb, L. L. C. y Philipp, R. A. (2010). Professional noticing of children's mathematical thinking. *Journal for Research in Mathematics Education, 41*(2), 169-202.
<https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.41.2.0169>
- Kaiser, G., Blömeke, S., König, J., Busse, A., Döhrmann, M. y Hoth, J. (2017). Professional competencies of (prospective) mathematics teachers —Cognitive versus situated approaches. *Educational Studies in Mathematics, 94*, 161-182. <https://doi.org/10.1007/s10649-016-9713-8>
- König, J., Santagata, R., Scheiner, T., Adleff, A., Yang, X. y Kaiser, G. (2022). Teacher noticing: A systematic literature review of conceptualizations, research designs, and findings on learning to notice. *Educational Research Review, 36*, 100453. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100453>
- Kvale, S. (2012). *Las entrevistas en investigación cualitativa*. Ediciones Morata.
- Lee, C. (2006). *Language for learning mathematics: assessment for learning in practice: Assessment for learning in practice*. McGraw-Hill Education.
- Mason, J. (2011). Noticing: Roots and branches. En M. G. Sherin, V. R. Jacobs y R. Philipp (Eds.), *Mathematics teacher noticing: Seeing through teachers' eyes* (pp. 35-50). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203832714>
- Santagata, R., König, J., Scheiner, T., Nguyen, H., Adleff, A. K., Yang, X. y Kaiser, G. (2021). Mathematics teacher learning to notice: A systematic review of studies of video-based programs. *ZDM—Mathematics Education, 53*(1), 119-134. <https://doi.org/10.1007/s11858-020-01216-z>

- Simpson, A., & Haltiwanger, L. (2017). «This is the first time I've done this»: Exploring secondary prospective mathematics teachers' noticing of students' mathematical thinking. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 20(4), 335-355. <https://doi.org/10.1007/s10857-016-9352-0>
- Solar, H. y Deulofeu, J. (2016). Condiciones para promover el desarrollo de la competencia de argumentación en el aula de matemáticas. *Bolema - Mathematics Education Bulletin*, 30(56), 1092-1112. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v30n56a13>
- Solar, H., Ortiz, A., Arriagada, V. y Deulofeu, J. (2022). Argumentative orchestration in the mathematical modelling cycle in the classroom. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(8), em2141. <https://doi.org/10.29333/ejmste/12245>
- Strauss, A. y Corbin, J. (1990). *Basic of Grounded Theory Methods*. Sage.
- van Es, E. A., Hand, V., Agarwal, P. y Sandoval, C. (2022). Multidimensional noticing for equity: Theorizing mathematics teachers' systems of noticing to disrupt inequities. *Journal for Research in Mathematics Education*, 53(2), 114-132. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc-2019-0018>
- van Es, E.A., Hand, V. y Mercado, J. (2017). Making visible the relationship Between teachers' noticing for equity and equitable teaching practice. En E. Schack, M. Fisher y J. Wilhelm (eds), *Teacher Noticing: Bridging and Broadening Perspectives, Contexts, and Frameworks. Research in Mathematics Education* (pp. 251-270). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46753-5_15
- van Es, E. A. y Sherin, M. G. (2008). Mathematics teachers' «learning to notice» in the context of a video club. *Teaching and Teacher Education*, 24(2), 244-276. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2006.11.005>
- Wager, A. A. (2014). Noticing children's participation: Insights into teacher positionality toward equitable mathematics pedagogy. *Journal for Research in Mathematics Education*, 45(3), 312-350. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.45.3.0312>
- Wallin, A. J. y Amador, J. M. (2019). Supporting secondary rural teachers' development of noticing and pedagogical design capacity through video clubs. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 22(5), 515-540. <https://doi.org/10.1007/s10857-018-9397-3>
- Weyers, J., König, J., Santagata, R., Scheiner, T. y Kaiser, G. (2023). Measuring teacher noticing: A scoping review of standardized instruments. *Teaching and Teacher Education*, 122(2), 103970. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2022.103970>
- Yang, X., Kaiser, G., König, J. y Blömeke, S. (2019). Professional Noticing of Mathematics Teachers: a Comparative Study Between Germany and China. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(5), 943-963. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9907-x>

Construction of an Instrument to Notice Mathematic Teachers' Communicative Orchestration

Victoria Arriagada

Facultad de Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile
vparriagada@uc.cl

Ceneida Fernández

Departamento de Innovación y Formación Didáctica, Universidad de Alicante, San Vicente del Raspeig, Alicante, España
ceneida.fernandez@ua.es

Horacio Solar

Facultad de Educación, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile
hsolar@uc.cl

The aim of the study is to construct an instrument to analyze and develop mathematics teacher noticing of the communicative orchestration, consisting of three video activities, a rubric and theoretical lenses. The conceptualization of professional noticing proposed by van Es and Sherin (2008) and the communicative approaches proposed by Solar and Deulofeu (2016) were considered to conceptualize the competence *teacher noticing of communicative orchestration in the mathematics classroom*. This competence involves (a) Identifying important details about teacher orchestration in the mathematics classroom, and in particular about communicative teaching actions for orchestration of opportunities for participation, orchestration through questioning, and error mitigation; and (b) Interpreting the identified details about teacher orchestration in the mathematics classroom using specific knowledge about communicative teaching actions.

This article describes the process of construction and validation of the instrument through four phases: phase 1, design of video activities to stimulate teacher noticing through questions; phase 2, validation of videos and questions through expert judgment; phase 3, design of the rubric and; phase 4, validation of the rubric with the support of the same expert participants from phase 2.

The rubric consists of four levels on what teachers identify about the communicative orchestration and how teachers interpret what they have previously identified. In the identifying skill, the levels range from more general to more specific aspects of communicative orchestration. Level 1 is characterized by the identification of aspects not linked to communicative approaches. Level 2 is characterized by the identification of general aspects of orchestration with respect to the communicative approach. Level 3 is characterized by the identification of specific aspects of the teacher's orchestration in relation to communicative teaching actions. Finally, level 4 is characterized by the identification of specific aspects of the teacher's orchestration in relation to communicative teaching actions and their relationship with students. In the skill of interpreting, the levels range from generalities or judgments to specific interpretations related to communicative teaching actions. Level 1 is characterized by the fact that interpretation is descriptive and/or evaluative without being related to communicative approaches. At level 2 the interpretation is also descriptive and/or evaluative, but in relation to the communicative approach. At level 3 the intervention is interpretative in relation to the communicative approach, however no evidence is provided. Finally, the intervention at level 4 is also interpretative in relation to the communicative approach, providing evidence from the teacher's actions in the classroom.

The designed instrument can be applied in initial and in-service training programs for mathematics teachers where the analysis of mathematics classroom situations is promoted, and in particular the analysis of communicative orchestration in the classroom. Furthermore, the designed rubric could help to characterize the development of teachers' noticing of communicative orchestration in the classroom in training programs.



Aplicación de conocimientos y desempeños epistémicos en un proyecto de diseño sobre flotación

Knowledge Application and Epistemic Performances In a Design-Project About Buoyancy

Beatriz Crujeiras-Pérez

Departamento de Didácticas Aplicadas, Facultade de Ciencias da Educación, Universidade de Santiago de Compostela
beatriz.crujeiras@usc.es

Ana Aragüés-Díaz

Departamento de Didácticas Específicas, Facultad de Educación, Universidad de Zaragoza
araguesd@unizar.es

RESUMEN • En este artículo se analizan los desempeños de futuros maestros de educación primaria en el diseño ingenieril aplicando conocimientos sobre flotación y se examinan las prácticas epistémicas de ingeniería que se llevan a cabo durante la implementación del proyecto. Los participantes son 68 estudiantes del 2.º curso del grado de maestro trabajando en 19 pequeños grupos de 3-4 integrantes. La intervención se llevó a cabo en una sesión de 90 minutos y el reto consistía en diseñar un prototipo que permitiese comprender al alumnado de la clase de al lado por qué un barco flota en agua, pero una moneda de 5 céntimos no. Para el análisis se utilizó la estrategia del análisis cualitativo del contenido. Los resultados señalan dificultades para aplicar los conocimientos científicos necesarios en la elaboración del prototipo, así como un uso heterogéneo de las prácticas epistémicas de ingeniería.

PALABRAS CLAVE: Diseño ingenieril; Flotación; Formación inicial; Investigación cualitativa; Prácticas epistémicas.

ABSTRACT • This paper analyses pre-service primary teachers' performances in engineering design by applying their knowledge about buoyancy. Moreover, the epistemic engineering practices carried out during the implementation of the project are also examined. The participants are 68 pre-service teachers from the 2nd year of the Primary Education degree working in 19 small groups of 3-4 members. The intervention was carried in a 90-minute session and the challenge was to design a prototype that would allow the students in the next-door class to understand why a boat floats in water, but a 5-cent coin does not. For data analysis we used the strategy of qualitative content knowledge. The main results point to difficulties in applying the necessary scientific knowledge in the development of the prototype, as well as a heterogeneous use of epistemic engineering practices.

KEYWORDS: Engineering design; Buoyancy; Pre-service teachers; Qualitative research; Epistemic practices.

Recepción: diciembre 2023 • Aceptación: octubre 2024 • Publicación: marzo 2025

Crujeiras-Pérez, B. y Aragüés-Díaz, A. (2025). Aplicación de conocimientos y desempeños epistémicos en un proyecto de diseño sobre flotación. *Enseñanza de las Ciencias*, 43(1), 81-100.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6114>

INTRODUCCIÓN

En este artículo se examinan los desempeños de futuros maestros de educación primaria (en adelante EP) en relación con la aplicación del conocimiento científico y el uso de prácticas epistémicas de ingeniería (NRC, 2012), para llevar a cabo un proyecto de diseño ingenieril sobre flotación.

La relevancia de este estudio se encuentra, por un lado, en la estrategia de los proyectos de diseño, pues se acaban de incorporar en el currículo de EP (Real Decreto 157/2022), lo cual supone un nuevo reto para los docentes. Además, por lo que se extrae de otros países, los maestros, a pesar de sus años de experiencia, se sienten poco preparados para abordar los contenidos de ingeniería (Antik-Meyer y Arias, 2022).

Por otro lado, este enfoque proporciona numerosos beneficios, ya que permite un aprendizaje activo y reflexivo sobre la ciencia y su utilidad, aspectos que se necesitan mejorar en la formación científica de los futuros maestros y maestras. También promueve el pensamiento crítico (Putra et al., 2023), competencia transversal en la que se hace mucho hincapié en el nuevo currículo. Además, fomenta la creatividad y el uso de las destrezas de resolución de problemas (Alaswhal, 2020).

En este trabajo se examinan los desempeños de los futuros maestros y maestras durante su participación en un proyecto de diseño ingenieril sobre flotación, en cuanto a conocimiento científico y prácticas de ingeniería.

MARCO TEÓRICO

Enseñanza y aprendizaje de las ciencias a través de las prácticas epistémicas de ingeniería

Por prácticas de ingeniería entendemos aquellas encaminadas a identificar problemas y aspiraciones de necesidad humana y proponer soluciones en forma de nuevos productos y procesos (Bybee, 2011). Estas prácticas guardan cierta correspondencia con las prácticas científicas (NRC, 2012) y se complementan con ellas, al igual que la ciencia y la ingeniería comparten ciertos aspectos, como por ejemplo el uso del pensamiento sistémico, aunque se utiliza de forma diferente (Cunningham y Kelly, 2017), ya que los propósitos de ambas ramas de conocimiento son diferentes. Lo mismo ocurre desde el punto de vista educativo, siendo el propósito general de la ingeniería diseñar, analizar y construir modelos y tecnologías con fines específicos; mientras que el de la ciencia es el de construir y comprender modelos plausibles para representar y darle sentido al mundo natural (Kelly y Licona, 2018).

Las prácticas de ingeniería emergen del trabajo sobre problemas en contexto (Cunningham y Kelly, 2017) y requieren determinadas operaciones específicas, propias de la ingeniería, que podemos entender como prácticas epistémicas de ingeniería. Las prácticas epistémicas se caracterizan, según Kelly (2008), por ser las formas en las que los miembros de una comunidad proponen, comunican, justifican, evalúan y legitiman el conocimiento. Estas prácticas se aprenden mediante la participación y, a menudo, implican interacciones prolongadas con miembros que ya están familiarizados con las formas en que se practican (Kelly y Licona, 2018). Aunque las prácticas epistémicas dependen del tiempo y del contexto de estudio, tal y como señalan Kelly y Licona, no existe un conjunto limitado de prácticas. A modo de ejemplo, Cunningham y Kelly (2017) proponen un conjunto de prácticas epistémicas características de la ingeniería, entre las que se encuentran desarrollar procesos para resolver problemas, considerar los problemas en contexto, visualizar múltiples soluciones, hacer balances entre criterios y dificultades, investigar las propiedades y usos de los materiales, construir modelos y prototipos, o comunicar de forma efectiva, entre otras.

Aunque existen numerosos estudios en la literatura sobre el uso de prácticas epistémicas en contextos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias (e.g. Christodoulou y Osborne, 2012; Casas-Quiroga y

Crujeiras-Pérez, 2020; Kelly y Takao, 2002; Jiménez-Aleixandre et al., 2008; Newell y Misar, 2022), el uso de prácticas epistémicas de ingeniería en contextos de diseño ingenieril en el ámbito de las ciencias está menos explorado. A modo de ejemplo, Mumba et al. (2023) examinaron las prácticas epistémicas de ingeniería (denominadas «destrezas de diseño ingenieril») utilizadas por futuros maestros en el diseño de secuencias de enseñanza. En el contexto español, en el momento de redacción de este artículo no se identificaron estudios que aborden las prácticas epistémicas de ingeniería de forma específica con el profesorado en formación.

Los proyectos de diseño ingenieril en la enseñanza de las ciencias de EP

Un recurso idóneo para examinar el uso de las prácticas epistémicas propias de la ingeniería en el aula son los proyectos de diseño ingenieril, que se basan en la estrategia del pensamiento de diseño (*design thinking*), el cual tiene su origen en 1960 en el área de ingeniería de sistemas, y que se ha ido utilizando en el sistema educativo como estrategia de resolución de problemas (Dorland, 2021). Esta estrategia puede caracterizarse como un proceso de resolución de problemas que se centra en comprender los objetivos, experiencias y limitaciones de las personas afectadas por un problema determinado (Pruneau et al., 2019). Además, el pensamiento de diseño guarda cierta relación con la indagación científica, ya que puede incluir operaciones como planificar y llevar a cabo una investigación, analizar datos, evaluar o comunicar información (Arifin, 2021).

El pensamiento de diseño se incorpora en el sistema educativo de la mano de la introducción de la tecnología y la ingeniería en los currículos (Alaswhal, 2020) y se hace a través de distintas perspectivas. Entre ellas se encuentra la de introducirlo como parte de un contenido curricular, como puede ser en el caso de los proyectos de diseño en currículo español de EP (Real Decreto 157/2022) o como un enfoque educativo de aprendizaje integrado (English, 2016; Li et al., 2019).

A escala internacional existen numerosos estudios que utilizan los proyectos de diseño para el aprendizaje de las ciencias en la educación primaria (e.g. Gaston et al., 2023; Güler Nalbantoglu et al., 2023) y para la formación docente (e.g. Mumba et al., 2023; Ozkizikcik y Cebesoy, 2024). No obstante, en el contexto español el número es algo más limitado y se centra en algunas fases concretas del diseño ingenieril, así como dirigido a alumnado de EP más que a docentes. A modo de ejemplo, Greca et al. (2021) diseñaron y evaluaron una secuencia para 6.º curso de EP sobre electricidad enfocada en el diseño del mejor sistema de iluminación para una sala de estudio. Pérez y Meneses Villagrà (2020) abordaron el diseño y la elaboración de prototipos a través de una secuencia de indagación y diseño ingenieril, centrándose en el análisis de las competencias procedimentales y científicas del alumnado de EP.

En este artículo, se analizan los desempeños de futuros maestros y maestras de EP en la realización de un proyecto de diseño ingenieril sobre flotación.

Enseñanza y aprendizaje de la flotación

En este trabajo, el diseño ingenieril se introduce al profesorado en formación a través del contenido de flotación. La flotación es un fenómeno muy estudiado en todos niveles educativos, tanto en infantil (e.g. Andersson y Gullberg, 2014; Harriet et al., 2004; Paños et al., 2022) como en primaria (Blanco, 2010; Chiabrand y Dibar, 2014), secundaria (Mazzitelli et al., 2005; Driver et al., 1999) y bachillerato (García Cabrero y Jiménez Vidal, 1996; Slisko y García, 2010). Sin embargo, en el contexto español los trabajos que abordan la flotación con maestros en formación son más escasos (Fernández Monteiro et al., 2014; Mazzitelli et al., 2006).

Un modelo muy extendido para abordar su estudio es el de «diferencia de densidades», el cual coexiste con el modelo de «balance de fuerzas» empleado especialmente en etapas educativas superiores (Blanco, 2010). Ambos modelos suponen una difícil comprensión para el alumnado, siendo los conceptos de densidad o fuerza complejos incluso en niveles superiores (Driver et al., 1999). A todo ello hay que añadir que tras su estudio algunos estudiantes poseen un vago recuerdo de términos relacionados con el fenómeno, y no estructuras claras de los conceptos (García Cabrero y Jiménez Vidal, 1996). En trabajos con maestros en formación se ha detectado cómo parte de ellos afirman desconocer conceptos como la densidad, el peso o el volumen o no tener claros otros como la masa (Mazzitelli et al., 2006). Las representaciones relativas al equilibrio de fuerzas reflejan carencias sobre la consideración de estas, su escala o la posición de los vectores (Fernández Monteiro et al., 2014, Mazzitelli et al., 2006). Los conceptos relativos al equilibrio de fuerzas parecen entremezclarse con el modelo de diferencia de densidades (Fernández Monteiro et al., 2014). Además, al igual que ocurre con preescolares, algunos maestros únicamente asocian la flotación de un objeto con factores de tipo antropomórfico, como son la presencia de aire atrapado dentro del objeto (Mazzitelli et al., 2006) o la superficie de contacto (Butts et al., 1993).

De todo lo comentado se extrae la necesidad de seguir abordando la flotación en la formación inicial de maestros a través de los enfoques de enseñanza y aprendizaje que se demandan en la actualidad como el de las prácticas científicas y de ingeniería.

OBJETIVOS

Los objetivos de investigación de este trabajo son:

- O1. Analizar los desempeños de los maestros en formación inicial en el diseño ingenieril aplicando conocimientos sobre flotación.
- O2. Identificar qué prácticas epistémicas características de ingeniería se llevan a cabo durante la implementación del proyecto de diseño sobre flotación.

METODOLOGÍA

El estudio se enmarca en la investigación cualitativa; en particular se utiliza la estrategia del análisis cualitativo del contenido (Schreier, 2012), en el cual se utiliza un sistema de categorías para identificar los desempeños del alumnado relativos tanto a las prácticas epistémicas de ingeniería como a la aplicación del conocimiento científico implicado en la resolución del problema planteado. Atendiendo a la clasificación de estudios cualitativos propuesta por Mayring (2014), se trataría de un estudio de tipo descriptivo.

Participantes y contexto

Los participantes son 68 estudiantes del 2.º curso del grado de maestro en EP trabajando en 19 pequeños grupos de 3-4 integrantes. Los participantes, de entre 19 y 20 años (73 % de alumnas, 27 % de alumnos), estaban cursando la primera asignatura de didáctica de las ciencias del plan de estudios. En el momento de la intervención tenían experiencia en realizar actividades de indagación científica que implicarían la aplicación del conocimiento científico y epistémico, pero era la primera vez que se les planteaba un proyecto de diseño. En cuanto a los conocimientos sobre flotación, no se abordan de forma específica previamente a la intervención, ya que la asignatura se centra en enseñar a enseñar ciencia y no en aprender ciencia. Aun así, los participantes tenían a su disposición un dossier en el que

se explicaban los contenidos científicos relacionados con la parte de física y química que se abordan en EP. Además, se les pidió específicamente revisar el apartado correspondiente a la flotación en ese dossier antes de llevar a cabo la intervención.

Diseño de la intervención

Este trabajo consiste en una primera aproximación a este enfoque con un grupo concreto de futuros maestros y maestras con el objetivo de proporcionarles un ejemplo sencillo sobre cómo abordar un proyecto de diseño en un contexto científico, como parte de un proceso de formación encaminado a prepararlos para ser capaces de diseñar sus propios proyectos. La intervención consistió en la ejecución de un proyecto de diseño sobre flotación en una sesión de 90 minutos, cuyo reto consistía en diseñar un prototipo que permitiese comprender al alumnado de la clase de al lado por qué un barco flota en agua, pero una moneda de 5 céntimos no.

La intervención se fundamenta en el pensamiento de diseño e incluye una serie de fases entre las que se encuentran el análisis del problema, diseño, prototipado, prueba, revisión y reflexión/comunicación (English, 2020). A continuación, se describe cada fase.

Fase 1. Análisis del problema

De acuerdo con los principios de la ingeniería, la primera etapa consiste en formular preguntas para clarificar el problema, establecer criterios para obtener una solución satisfactoria e identificar las limitaciones (Bybee, 2011). En nuestro estudio se pide a los futuros maestros que identifiquen las limitaciones que podría tener el diseño/dispositivo que elaborar para resolver el problema (permitir comprender al alumnado de la clase de al lado por qué flota un barco en agua, pero no una moneda de 5 céntimos).

Fase 2. Diseño de la solución

Los participantes tienen que elaborar un boceto que permita explicar por qué un barco flota en agua y una moneda no. Para ayudarles en el diseño se les proporciona unas cuestiones guía sobre los factores que influyen en la flotación y sobre cómo afectan esos factores a la fuerza de empuje. Se pretende que con las respuestas a esas cuestiones los participantes elaboren un diseño explicativo de lo que sería la solución al problema.

Fase 3. Elaboración del prototipo a partir del diseño

En esta fase los participantes deben materializar el diseño utilizando material reciclado que encuentren por el laboratorio, indicando todos los materiales necesarios para su construcción.

Fase 4. Testado del prototipo

Consiste en comprobar si el prototipo creado en la fase anterior es válido para resolver el problema, es decir, explicar la diferencia de flotación entre el barco y la moneda. Una vez realizado el testado, deben explicar de forma razonada si el prototipo es válido o no.

Fase 5. Revisión del prototipo

A la vista del testado, los participantes deben evaluar si el prototipo puede mejorarse y en caso afirmativo deben explicar las mejoras a realizar.

Fase 6. Comunicación de la utilidad del prototipo para resolver el problema

Para finalizar el proyecto, los participantes deben explicar por escrito como se utilizaría el prototipo creado para explicarle al alumnado la diferencia de flotación entre el barco y la moneda.

Instrumentos para la recogida de datos y de análisis

Para la toma de datos se recogen las producciones escritas de los participantes durante la ejecución del proyecto, así como las fotografías de los prototipos elaborados por los participantes.

En el análisis de datos se utiliza el *software* ATLAS.ti para la codificación cualitativa de la información recogida. La codificación se realiza de forma inductiva para el objetivo 1, comparando las respuestas de los participantes con una posible respuesta de referencia. De esta comparación se extraen las categorías emergentes que constituyen la rúbrica de análisis para identificar los conocimientos científicos que utilizan los participantes en el diseño del prototipo.

La respuesta de referencia para el diseño, en cuanto a conocimientos científicos que cabría esperar que utilizaran, es la siguiente: «La flotación o hundimiento depende de la relación entre la fuerza peso del barco y la del empuje. Cuando la fuerza de empuje es mayor que el peso, el barco flota –teniendo una parte sumergida y otra sobresaliendo del agua–. El volumen y el peso del barco son determinantes en la fuerza de empuje. Para que un barco logre flotar es necesario que la superficie que se sumerja sea de gran tamaño (volumen). Si la mayor parte de la zona sumergida está llena de aire, al ser la densidad del agua mayor, la fuerza de empuje también será mayor y el barco flotará. En el caso de la moneda ocurre que la fuerza peso es mayor que la fuerza empuje, y ello es debido a que la densidad media es mayor que la del fluido en el que está sumergida».

Con esta respuesta de referencia no pretendemos cerrar el nivel de apertura de la tarea ni la creatividad del alumnado, simplemente organizar el tipo de conocimientos que suponemos que deberían aplicar a la hora de elaborar sus diseños.

En cuanto al objetivo 2, la codificación se realiza de forma deductiva, a partir de un marco de codificación basado en la caracterización de las prácticas epistémicas de ingeniería realizada por Kelly y Licon (2017) y de Cunningham y Kelly (2017). Las prácticas epistémicas que se consideran en este trabajo son las siguientes:

- EP1. Identificar problemas
- EP2. Considerar los problemas en contexto
- EP3. Aplicar el conocimiento y razonamiento científico
- EP4. Construir modelos y prototipos
- EP5. Utilizar datos para tomar decisiones
- EP6. Tomar decisiones basadas en pruebas
- EP7. Persistir y aprender de los errores
- EP8. Comunicar de forma efectiva

A efectos de análisis, se identifica una práctica epistémica como un episodio en el que los participantes están realizando una acción particular. Por lo tanto, es posible que en una misma fase del proyecto se identifiquen varias prácticas epistémicas a través de las respuestas escritas de los participantes.

Además, es necesario señalar que en el proyecto cada una de estas prácticas se promueve de forma diferente (explícita o implícitamente) en cuanto a diseño, tal y como se resume en la tabla 1.

Tabla 1.
Prácticas que se promueven en las distintas fases desde el diseño de la tarea y la forma en que se promueven

P. Epistémica	F1	F2	F3	F4	F5	F6
EP1. Identificar problemas	E			I		
EP2. Considerar los problemas en contexto	I	I				I
EP3. Aplicar el conocimiento y razonamiento científico	I	E	I	I	I	I
EP4. Construir modelos y prototipos			E		I	
EP5. Utilizar datos para tomar decisiones				I	E	
EP6. Tomar decisiones basadas en pruebas				E	E	
EP7. Persistir y aprender de los errores					I	
EP8. Comunicar de forma efectiva						E

Leyenda: F1- Identificación de las limitaciones del problema; F2- Diseño de la solución; F3- Elaboración del prototipo a partir del diseño; F4- Testado del prototipo; F5- Revisión del prototipo; F6- Comunicación de la utilidad del prototipo para resolver el problema. E: Se promueve de forma explícita a través de las preguntas que se formulan; I: Se promueve implícitamente.

RESULTADOS

Análisis de los conocimientos científicos aplicados en el proceso de diseño

Los bocetos de los diseños planteados por los futuros maestros se describen bajo tres dimensiones de análisis (tabla 2). Estas dimensiones se refieren a: a) la representación de la situación que explicar en términos de la utilización de elementos análogos total o parcialmente; b) la forma de representación de las fuerzas peso y empuje; y c) algunos factores que afectan a la flotación indicados en los bocetos.

Tabla 2.
Aspectos empleados en el diseño del prototipo y su frecuencia.

<i>Boceto del diseño</i>		<i>Frecuencia</i>
Representación de la situación a explicar	Dos elementos no análogos	3
	Un elemento análogo de los dos	6
	Dos elementos análogos	10
Representación de fuerzas peso y empuje	Indica una escala y posición razonable de las fuerzas	4
	Indica una escala razonable de las fuerzas, pero no se sitúan correctamente	1
	No sitúa ni indica una escala razonable de las fuerzas	13
	No indica todas las fuerzas implicadas	3
Factores que afectan a la flotación	Cámara de aire	14
	Superficie de contacto	8
	Densidad objeto/agua	10

Atendiendo a la representación de la situación que explicar (por qué un barco flota sobre el agua y una moneda no), diez grupos de 19 han representado un barco y una moneda en sus bocetos –dos elementos análogos–. Seis grupos han empleado un elemento análogo de los dos. Concretamente, dos

grupos han dibujado un globo con aire y una moneda, tres grupos un bloque rectangular y una moneda, mientras que un grupo una cáscara de nuez y una moneda. Tan solo tres grupos han empleado dos elementos no análogos en sus diseños (figura 1). Un grupo ha seleccionado una botella y un tapón; un segundo grupo, una lata de refresco aplastada y sin aplastar; y un tercer grupo, un globo lleno de aire y otro lleno de agua.

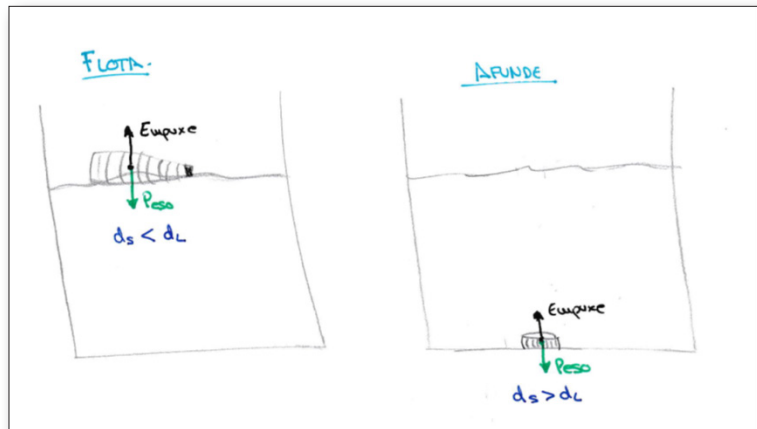


Fig. 1. Diseño elaborado por G4.

Respecto de la representación de fuerzas peso y empuje, solo en cuatro casos se indica una escala y posición razonable de las fuerzas; en otro caso se indica una escala razonable de las fuerzas, pero no se sitúan correctamente. Más de la mitad de los grupos (13) no sitúan ni indica una escala razonable de las fuerzas y tres grupos no indican todas las fuerzas implicadas (figura 2).

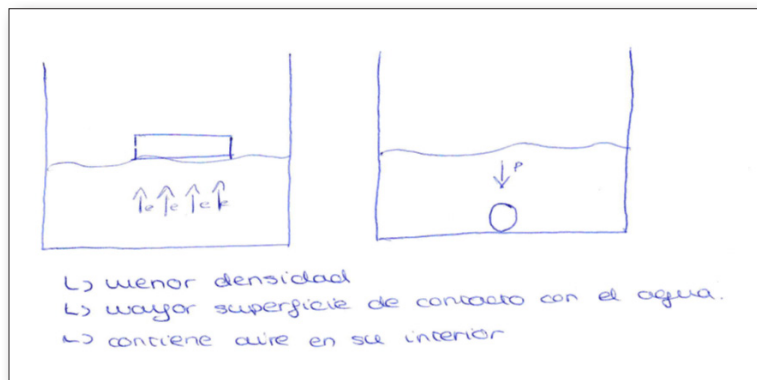


Fig. 2. Diseño elaborado por G11

En los diseños, los participantes también han señalado algunos factores que afectan a la flotación (figura 3). 14 de los grupos han indicado la presencia de una cámara de aire en el objeto con flotación. Otros 8 han señalado que una mayor superficie de contacto para el objeto con flotación, considerando así que la forma influye en la flotación de este. Por último, también en diez casos se ha señalado que la densidad del objeto con flotación debe ser menor que la del agua, y al contrario para el objeto que no flota.

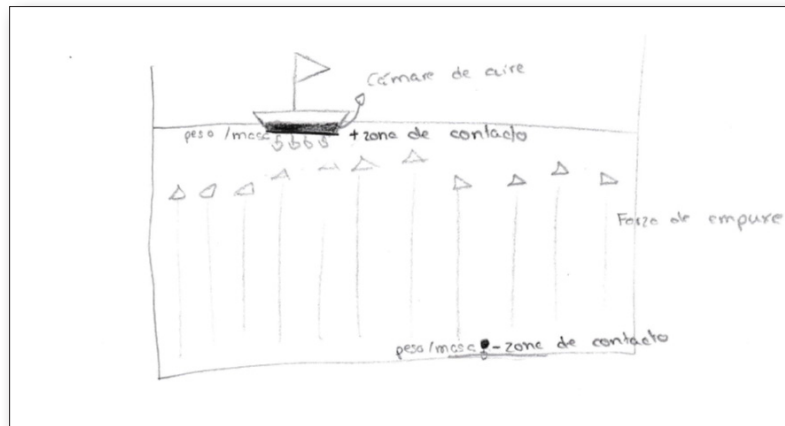


Fig. 3. Diseño elaborado por G1

De los bocetos planteados se identifican carencias conceptuales a la hora de explicar el fenómeno de la flotación. Por tanto, se interpreta que los participantes no son capaces de trasladar conocimientos teóricos a la elaboración de un objeto didáctico que permita explicar la situación problema.

Prácticas epistémicas llevadas a cabo por los maestros en formación a lo largo del proyecto

En esta sección se describen los desempeños de los futuros maestros en cuanto a prácticas epistémicas en cada fase del proyecto y se documentan con ejemplos de cada práctica. Cabe señalar que hay prácticas epistémicas que se solapan entre sí.

En la tabla 3 se describen los resultados generales en términos de frecuencia.

Tabla 3.
Frecuencia de uso de las prácticas epistémicas a lo largo del proyecto de diseño.

<i>Práctica epistémica</i>	<i>Frecuencia</i>
EP1. Identificar problemas	25
EP2. Considerar los problemas en contexto	14
EP3. Aplicar el conocimiento y razonamiento científico	28
EP4. Construir modelos y prototipos	19
EP5. Utilizar datos para tomar decisiones	13
EP6. Tomar decisiones basadas en pruebas	35
EP7. Persistir y aprender de los errores	14
EP8. Comunicar de forma efectiva	4

Como se resume en la tabla 3, la frecuencia de uso de cada práctica es muy diferente. De las 8 prácticas se identifican mayoritariamente 3: EP6 (Tomar decisiones basadas en pruebas), EP3 (Aplicar el conocimiento y razonamiento científico) y EP1 (identificar problemas), apareciendo en 35, 28 y 25 ocasiones respectivamente en las producciones del alumnado. El resto aparece con menor frecuencia y, excepto la EP4, no se identifica en todos los grupos, a pesar de promoverse desde el propio diseño de la tarea. El hecho de que prácticas como la EP2 o EP8 aparezcan con poca frecuencia podría estar

relacionado con la forma en la que se promueven desde el diseño de la tarea, siendo esta únicamente implícita en el caso de EP2 o con la falta de conocimiento en llevar a cabo esta práctica, como es el caso de la EP8, por lo que se necesita hacer más hincapié en estos aspectos. Los resultados correspondientes a otras, como la EP5, podrían relacionarse con la falta de experiencia de los participantes en resolver actividades de toma de decisiones, además de que esta práctica solo se promueve de forma explícita en una de las fases del proyecto. Este resultado llama la atención si se compara con la práctica EP6, que es la mayoritaria, además de implicar operaciones similares. Esto podría explicarse considerando que la EP7 se promueve de forma explícita en dos fases del proyecto y de forma más clara que la EP6, por lo que es más sencillo para los participantes llevarla a cabo.

A continuación, se describen los resultados sobre la base de las cuatro grandes categorías de prácticas propuestas por Kelly y Licona (2017): producción, evaluación, comunicación y legitimación de conocimiento.

a) Prácticas de producción de conocimiento

En esta categoría se encuentran el mayor número de las prácticas que se promueven en el proyecto de diseño, seis de nueve. En particular, se identifican las prácticas EP1 (Identificar problemas), EP2 (Considerar los problemas en contexto), EP3 (Aplicar el conocimiento y razonamiento científico), EP4 (Construir modelos y prototipos) y EP7 (Persistir y aprender de los errores). A continuación, se describen los desempeños del alumnado para cada práctica.

EP1. Identificar problemas

Tal y como se representa en la tabla 3, en cuanto al diseño se esperaba que el alumnado llevase a cabo esta práctica epistémica en las fases 1 y 4 del proyecto. De forma global se identifican 25 ejemplos de esta práctica en los 19 grupos de participantes. La mayoría de los ejemplos, 18 de 25, se identifica en la fase 1, en la que se promueve de forma explícita esta práctica desde la pregunta que se le formula al alumnado en el guion del proyecto (¿qué limitaciones dificultades puede tener nuestro diseño?). En este sentido, las limitaciones que se identifican son muy diferentes en los distintos grupos en número y en contenido: van desde las operativas y organizativas, a la hora de elaborar el diseño, hasta las de tipo conceptual.

Un ejemplo de esta práctica es el propuesto por G19: «La falta de material, que el diseño final no cumpla con las expectativas del modelo previo, que no sea efectivo, que el modelo acabe siendo demasiado complejo y los niños no lo comprendan».

En cuanto a cómo se lleva a cabo esta práctica en la fase 4, solo se identifica en 7 de los 19 grupos y lo hacen cuando describen si el prototipo creado es válido o no y solo aparece en los grupos que consideran que su prototipo no es válido, aunque también podría aparecer en los casos en los que, aun siendo válido, el prototipo podría mejorarse. Un ejemplo de esta práctica es el proporcionado por G1: «No es válido ya que el tapón hacia abajo retiene algo de aire y no se sumerge».

EP2. Considerar los problemas en contexto

Esta práctica se promueve de forma implícita a nivel de diseño en las fases 1, 2 y 6 del proyecto. En general se identifican 14 ejemplos de esta práctica en los 19 grupos. 12 de estos 14 se corresponden con la fase 2 del diseño, representando el distinto comportamiento del barco y de la moneda en cuanto a la flotación. Los dos ejemplos restantes se identifican en las fases 1 y 5. Respecto a los grupos, solo uno, el G16, hace uso de esta práctica en dos de las fases (1 y 2). En la fase 1 tiene en cuenta el contexto a la hora de establecer las limitaciones y propone entre ellas la siguiente: «de tipo teórico, no conocemos todos los factores implicados en la flotación de los barcos».

En la fase 2 se tiene en cuenta el contexto en el diseño, representando los elementos contextualizados tal y como se representa en la figura 4.

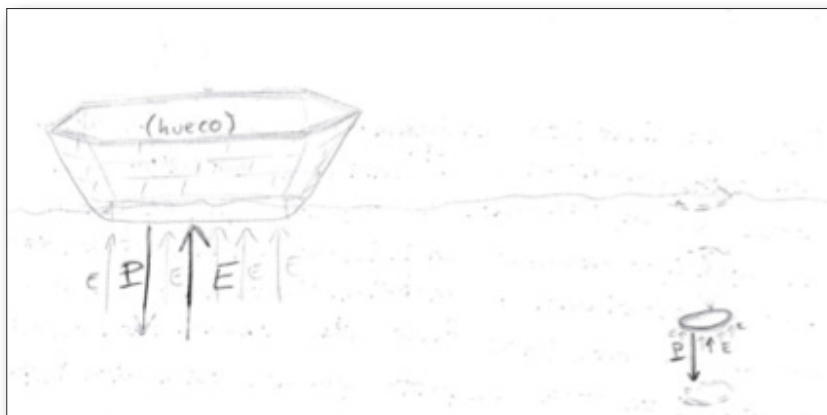


Fig. 4. Ejemplo de diseño contextualizado.

EP3. Aplicar el conocimiento y razonamiento científico

Esta práctica se esperaba identificar en todas las fases del proyecto, ya que se realiza con el propósito de que el alumnado aplique el conocimiento sobre flotación, aunque desde el diseño solo se promueve de forma explícita en la fase 2. En realidad, se identifica en tres de las seis fases. Todos los grupos la llevan a cabo en la fase 2, ya que es donde se promueve de forma explícita a través de las preguntas de apoyo para elaborar el diseño (¿qué factores influyen en la flotación de un objeto? / ¿cómo afectan estos factores a la fuerza de empuje?). Pero, además, también seis pequeños grupos la llevan a cabo en la fase 6 de comunicación y otros cuatro en la fase 4 de testado del prototipo.

Como ejemplo proponemos el caso del G9, quien lleva a cabo esta práctica en las tres fases. Un ejemplo de cómo se utiliza esta práctica en la fase 2 se reproduce en la figura 5.

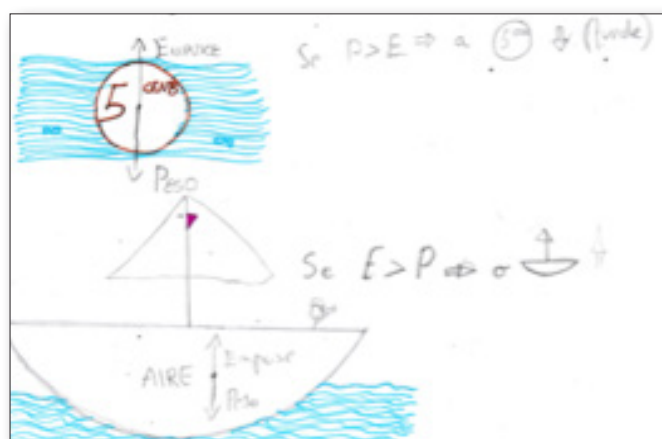


Fig. 5. Diseño elaborado por G9 utilizando el conocimiento científico.

En esta figura se puede ver que el grupo tiene en cuenta el equilibrio de fuerzas empuje y peso y su relación con la flotación. En este grupo también se identifica esta práctica en la fase de testado del prototipo, en la cual se utiliza la idea del efecto del aire en la flotación, pero de forma muy vaga, tal y como se reproduce a continuación. G9: «Es válido [...] esto sucede por el aire: si la botella tiene aire flota, si la botella no tiene aire se hunde».

Como se ha mencionado anteriormente, esta práctica también se identifica en la fase de comunicación, en la cual utilizan el conocimiento científico para explicar por qué su prototipo permite explicar

el fenómeno en cuestión, tal y como se reproduce en el siguiente ejemplo. G9: «Tenemos este modelo en donde vemos una botella llena de agua (que se corresponde con la moneda). Como no tiene aire dentro, el peso del objeto vencerá la fuerza de empuje, por tanto, se hunde. Por el contrario, la botella vacía (que se corresponde con el barco) no es capaz de vencer a la fuerza de empuje porque su peso, gracias al aire que almacena en su interior es menor que la fuerza de empuje». En este ejemplo, aunque mal explicado, el alumnado hace el esfuerzo de incorporar el conocimiento científico para explicar el funcionamiento de su prototipo.

EP4. Construir modelos y prototipos

Esta práctica se identifica en los 19 grupos, ya que se promueve de forma explícita en la tarea al tratarse de uno de los apartados que se le pide al alumnado. Se presentan 12 diseños diferentes, pero la mayoría no representa en realidad el fenómeno que se pide en el problema o el diseño elaborado en la fase anterior. Solo cinco de los grupos elaboran prototipos que cumplen las características señaladas. Dos de ellos (G8 y G19) elaboran un prototipo con plastilina representando el barco y la moneda, mientras que otros tres (G3, G12 y G15) utilizan la misma idea, pero utilizando como material el papel de aluminio.

Un ejemplo es el prototipo elaborado por G8 que se presenta en la figura 6, en el que se puede ver cómo tiene en cuenta la diferente forma del barco y la moneda, aunque asimilan la forma redondeada a la moneda en vez de esférica, lo cual permite representar el efecto de la diferente superficie de contacto entre los objetos y el agua, además de la influencia del aire en la flotación del barco.

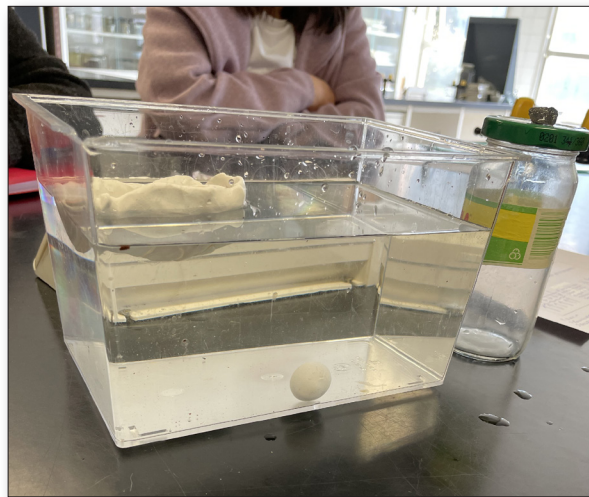


Fig. 6. Prototipo elaborado por G8.

Los 14 grupos restantes construyen prototipos que no respetan las dimensiones de los objetos que forman parte del problema (barco y moneda), es decir, no representan el barco más grande que la moneda o no tienen en cuenta su diferente forma. Por ejemplo, grupos como G2, G6, G7, G13 o G17 utilizan el mismo objeto para representar tanto el barco como la moneda, haciendo uso de, por ejemplo, dos globos, uno con aire y otro con agua, o de dos latas vacías, una normal y otra aplastada o incluso de dos velas de té, una con parafina y otra sin ella.

Un ejemplo es el prototipo creado por G7, que usa dos globos para representar el barco y la moneda (ver figura 7).

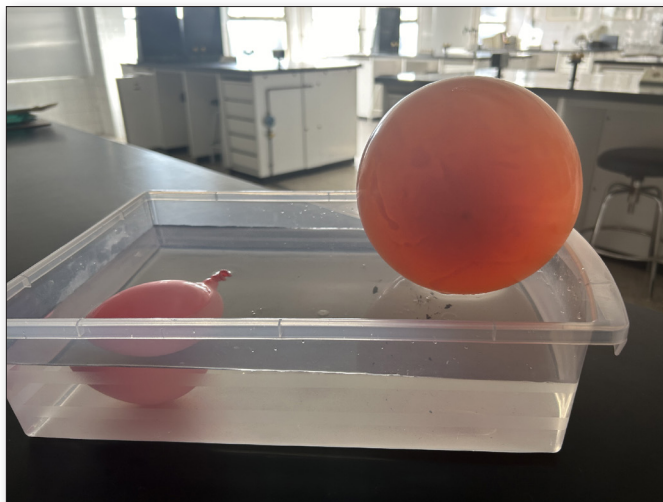


Fig. 7. Ejemplo de prototipo creado por G4.

EP7. Persistir y aprender de los errores

Esta práctica se identifica en 14 grupos y siempre en la fase 5 de revisión del prototipo, una vez que testaron si este era válido o no. En las producciones escritas se observa que el alumnado describe los errores identificados en el testado del prototipo y cómo los han intentado solucionar. Un ejemplo es el propuesto por G12, que elaboró un prototipo representando el barco y la moneda con papel de aluminio, y después del testado señaló lo siguiente: G12: «Al no quitar bien el aire de la moneda de aluminio que creamos la moneda flotaba, pero una vez que le quitamos todo el aire, la moneda se hundía». Este es un claro ejemplo de esta práctica epistémica, ya que además de identificar los errores los subsanaron y pudieron crear un prototipo válido.

b) Prácticas de evaluación de conocimiento

EP5. Utilizar datos para tomar decisiones

Esta práctica se identifica en la fase de testado del prototipo en la que los grupos tienen que determinar si este es válido o no para poder explicar el fenómeno que se les solicitó. De los 13 grupos que llevan a cabo esta práctica, 11 se basan en sus observaciones sobre si se cumple el fenómeno de flotación o no, pero, además, 6 de esos 11 grupos también hacen uso de otro tipo de datos, como la representación adecuada del efecto del aire ($N = 4$), el efecto de la forma de los objetos ($N = 1$) o la diferencia de densidades de los materiales empleados para elaborar el barco y la moneda ($N = 1$).

Un ejemplo de cómo el alumnado hace uso de esta práctica es la propuesta del grupo G15, que tiene en cuenta el tipo de material utilizado y el efecto de la forma de los objetos como complemento a sus observaciones sobre la flotación: «[el prototipo] es válido porque tiene la forma de ambos objetos, están hechos del mismo material y el barco flota y la moneda se hunde».

c) Prácticas de comunicación de conocimiento

EP8. Comunicar de forma efectiva

Esta práctica se identifica únicamente en la fase final del proyecto, cuyo nombre coincide en cierta medida con la propia práctica epistémica, comunicación de la utilidad del prototipo para resolver el problema. En este caso, lo que se espera es que el alumnado explique de forma comprensible cómo se puede utilizar su prototipo para hacer entender al alumnado de la clase de al lado por qué un barco flota y una moneda de 5 céntimos no.

Cabe señalar que, a pesar de que todos los grupos, excepto uno, responden a la pregunta, solo cuatro (G9, G11, G12 y G19) son capaces de elaborar una comunicación efectiva.

Como ejemplo señalamos la propuesta de G19: «Primero de todo explicamos los materiales que vamos a utilizar para la realización del prototipo diciéndole que vamos a usar el mismo material haciendo dos figuras diferentes, una representará la forma de la moneda y la otra la forma del barco. Como podemos observar, la superficie de los objetos es diferente por lo que es un factor que influye en su flotación, ya que cuanto más superficie esté en contacto con el agua habrá más puntos de apoyo y se repartirá la fuerza de empuje que viene del agua, haciendo que flote. Debido a esto podemos ver que el objeto que representa el barco flota y el que representa la moneda se hunde».

En este ejemplo se puede observar que los participantes intentan explicar cómo su prototipo puede explicar el fenómeno que constituye el problema objeto de estudio, aunque la explicación no sea del todo completa científicamente hablando. Consideramos que es efectiva porque permite al alumnado de EP comprender el fenómeno, que es lo que se solicita en la situación problema para la cual se construye el prototipo.

En cuanto a los 14 grupos restantes, se considera que no realizan una comunicación efectiva porque no se entiende el funcionamiento del prototipo, la explicación no está contextualizada en el prototipo creado ni tampoco está dirigida a resolver el problema, es poco concreta, no se entiende o presenta errores conceptuales.

d) Prácticas de legitimación de conocimiento

EP6. Tomar decisiones basadas en pruebas

Esta práctica es la que se identifica con más frecuencia, como ya se ha mencionado. Se identifica en dos fases del proyecto, en la fase 4 de testado del prototipo (N = 18), en la cual el alumnado tiene que tomar la decisión de si el prototipo creado es válido o no y en la fase 5 de revisión del prototipo (N = 17), en la cual el alumnado debe tomar decisiones sobre los aspectos a mejorar para que funcione o para optimizarlo.

Un ejemplo de esta práctica es la propuesta de G5 quien toma las siguientes decisiones para mejorar el prototipo creado: «Recipiente más grande. Mejorar otros aspectos que afectan al experimento como la superficie. Conseguir comprimir la botella de forma que quede sin aire». Como se puede extraer de la respuesta de este grupo, las decisiones que toman están todas relacionadas con las pruebas obtenidas en la fase de testado de su prototipo; en ningún momento piensan en cambiar aspectos poco adecuados de su dispositivo, como por ejemplo pretender simular la moneda con una botella de agua.

En resumen, sin entrar a valorar su mayor o menor adecuación, los participantes llevan a cabo la gran mayoría de las prácticas epistémicas, gracias, en parte, a que se promueven desde las preguntas que se incluyen en el proyecto.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este estudio se examinan los desempeños de futuros maestros y maestras de educación primaria en formación en la aplicación de conocimientos y en las prácticas de ingeniería llevadas a cabo durante un proyecto de diseño ingenieril sobre flotación.

En cuanto al objetivo 1, en general los participantes no son capaces de trasladar todos los conocimientos teóricos necesarios en la elaboración de un objeto didáctico que permita explicar la situación problema. Más de la mitad de los grupos (10 de 19) ha empleado elementos análogos en su diseño a la situación que explicar, reproduciendo la situación que se presenta en vez de intentar simplificarla, limitándose a los factores que realmente influyen en la flotación o no de los objetos. No han sido capaces, por tanto, de plantear un diseño con otros elementos que permitan explicar la situación. Además,

un número elevado de grupos (13 de 19) no sitúa ni indica una escala razonable de las fuerzas. De las producciones de los participantes se extraen similitudes con los resultados de otros estudios sobre flotación. Por ejemplo, la mayoría de los grupos (14 de 19) han indicado la presencia de una cámara de aire en el objeto con flotación, explicando por tanto este fenómeno con la presencia de aire en el interior del objeto, considerando que los cuerpos macizos se hunden y los huecos flotan, lo que coincide con lo señalado por Mazzitelli et al. (2005). Otro aspecto que señalar es la influencia de la forma en la flotación de los objetos (Butts et al., 1993; Mazzitelli et al., 2006), ya que, en nuestro estudio, 8 de los 19 grupos han señalado que una mayor *superficie de contacto* para el objeto con flotación, considerando así que la forma influye en su flotación. Estas carencias se relacionan con una selección inadecuada del material para la elaboración del prototipo, con un desconocimiento de las fuerzas implicadas o con el empleo inadecuado de una escala y situación de estas (Mazzitelli et al., 2005). El «modelo de fuerzas» que emplean es anecdótico y coexiste con el «modelo de diferencia de densidades». Además, y al igual que ocurre en etapas iniciales, algunos participantes han relacionado la flotación con una sola propiedad de origen antropomórfico (Harriet et al., 2004), como por ejemplo el hecho de que el objeto sea hueco o macizo o con la superficie de contacto entre el objeto con capacidad para flotar y el fluido (Butts et al., 1993; Mazzitelli et al., 2006).

En cuanto al objetivo 2, el número de prácticas epistémicas de ingeniería llevadas a cabo por los participantes es elevado, aunque solo un grupo fue capaz de llevar a cabo todas las que emergen en el proyecto. Las prácticas mayoritarias coinciden con aquellas que se explicitan en el diseño o en las intervenciones de aula, como es el caso de la EP6, que se promueve de forma explícita en dos fases del proyecto. Este resultado sugiere, al igual que ocurre con otros aspectos como la naturaleza de la ciencia (Khishfe y Abd-El-Khalick, 2002; Lederman et al., 2013) o la práctica científica de indagación (Vorholzer et al., 2020), que es necesario promover estas prácticas de forma explícita para garantizar que se lleven a cabo.

Además, aunque muchas de estas prácticas epistémicas se utilizan también en otros contextos característicos de las prácticas científicas, algunas como la comunicación efectiva, más específica de ingeniería, es con diferencia la menos frecuente en los desempeños de los participantes. Esto puede deberse a la falta de conocimiento de ingeniería y sobre ingeniería, ya que es la primera vez que se enfrentan a una experiencia de este tipo. Al haberse incorporado en el currículo de forma reciente, los participantes tampoco cuentan con la experiencia de haber realizado este tipo de proyectos en su etapa escolar.

En cuanto a los grandes grupos de prácticas epistémicas, predomina un mayor número de aquellas encaminadas a la construcción del conocimiento sobre el resto, lo cual coincide con el enfoque del proyecto, encaminado a generar un artefacto para explicar un fenómeno. Esto coincide con resultados de otros estudios con enfoque de prácticas científicas (e.g. Christodoulou y Osborne, 2012; Casas-Quiroga y Crujeiras-Pérez, 2020), lo cual pone de manifiesto cierta correspondencia entre las prácticas científicas y las de ingeniería (Mumba et al., 2023).

Un aspecto que llama la atención es el hecho de que la práctica que se identifica con mayor frecuencia, la EP6, se corresponda con una de legitimación de conocimiento, ya que generalmente son las menos presentes en los desempeños de los participantes (Casas-Quiroga y Crujeiras-Pérez). Esto puede deberse a la diferente naturaleza de los estudios, en consonancia con las características de las prácticas epistémicas que, como señalan Cunnigham y Kelly (2017), dependen del contexto. En el estudio de Casas-Quiroga y Crujeiras-Pérez (2020) se aborda un problema sociocientífico, mientras que en este estudio estamos ante un problema de ingeniería que promueve de forma explícita la legitimación para resolver el problema propuesto.

IMPLICACIONES EDUCATIVAS Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

De los resultados obtenidos se extrae que, por un lado, los futuros maestros necesitan una formación científica específica combinada con la enseñanza y aprendizaje de las ciencias, ya que para poder diseñar o llevar a cabo un proyecto de diseño es necesario saber aplicar el contenido científico, en este caso sobre flotación, a la resolución del reto propuesto. Esto nos lleva reivindicar la necesidad de disponer de más créditos dedicados a la didáctica de las ciencias experimentales en el plan de estudios, ya que 15 créditos ECTS obligatorios en toda la titulación no son suficientes para que los futuros docentes adquieran la formación científica que necesitan para poder enseñar ciencias en consonancia con los enfoques que se demandan en la actualidad.

Además, es necesario proporcionar más oportunidades a los futuros maestros para participar en el desarrollo de actividades de ingeniería, ya que tal y como señalan Cunningham y Carlsen (2014), para que el profesorado se familiarice y tenga disposición a introducir estos aspectos en las aulas debe involucrarse en las prácticas de ingeniería. Asimismo, Hanson et al. (2021) señalan la necesidad de proporcionar al profesorado ejemplos del mundo real que permitan desarrollar conocimiento sobre ingeniería, así como oportunidades para diseñar actividades de ingeniería y ponerlas en práctica en las aulas. Por lo tanto, consideramos que las prácticas de ingeniería deben abordarse de forma continuada y explícita en la formación inicial de maestros de ciencias, proporcionando oportunidades tanto de participar en las propias prácticas como de diseñar intervenciones de aula encaminadas a ponerlas en práctica.

En cuanto a las limitaciones del estudio, las más relevantes están relacionadas con su diseño. A modo de ejemplo, las herramientas utilizadas para la recogida de datos, producciones escritas del alumnado, solo nos permiten tener una idea general de cómo son los desempeños de los participantes en cada fase del proyecto, pero no nos permite conocer cómo se lleva a cabo el proceso de resolución. Eso podría mejorarse combinando los datos escritos con grabaciones de aula. Aun así, los resultados nos permiten entender cómo se enfrenta el alumnado a un proyecto de este estilo e identificar los aspectos en los que incidir en la práctica docente y sobre los que seguir investigando.

AGRADECIMIENTOS

A los participantes en el estudio y al proyecto PID2022-138166NBC21 promovido por MCIN/AEI.

REFERENCIAS

- Andersson, K. y Gullberg, A. (2014). What is science in preschool and what do teachers have to know to empower children? *Cultural Studies of Science Education*, 9(2), 275-296.
<https://doi.org/10.1007/s11422-012-9439-6>
- Antik-Meyer, A. y Arias, A. M. (2022). Teachers' Incorporation of Epistemic Practices in K-8 Engineering and Their Views About the Nature of Engineering Knowledge. *Science and Education*, 31, 357-382. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00265-4>
- Arifin, N. R. y Mahmud, S. N. D. (2021). A systematic literature review of design thinking Application in STEM integration, *Creative Education*, 12, 1558-1571.
<https://doi.org/10.4236/ce.2021.127118>

- Blanco, A. (2010). «¿Flota o se hunde? Una secuencia de enseñanza para trabajar la competencia en el conocimiento e interacción con el mundo físico», en A. de Pro (ed.), *Competencias en el conocimiento e interacción con el mundo físico: la comprensión del entorno próximo*, Ministerio de Educación, pp. 137-162.
- Butts, D. P., Hofman, H. y Anderson, M. (1993). Is hands-on experience enough? A study of young children's view of sinking and floating objects. *Journal of Elementary Science Education*, 5(1), 50-64. <https://doi.org/10.1007/BF03170644>
- Bybee, R. W. (2011). Scientific and Engineering Practices in K–12 Classrooms Understanding A Framework for K–12 Science Education. *Science Scope*, 35(4), 6-11.
- 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>
- Chiabrando, L. y Dibar, M. C. (2014). ¿Qué estrategias utilizan los niños de escolaridad primaria para evaluar explicaciones sobre fenómenos físicos? *Revista de Enseñanza de la Física*, 26, 65-74. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/9734>
- Christodoulou, A. y Osborne, J. (2012). A comparison of epistemic features of student and teacher talk during argument-based instruction. Comunicación presentada en la 12 International Conference of NARST. <http://eprints.soton.ac.uk/id/eprint/451857>
- Cunningham, C. M. y Carlsen, W. S. (2014). Teaching Engineering Practices. *Journal of Science Teacher Education*, 25, 197-210. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9380-5>
- Cunningham, C. M. y Kelly, G. J. (2017). Epistemic Practices of Engineering for Education, *Science Education*, 101, 486-505. <https://doi.org/10.1002/sc.21271>
- Dorland, A. (2021). That's a Good Question: Using Design Thinking to Foster Question Formulation Skill Development. *Journal of Effective Teaching in Higher Education*, 5(1), 30-52. <https://doi.org/10.36021/jethe.v5i1.115>
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1999). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia* (4.ª ed.). Morata.
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(3). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>.
- English, L. D. (2020). Facilitating STEM integration through design. En J. Anderson y Y. Li (Eds.), *Integrated approaches to STEM education: an international perspective* (pp. 45-66). Springer.
- Fernández Monteiro, S., Álvarez Pérez, V. M., Crujeiras Pérez, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2014). Explicación de fenómenos científicos en la formación inicial del profesorado: la flotabilidad de los cuerpos. En M. A. De las Heras Pérez et al. (Coords.) *26 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (pp. 837-843).
- García Cabrero, B. y Jiménez Vidal, S. (1996). Redes semánticas de los conceptos de presión y flotación en estudiantes de bachillerato. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 1(2), 343-361. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14000205>
- Gaston, J. P., Guffey-McCorrison, S. K. y Rand, A. D. (2023). Using video and written reflection to assess second-grade students' design thinking and conceptual understanding in an engineering and design challenge. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology (IJEM-ST)*, 11(4), 820-843. <https://doi.org/10.46328/ijemst.2746>
- Greca I. M., Ortiz-Revilla J. y Arriasec, I. (2021). Diseño y evaluación de una secuencia de enseñanza-aprendizaje STEAM para Educación Primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1802. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1802

- Güler Nalbantoğlu, F., Çakıroğlu, J. y Yılmaz Tüzün, Ö. (2023). Engineering design-based activity for middle school students: Thermal insulation. *Journal of Inquiry Based Activities*, 13(1), 29-53. <https://ated.info.tr/index.php/ated/article/view/167>
- Hanson, J. R., Hardman, S., Luke., S. y Lucas, B. (2021). Developing pre-service primary teachers' understanding of engineering through engineering habits of mind and engagement with engineers. *International Journal of Technology and Design Education*, 32, 1469-1494. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09662-w>
- Harriet, R. T, Rappolt-Schlichtmann, G. y Vogel Zanger, V. (2004). Children's learning about water in a museum and in the classroom. *Early Childhood Research Quarterly*, 19(1) 40-58. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2004.01.008>
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Mortimer, E. F., Silva, A. C. T. y Díaz, J. (2008). Epistemic practices: An analytical framework for science classrooms. Comunicación presentada en Annual meeting of the American Educational Research Association (AERA).
- Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. En R. A. Duschl y R. E. Grandy (Eds.), *Teaching Scientific Inquiry*. Sense Publishers. 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*, Science: Philosophy, History and Education (pp. 139-165). Springer.
- Khishfe, R. y Abd-El-Khalick, F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551-578. <https://doi.org/10.1002/tea.10036>
- Lederman, N. G., Lederman, J. S. y Antink, A. (2013). Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 1(3), 138-147. <https://eric.ed.gov/?id=ED543992>
- Li, Y., Schoenfeld, A., diSessa, A. A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D. y Duschl, R. A. (2019). Design and Design Thinking in STEM Education. *Journal for STEM Education Research*, 2, 93-104. <https://doi.org/10.1007/s41979-019-00020-z>
- Mazitelli, C., Maturano, C., Núñez, G. y Pereira, R. (2006). Identificación de dificultades conceptuales y procedimentales de alumnos y docentes de EGB sobre la flotación de los cuerpos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las ciencias*, 3(1), 33-50. <http://hdl.handle.net/10498/16223>
- Mazitelli, C., Maturano, C. I., Núñez, G. I., Pereira, R. y Macías, A. (2005). ¿Aportan los libros de texto soluciones a las dificultades de los alumnos sobre la flotación de los cuerpos? *Enseñanza de las Ciencias* (extra).
- Mayring, P. (2014). *Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution*. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173>.
- Mumba, F., Rutt., A. y Chabalengula, V. M. (2023). Representation of Science and Engineering Practices and Design Skills in Engineering Design-Integrated Science Units Develop by Pre-service teachers. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 21, 439-461. <https://doi.org/10.1007/s10763-022-10266-6>
- National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts and core ideas*. National Academy Press.
- Newell, G. E. y Misar, K. S. (2022). Argumentative writing as an Epistemic Practice in Middle School Science. *Journal of Literacy Research*, 54(3), 272-297. <https://doi.org/10.1177/1086296X221116860>
- Ozkizilcik, M. y Cebesoy, U. B. (2024). The influence of an engineering design-based STEM course on pre-service science teachers' understanding of STEM disciplines and engineering design process. *International Journal of Technology and Design Education*, 34, 727-758. <https://doi.org/10.1007/s10798-023-09837-7>

- Paños, E., Martínez Rodenas, P. y Reyes Ruiz-Gallardo, J. (2022). La flotabilidad a examen en las aulas de infantil. Evaluación del nivel de guía del docente, *Enseñanza de las Ciencias*, 40(1), 161-177 <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3281>
- Pérez, S., y Meneses Villagrà, J. A. (2020). La enseñanza de las ciencias por indagación y el diseño ingenieril en educación primaria. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 5(1), 1-19. <https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.1.5807>
- Pruneau, D., El Jai, B., Dionne, L., Louis, N. y Potvin, P. (2019). *Design Thinking for a Sustainable Development: Applied Models for Schools, Universities and Communities*. Universidad de Moncton.
- Putra, P.D.A., Sulaeman, N. F., Supeno y Wahyuni, S. (2023). Exploring Students' Critical Thinking Skills Using the Engineering Design Process in a Physics Classroom. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 32, 141-149. <https://doi.org/10.1007/s40299-021-00640-3>
- Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria. *Boletín Oficial del Estado*, 52, 2 de marzo de 2022, 24386-24504.
- Schreier, M. (2012). *Qualitative content analysis in practice*. SAGE publications.
- Slisko, J. y García, A. M. (2010). Un frasco flota en el agua y se hunde en el aceite: ¿cómo los alumnos de bachillerato explican tales hechos y qué predicen para una situación más compleja? *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(2), 22.
- Vorholzer, A., von Aufschnaiter, C. y Boone, W. J. (2020). Fostering upper secondary students' ability to engage in practices of scientific investigation: a comparative analysis of an explicit and an implicit instructional approach. *Research in Science Education*, 50, 333-359. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9691-1>

Knowledge Application and Epistemic Performances In a Design-Project About Buoyancy

Beatriz Crujeiras-Pérez

Departamento de Didácticas Aplicadas, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidade de Santiago de Compostela
beatriz.crujeiras@usc.es

Ana Aragüés-Díaz

Departamento de Didácticas Específicas, Facultad de Educación, Universidad de Zaragoza
araguesd@unizar.es

This article examines pre-service primary teachers' (PSTs) performances in applying scientific knowledge and using engineering epistemic practices to carry out an engineering design project about buoyancy. On the one hand, the relevance of this study lies in the strategy of design-projects, which were recently incorporated in the Primary Education curriculum in Spain, a task such that entails a new challenge for teachers. On the other hand, drawing on data from other countries, teachers, despite their years of experience, feel poorly prepared to address engineering content.

The research goals are: O1) To analyse the PSTs' performances in engineering design applying knowledge about buoyancy; and O2) To identify which engineering epistemic practices are carried out during the implementation of the design project about buoyancy.

The participants are 68 pre-service teachers from the 2nd year of the Primary Education degree working in 19 small groups of 3-4 members. The participants, between 19 and 20 years old (73 % female students, 27 % male students) were taking the first science education subject of this degree.

The intervention was carried one in a 90-minute session and the challenge was to design a prototype that would allow the students in the next-door class to understand why a boat floats in water, but a 5-cent coin does not. It was framed in the design thinking strategy, and it included a series of phases such as problem analysis, design, prototyping, testing, review and reflection/communication. Data collection included participants' written products during the implementation of the design project, as well as the photos of the prototypes made by PSTs.

Data analysis was qualitative-based and focused on content analysis. The coding was carried out separately for each research objective. Regarding O1, the coding was inductive, comparing the participants' responses with a possible reference response. Some categories emerged from this comparison, which constitute the rubric for analysing the scientific knowledge used by the participants in the design of the prototype. With respect to O2, the coding was deductive, based on a framework for the categorization of the engineering epistemic practices.

The results regarding O1 point that the participants were not able to transfer all the theoretical knowledge which was necessary to the development of the design and that facilitated the explanation of the problem. More than half of the groups (10 of 19) used analogous elements in their design, reproducing the situation that was presented instead of trying to simplify it, thereby limiting themselves to the factors that really affect the buoyancy of objects. Furthermore, a high number of groups (13 out of 19) did not place or indicate a reasonable scale of forces.

In relation to O2, the number of epistemic engineering practices carried out by the participants was high, although only one group was able to carry out all those which emerged in the design project. Most of the epistemic practices coincide with those that are made explicit in the design or the classroom interventions. Some of them such as effective communication, more specific to engineering, were, by far, the least frequent in the PSTs' performances. This finding could stem from a lack of knowledge about engineering, as it was the first time that the PSTs were faced with such an experience.

The main results suggest that, on the one hand, PSTs need specific scientific training combined with the teaching and learning of science, because in order to design and/or carry out a design project it is necessary to know how to apply the scientific content, in this case about buoyancy, to the resolution of the proposed challenge.

In conclusion, it is necessary to provide PSTs with more opportunities to engage in engineering activities, since, as pointed in literature, only the teachers who become familiar with these aspects will be willing to introduce them in their lessons.



Progresión del aprendizaje del modelo de inmunidad y vacunas en educación secundaria

Learning Progression of the Immunity and Vaccines Model in Secondary Education

Marta Gómiz-Aragón, María del Mar Aragón-Méndez, José María Oliva
Departamento de Didáctica, Universidad de Cádiz, Cádiz, España.
marta.gomiz@uca.es, mariadelmar.aragon@uca.es, josemaria.oliva@uca.es

RESUMEN • El objetivo de este estudio es caracterizar la progresión del aprendizaje del modelo de inmunidad y vacuna en estudiantes de 3.º de la ESO. Para ello, se tomó una muestra de 207 estudiantes, a los que se les administró un cuestionario de respuesta abierta que evaluaba su desempeño en diferentes variables de progreso. Las respuestas se evaluaron mediante una rúbrica que fue analizada mediante el modelo de Rasch. Sus resultados revelaron una secuencia de niveles de dominio de aprendizajes no lineal que presentaba desfases en el avance en las diferentes variables de progreso. Además, la secuencia obtenida sirvió para identificar cinco hitos en la progresión del aprendizaje de este tópico, cuyo interés se discute con vistas al diseño de una secuencia didáctica para este tema.

PALABRAS CLAVE: Progresión de aprendizaje; Mapas de constructo; Secuencias de enseñanza-aprendizaje; Análisis de Rasch; Modelo de inmunidad y vacunas.

ABSTRACT • This study aims to characterize the learning progression of the immunity and vaccine model among lower secondary school students. A sample of 207 students was assessed using an open-ended questionnaire designed to evaluate their performance across various progression variables. Responses were scored using a rubric and analyzed through the Rasch model. The findings revealed a nonlinear sequence of learning mastery levels, with discrepancies in progression across different variables. Furthermore, the identified sequence highlighted five key milestones in the learning progression of this topic, which are discussed in relation to the design of an educational sequence for this subject.

KEYWORDS: Learning progression; Construct maps; Teaching-learning sequences; Rasch analysis; Immunity and vaccine model.

Recepción: mayo 2024 • Aceptación: noviembre 2024 • Publicación: marzo 2025

INTRODUCCIÓN

La complejidad del modelo de inmunidad y vacunas (MIV) supone un reto en el aula de educación secundaria (Siani et al., 2024). En concreto, presenta dos obstáculos principales: el alto grado de abstracción de los elementos y mecanismos inmunitarios, y la multitud de interrelaciones entre conceptos propias de los sistemas biológicos, lo que exige un pensamiento complejo (Momsen et al., 2022). Además, la inmunidad tiene una dimensión colectiva, que suele pasar desapercibida en las propuestas didácticas (Gómiz-Aragón et al., 2022). Todo ello justifica la necesidad de investigaciones sobre este tema, al tratarse de un contenido curricular de interés para la alfabetización científica y el pensamiento crítico de los estudiantes (Beniermann et al., 2021; García-Carmona, 2021; Uskola et al., 2021).

Podemos establecer diferentes niveles de sofisticación del MIV. De forma global, se puede describir una evolución del modelo descriptivo, de carácter eminentemente macroscópico, al modelo científico, que incluye aspectos genéticos. Los niveles intermedios son el modelo microscópico-celular y el modelo submicroscópico-molecular. El modelo microscópico-celular resulta apropiado para la enseñanza en 3.º de la ESO, dado que es en este nivel cuando se introduce por primera vez este tema en el currículo (Real Decreto 217/2022; Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2022). En este MIV se pueden distinguir diferentes aspectos: funcionamiento del sistema inmunitario, composición de las vacunas, mecanismo de acción de las vacunas, importancia de la vacunación, limitaciones de las vacunas y cuestiones sociocientíficas sobre la vacunación (Gómiz-Aragón et al., 2024). Cada uno engloba una serie de conceptos y conforma una variable de progreso.

Entre las propuestas sobre cómo abordar este tópico en educación secundaria, hay estudios centrados en las ventajas de enseñar inmunología para fomentar el pensamiento crítico (Akmal et al., 2024; Anderson et al., 2020). Otros destacan la importancia de abordar explícitamente los bulos y las creencias conspirativas sobre las vacunas (Bellver Ribelles et al., 2024; Cetinkaya y Saribas, 2023). Manzoni de Almeida et al. (2016) hacen una propuesta de aprendizaje basada en la indagación para promover el pensamiento crítico y la capacidad de evaluar la validez de la información científica en el ámbito de la inmunología.

Con el fin de desarrollar nuevas secuencias de enseñanza-aprendizaje (SEA), interesa averiguar cuál es la progresión del aprendizaje del MIV e identificar las dificultades asociadas, ya que este ejercicio es una herramienta útil para el diseño de SEA (Scott et al., 2020). Según estos autores, los estudios de progresión de aprendizaje enriquecen las investigaciones de diseño, al informar sobre cómo evoluciona la comprensión de los estudiantes en torno a un determinado tema. De ahí que tenga sentido discutir la relación entre la progresión de aprendizaje y la secuenciación y presentación de contenidos de una SEA, así como los retos de secuenciar conocimientos de forma lineal (Prieto Ruz et al., 2002).

Dado que no existen estudios previos que exploren la progresión del aprendizaje del MIV, es necesario plantear secuencias que propongan la evolución del MIV, teniendo en cuenta su complejidad y considerando diversas variables de progreso. En este marco, el objetivo de esta investigación es comprender cómo los estudiantes de 3.º de la ESO desarrollan su comprensión del MIV, identificando la progresión del aprendizaje subyacente. Se concretan cuatro preguntas de investigación:

- PI.1 ¿Qué dificultad relativa presentan las distintas variables de progreso del MIV?
- PI.2 ¿Cómo varía la dificultad relativa de los niveles de dominio considerados a lo largo de todas esas variables?
- PI.3 ¿Esos niveles de dominio se pueden integrar en bloques definidos que sirvan para inferir hitos de aprendizaje?
- PI.4 ¿Qué caracteriza globalmente cada una de esas etapas, en caso de existir?

MARCO TEÓRICO

La progresión de aprendizaje se define como el desarrollo de secuencias de pensamiento cada vez más complejas en torno a ideas centrales (Plummer et al., 2020) e implica el desarrollo de un constructo. El término *constructo* se relaciona con la comprensión de un conjunto específico de conceptos y actitudes sobre un atributo subyacente (Wilson, 2023), como puede ser un modelo científico. Esta concepción está ligada a la forma en que se conceptualiza la modelización (Oliva, 2019). El aprendizaje basado en modelización puede entenderse como una evolución de los modelos implícitos y personales del alumnado hacia otros explícitos y más complejos, sofisticados y coherentes con el modelo científico (Nicolaou y Constantinou, 2014).

Las progresiones de aprendizaje no solo describen cómo las ideas de los estudiantes sobre un dominio específico se refinan a lo largo del tiempo (Corcoran et al., 2009; Duschl et al., 2011; Merritt y Krajcik, 2009). Invitan a pensar también que hay ciertos cambios cognitivos que una persona experimenta a medida que sus modelos se van aproximando al modelo científico (Clement, 2000), lo cual ayuda a la reflexión en torno a la planificación de la enseñanza a medio o largo plazo.

Para Jin et al. (2019), la progresión en el aprendizaje puede tomar diferentes formas: el enriquecimiento, la integración o la transformación del conocimiento. Estas ideas encajan dentro de las progresiones de aprendizaje evolutivas. Duschl et al. (2011) las conciben como aquellas que «refinan y definen las vías de desarrollo [del aprendizaje] mediante la identificación de niveles intermedios que luego se utilizan para reforzar la creación de significado y el razonamiento empleando intervenciones instructivas». La progresión del conocimiento científico también puede entenderse como un proceso de integración jerárquica (Pozo y Gómez-Crespo, 1998) en el que las ideas iniciales se enriquecen y (re)estructuran gradualmente en torno a un modelo escolar de referencia.

De una forma o de otra, la noción de progresión se relaciona con la capacidad de establecer niveles sucesivos de complejidad creciente en el conocimiento en un área específica. Esto ayuda a guiar a los estudiantes a través de una serie de etapas graduales hacia la comprensión de conceptos fundamentales. Esta concepción del aprendizaje se fundamenta en dos condiciones esenciales. Por un lado, debe existir cierta continuidad evolutiva en las ideas; pero, por otro, es necesario contemplar ciertos saltos o transiciones sutiles que marquen hitos en el aprendizaje.

En un número considerable de estudios, el constructo objeto de análisis se desglosa en dos o más dimensiones, que son aquellos aspectos fundamentales de la idea que se quiere estudiar. Wilson (2009) los llama «variables de progreso», las cuales se organizan en diferentes niveles de complejidad, que median entre los modelos o ideas de la ciencia que el alumnado debería comprender y aquellos otros que van adquiriendo a lo largo de su aprendizaje. Por lo tanto, sirven para monitorizar el progreso del estudiante y son indicadores que permiten evaluar su desarrollo en un dominio particular (Merritt y Krajcik, 2009). Estas variables de progreso son fundamentales en la investigación, especialmente al alinear los avances de diferentes variables, lo que permite identificar niveles de dominio de aprendizaje y marcar hitos en el proceso. Estos hitos se plantean en respuesta a las dificultades conceptuales que existen en la progresión del aprendizaje.

La progresión de aprendizaje no es un proceso espontáneo, sino que requiere una enseñanza dirigida (Shea y Duncan, 2013) que sirva de guía en el avance del alumnado (Carney et al., 2023). Los términos «trayectoria» o «itinerario» de progresión de aprendizaje reflejan la idea de que la adquisición de nuevos conocimientos depende del conocimiento existente (Duncan y Gotwals, 2015). En algunos casos, la definición de la trayectoria de progresión se desarrolla teóricamente, con mayor o menor apoyo empírico (Duncan y Hmelo Silver, 2009), mientras que, en otros, la progresión se determina a partir de datos de la investigación.

Las investigaciones empíricas sobre progresiones de aprendizaje pueden realizarse mediante análisis longitudinales o transversales. Los primeros hacen un seguimiento del aprendizaje de un grupo de estudiantes a lo largo del tiempo, identificando hitos en su avance hacia el modelo de referencia. A menudo, esta progresión se define como «hipótesis» (hipótesis de progresión), como un plan flexible que se ajusta conforme se recopilan datos sobre la efectividad de la enseñanza (Upahi y Ramnarain, 2022). Ejemplos de estudios longitudinales son los trabajos de Plummer et al. (2020) sobre el movimiento celeste, el de Uskola et al. (2018) sobre el modelo de inmunidad, el de Puig y Jiménez-Aleixandre (2022) sobre el uso de pruebas en la toma de decisiones, el de Armario et al. (2021) sobre el fenómeno de las mareas o el de Rodríguez-Mora et al. (2022) sobre el desarrollo de competencias científicas.

Los estudios transversales que analizan la dificultad de distintos elementos de un constructo se realizan con estudiantes de distinto nivel de formación, definiendo, normalmente, diferentes variables de progreso y sus respectivos niveles de dominio (v.g. Hadenfeldt et al., 2014; Pedrera et al., 2023), cuyas dificultades relativas se comparan entre sí. Posteriormente, se identifican bloques de niveles de dificultad similar que ayudan a definir etapas de progresión. Esto se observa en estudios como el de Stevens et al. (2010) sobre modelización de la estructura de la materia, el de Neumann et al. (2013) sobre la noción de energía, los de Liu y Lesniak (2005) y Morell et al. (2017) sobre naturaleza y propiedades de la materia o el de Osborne et al., (2016) sobre argumentación científica. A pesar de las limitaciones propias de los datos transversales, este enfoque proporciona una proyección razonable sobre cómo los estudiantes podrían aprender como resultado de la instrucción y si establecen conexiones entre los distintos aspectos o dimensiones del tópico estudiado (Stevens et al., 2010).

Para desarrollar progresiones de aprendizaje de forma operativa se usan, comúnmente, los mapas de constructo (*construct map*), término acuñado por Wilson (2009) para referirse a una ordenación cuidadosa de niveles de rendimiento posible para una característica específica. Estos mapas son escalas ordinales o rúbricas que establecen niveles de competencia sobre un tópico determinado, e informan sobre cómo se desenvuelven los estudiantes.

Los mapas de constructo revelan una jerarquía en términos de la dificultad de los componentes cualitativamente diferentes del constructo (Black et al. 2011), donde un aspecto particular de la cognición es necesario para alcanzar el siguiente nivel, o al menos lo facilita (Carney et al., 2023). Esto no implica necesariamente un orden cronológico estricto, es decir, no está inevitablemente relacionado con una secuencia temporal de desarrollo cognitivo. Sandoval (2014) señala que los mapas de constructo ayudan a explicitar las hipótesis sobre cómo los estudiantes progresarían; sin embargo, se centran en desarrollar una estructura de evaluación para un constructo en particular y no pretenden guiar directamente las actividades en el aula. Las progresiones de aprendizaje sí tienen este propósito.

No existe una única forma de establecer una progresión de aprendizaje. Wilson (2012) propone el modelo de Rasch (1960) como metodología de abordaje. Dicho modelo proporciona un enfoque probabilístico mediante el que se estima, en función de la información procedente del conjunto de respuestas, la respuesta más probable de una persona a un determinado ítem. Ofrece la ventaja de interpretar medidas individuales y discretas en términos de un espectro continuo de rasgos subyacentes generales que abarcan a todas las personas y proporciona estimaciones de la dificultad relativa de las tareas. En el análisis de Rasch, se construye una escala única latente en unidades denominadas *logits* (Masters, 1982) que permite cuantificar comparativamente la dificultad de cada ítem y el desempeño de cada estudiante. Esto facilita el escalado de un conjunto de elementos de evaluación, como los niveles de una rúbrica para diferentes variables de progreso. Así, se puede investigar la progresión en el aprendizaje del alumnado sin necesidad de realizar pruebas pretest y postest.

No obstante, sus resultados no deben interpretarse como el único criterio de decisión en la secuenciación didáctica, ya que existen otros factores que influyen en la instrucción, como la lógica interna de

los contenidos enseñados o el uso de ciclos de aprendizaje, haciendo que este no sea un proceso lineal, sino iterativo (Wilson, 2012).

METODOLOGÍA

Instrumento de recogida de información

Se utilizó un cuestionario de respuesta abierta (tabla 1) con seis ítems asociados a los seis aspectos o variables de progreso del MIV, cuyo diseño y validación se describe en estudios previos (Gómiz-Aragón et al., 2024). La primera parte del cuestionario incluía los ítems sobre el funcionamiento del sistema inmunitario, en el contexto de la infección y de las vacunas. La segunda trataba sobre la vacunación, en concreto sobre la importancia colectiva de la vacunación y los argumentos empleados en el debate sociocientífico sobre su obligatoriedad.

Tabla 1.
Cuestionario para explorar el MIV del alumnado.

Parte	Aspecto tratado	Ítems
1	Funcionamiento del sistema inmunitario	I1. ¿Qué ocurre en nuestro cuerpo cuando nos contagiamos?
	Composición de las vacunas	I2. ¿De qué están hechas las vacunas?
	Mecanismo de acción de las vacunas	I3. ¿Es lo mismo vacunar que curar? Explica tu respuesta.
2	Importancia de la vacunación	I4. A la hora de controlar una enfermedad infecciosa, para cada una de las frases indica si estás de acuerdo o no y explica por qué. Habiéndome vacunado yo es suficiente, da igual lo que hagan los demás. Cuantas más personas estén vacunadas de una enfermedad mejor para todos. Da igual si la gente se vacuna o no, las enfermedades son un proceso natural y no podemos controlar su evolución.
	Limitaciones de las vacunas	I5. ¿Piensas que corremos algún riesgo al vacunarnos? ¿Por qué? Si crees que sí, indica cuáles.
	Cuestiones sociocientíficas sobre la vacunación	I6. Hay personas que no se vacunan o que deciden no vacunar a sus hijos e hijas. ¿Cuáles piensas que son sus razones? Coméntalas.

Participantes

En el estudio participaron un total de 207 estudiantes de 3.º de la ESO (14-15 años), 111 mujeres y 96 hombres. De ellos, 105 ya habían tratado el tema del sistema inmunitario en el currículum, mientras que 102 no. Se procuraba así disponer de una variedad de niveles de desempeño entre los participantes. Esto es fundamental en un estudio transversal como este, que pretende identificar hitos y bloques de niveles de desempeño que puedan definir una posible secuencia de dificultad en la progresión.

Procedimientos de análisis de la información

En el análisis de datos se combinaron procedimientos cualitativos y cuantitativos. Un análisis cualitativo previo permitió categorizar las respuestas de los estudiantes en seis escalas progresivas –una para cada ítem– de cuatro categorías. Cada categoría se corresponde con escalas ordinales de cuatro niveles

de dominio, donde cada nivel supone un avance en el dominio del MIV (tabla 2). Esta escala progresiva de niveles de dominio constituye el mapa de constructo de la investigación.

Tabla 2.
Mapa de constructo del MIV.

Variables de progreso (ítems)	Niveles de dominio			
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
I1. Funcionamiento del sistema inmunitario	Interpretación restringida a hechos observables	Descripción en términos bélicos sin explicar mecanismos	Descripción parcial: sin incluir la memoria inmunitaria	Descripción adecuada: incluyendo la memoria inmunitaria
I2. Composición de las vacunas	Descripción equívoca de la composición	Descripción de la composición basada en la dosis	Descripción parcial: vacunas no virulentas o antigénicas	Descripción adecuada: vacunas no virulentas y antigénicas
I3. Mecanismo de acción de las vacunas	Descripción equívoca del mecanismo de acción	Descripción como refuerzo del sistema inmunitario	Descripción parcial: activación del sistema inmunitario	Descripción adecuada: activación del sistema inmunitario y la memoria inmunitaria
I4. Importancia de la vacunación	Falta de reconocimiento de la importancia	Reconocimiento de la importancia individual	Reconocimiento de la importancia colectiva sin mencionar la inmunidad de grupo	Reconocimiento de la importancia colectiva justificando la inmunidad de grupo
I5. Limitaciones de las vacunas	Afirmación de la ausencia de riesgo	Reconocimiento de riesgos incorrectos o inespecíficos	Reconocimiento acertado de efectos secundarios	Reconocimiento acertado de riesgos y efectos secundarios
I6. Aspectos sociocientíficos	Desconocimiento de argumentos antivacunas	Reconocimiento de argumentos antivacunas incorrectos	Reconocimiento de razones antivacunas socioculturales o científicas	Reconocimiento de razones antivacunas socioculturales y científicas

Categorizadas las respuestas, se realizó un análisis cuantitativo aplicando el modelo de Rasch, cumpliendo las escalas construidas, las condiciones de unidimensionalidad (Gómiz-Aragón et al., 2024). Primero, se determinó la dificultad relativa de las distintas variables de progreso del MIV (PI.1). Luego se mapeó, mediante un diagrama de Wright, el desempeño global del alumnado y la dificultad de los niveles de dominio contemplados en el mapa de constructo (PI.2). Para esto se usaron los umbrales de Andrich, que determinan los puntos de tránsito entre cada nivel de la rúbrica y el siguiente: del 1 al 2 (umbral 2), del 2 al 3 (umbral 3) y del 3 al 4 (umbral 4), comparando la dificultad relativa de dichos niveles.

Todos los análisis probabilísticos se realizaron mediante el *software* Winsteps® v.4.4.7 (Linacre, 2022) aplicado a escalas politómicas ordinales.

El tercer objetivo de este estudio (PI.3) es identificar hitos de aprendizaje a partir de la secuencia de dificultad del conjunto de niveles de la rúbrica utilizada. En cada pregunta, los niveles de dominio pueden abarcar diferentes grados de dificultad y solaparse con los de otras preguntas. Sin embargo, es posible que niveles diferentes de preguntas distintas presenten una dificultad similar, lo que puede generar solapamientos, así como ciertas discontinuidades. El mapa de Wright proporciona la información necesaria para identificar estos patrones. Las discontinuidades en la dificultad de dos ideas consecutivas en la progresión, ya sea dentro del mismo ítem o entre ítems diferentes, se denominan «escalones» de aprendizaje, y sirven para definir etapas e hitos clave en las transiciones entre niveles. En este estudio, se consideró que hay un escalón cuando la diferencia entre dos umbrales supera los 0,5 *logits* (PI.4).

RESULTADOS

Para responder a la PI.1, la tabla 3 muestra las medidas de dificultad de cada variable de progreso de la rúbrica en unidades *logits*, procesadas mediante el modelo de Rasch. En este modelo, la escala de dificultad varía entre menos infinito y más infinito, aunque generalmente se encuentran en un rango de valores manejables, en este caso, aproximadamente de -1 a $+1$ (de menor a mayor dificultad). Debido a la estructura del modelo de Rasch, la suma de dificultades siempre debe ser cero, ya que representan valores relativos entre sí.

Tabla 3.
Medida de dificultad de las variables de progreso.

<i>Ítem o variable de progreso</i>	<i>Dificultad (logits)</i>	<i>Error</i>
I1. Funcionamiento del sistema inmunitario	0,95	0,10
I2. Composición de las vacunas	-0,27	0,09
I3. Mecanismo de acción de las vacunas	0,29	0,09
I4. Importancia de la vacunación	-0,02	0,09
I5. Limitaciones de las vacunas	0,02	0,09
I6. Aspectos sociocientíficos	-0,97	0,09

La comparación de los valores obtenidos permite detectar la dificultad relativa de las distintas variables de progreso. Se observa que la mayor dificultad la presenta la comprensión del funcionamiento del sistema inmunitario (I1), seguida del mecanismo de acción de las vacunas (I3). La más sencilla se corresponde con los aspectos sociocientíficos relacionados con el reconocimiento de las razones socioculturales y científicas antivacunas (I6), a la que sigue el tema de la composición de las vacunas (I2). En posiciones intermedias se sitúan las limitaciones y la importancia de la vacunación (I4 y I5).

Para dar respuesta a la PI.2, un estudio más detallado a través del mapa de Wright permite examinar la dificultad relativa de los niveles de dominio de las distintas variables. El mapa de Wright (figura 1) proporciona una imagen de conjunto que permite hacer comparaciones de la habilidad de un estudiante necesaria para alcanzar un determinado nivel. A la izquierda del eje aparece la distribución de medidas de desempeño global del alumnado en el cuestionario en puntuaciones *logits*, siendo mayor cuando más arriba esté situado el estudiante. Se puede observar que la distribución de puntuaciones se asemeja a una curva normal. A la derecha, se muestran los umbrales de Andrich correspondientes a saltos entre los diversos niveles de dominio, los cuales aumentan progresivamente de abajo hacia arriba. Si un estudiante se sitúa por encima de un determinado umbral, significa que su competencia en el constructo evaluado (en este caso el MIV) supera ese nivel y todos los que se encuentran por debajo.

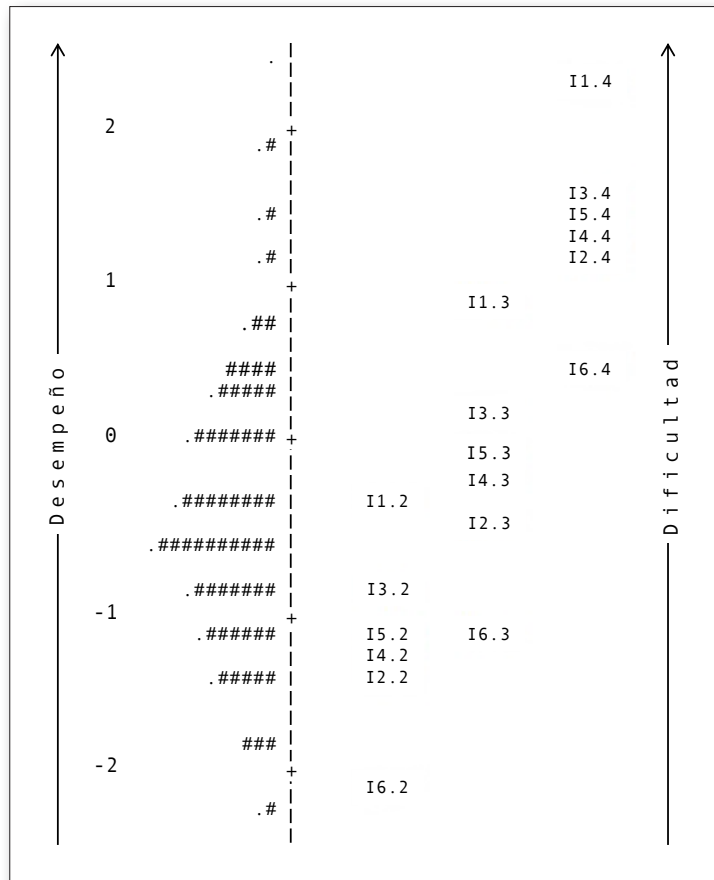


Fig. 1. Mapa de Wright usando los umbrales de Andrich como límites entre categorías. Símbolos empleados por el *software*: «.» indica de 1 a 3 personas; «#» indica 4 personas.

Un análisis detallado de la figura 1 revela algunos hechos importantes. Primero, para cada variable de progreso, los umbrales de Andrich están ordenados según lo esperado, estando suficientemente distanciados entre sí, lo que sugiere la adecuación del mapa de constructo definido mediante la rúbrica. Segundo, aparecen desfases en los umbrales de un mismo orden correspondientes a diferentes variables de progreso, como es el caso, por ejemplo, de los niveles I1.2 y I2.2. Tercero, en ocasiones, niveles de dominio de orden diferente para variables distintas ocupan posiciones semejantes en el mapa, como es el caso de I5.2 y I6.3 o de I1.2 y I4.3, respectivamente, lo que indica cierto grado de solapamiento entre variables. Cuarto, hay cuatro ocasiones en las que la distancia entre unos umbrales consecutivos es notablemente mayor que entre otros, lo que sugiere la existencia de escalones de aprendizaje. Es el caso de las separaciones entre I6.2 y I2.2, entre I3.2 y I2.3, entre I6.4 y I1.3, y entre I3.4 y I1.4.

De estos datos se desprende que el aprendizaje del MIV se inicia de manera diversificada, abordando distintos aspectos de manera casi simultánea, pero en profundidades variables. Además, se observa una progresión no lineal y que los estudiantes pueden avanzar en un aspecto del modelo mientras aún están formando ideas iniciales en otro. Tomando todo en consideración, la descripción de la progresión del aprendizaje del MIV se ha organizado en cinco etapas: base, inicio, desarrollo, consolidación y dominio del aprendizaje, separadas por cuatro escalones de aprendizaje (figura 2). Estos bloques integran niveles de dominio de diferentes variables de progreso y ayudan a definir hitos de aprendizaje a través de transiciones de parejas sucesivas (PI.3). Caracterizamos, a continuación, cada etapa (PI.4).

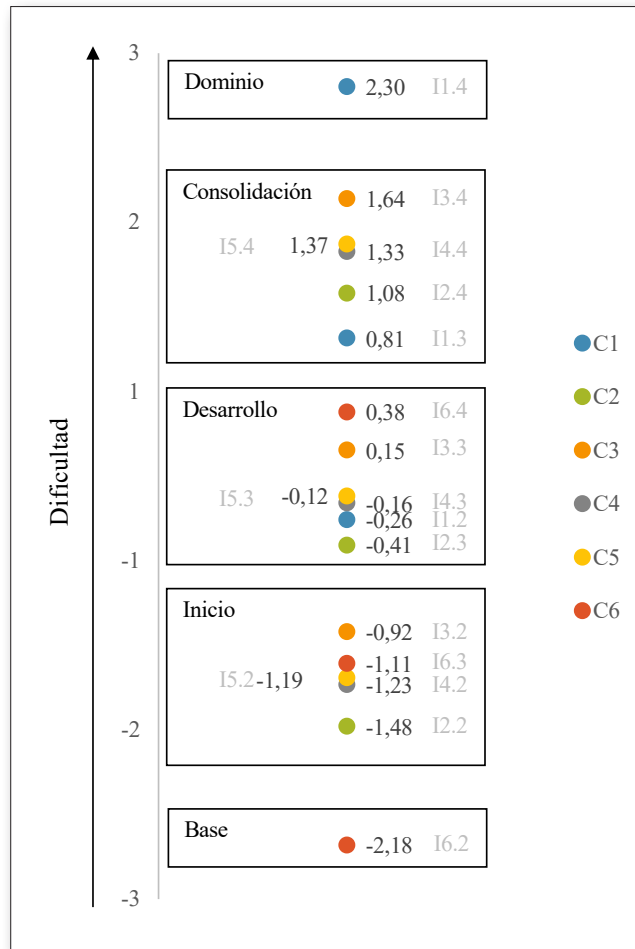


Fig. 2. Mapa de dificultad representando las cinco etapas de la progresión.

Base

En la etapa base de la progresión se sitúa el umbral I6.2, que implica pasar del desconocimiento sobre que algunas personas rechazan la vacunación a la asunción de que hay ciertas razones que motivan este posicionamiento, aunque en este estadio los estudiantes pueden no saber cuáles son o considerar motivos que no se corresponden con la realidad.

Inicio

En la etapa inicial suceden varios avances. Bajo el criterio de la dificultad, el primero corresponde al umbral I2.2, y se pasa de asumir que la composición de las vacunas está basada en patógenos a que esta no es virulenta, aunque esta propiedad se justifica por la dosis administrada, sin disociar el carácter antigénico de la virulencia. Le siguen los niveles de dominio I4.2 y I5.2, que se solapan con el I6.3. Esto implica considerar la relevancia de las vacunas, aunque inicialmente sin una comprensión profunda, o limitar la justificación de esta a su importancia individual, sin considerar su impacto en la salud colectiva. Esto se asumiría de manera sinérgica con el reconocimiento de riesgos asociados a las vacunas, aunque en este estadio del aprendizaje no se especifiquen o no sean ciertos. Además, se amplía la visión

sobre las cuestiones sociocientíficas, identificando algunas razones que podrían llevar a las personas a oponerse a la vacunación, considerando dilemas más complejos de índole científica o sociocultural. En esta etapa se incluye también un primer avance respecto al ítem I3, del que resulta la consideración de las vacunas como refuerzo del sistema inmunitario, en lugar de confundirlas con medicamentos, como los antibióticos, que destruyen microorganismos.

Desarrollo

La etapa de desarrollo comenzaría con un segundo avance respecto al ítem I2, consistente en comprender la no virulencia de las vacunas o en asumir su composición antigénica, aunque no se relacionan estas dos propiedades. A partir de aquí, los estudiantes se inician en el aprendizaje del funcionamiento del sistema inmunitario (I1.2), posiblemente estableciendo, en un principio, paralelismos con su propia experiencia vital y sus conocimientos previos. Este primer acercamiento al funcionamiento del sistema inmunitario ocurriría como respuesta a querer entender el proceso detrás de la enfermedad o de la necesidad de vacunarse (I4.3), y pasa por entender que el organismo tiene un papel activo ante la infección, aunque no se ofrezcan mecanismos explicativos (I5.3). En este punto de la progresión se refuerza la comprensión sobre la importancia y limitaciones de las vacunas, y se llega a justificar la importancia colectiva de las vacunas aludiendo a los contagios e identificando algunos de los riesgos de la vacunación.

Además, en esta etapa se alcanza el umbral I3.3, identificando que las vacunas interactúan con el organismo activando el sistema inmunitario. Un saber más sofisticado sobre cómo actúan las vacunas justificaría alcanzar un mayor conocimiento sobre cuestiones sociocientíficas (I6.4), ya que los conocimientos desarrollados sobre el MIV hasta este momento permitían identificar la naturaleza de los argumentos en contra de las vacunas, fundamentalmente razones científicas o socioculturales.

Consolidación

La etapa de consolidación implica el reconocimiento, al menos parcial, de los mecanismos inmunitarios (ítem I1), describiendo algunos elementos y mecanismos implicados en la respuesta inmunitaria. Esto permitiría superar los siguientes umbrales de aprendizaje. Por su dificultad, primero se consolidaría el conocimiento relativo al ítem I2, justificando que la activación del sistema inmunitario, sin causar enfermedad, se debe a la composición antigénica de las vacunas. A esto le seguiría el alcance de los umbrales I4.4 y I5.4. De este modo, los conocimientos adquiridos sobre el MIV permiten desarrollar una perspectiva crítica sobre las vacunas, considerando tanto sus beneficios –a través de la comprensión del concepto de «inmunidad de grupo», esencial para entender la importancia colectiva de la vacunación– como sus limitaciones, mediante la adquisición de herramientas para evaluar los riesgos asociados a las vacunas. Por último, se favorece la adquisición de un saber adecuado sobre el mecanismo de acción de las vacunas ajustado al modelo científico escolar (I3.4).

Dominio

En la etapa dominio, se supera el último escalón de dificultad en la progresión del aprendizaje del MIV, relativo al ítem I1, al incluir la memoria inmunitaria, lo que conduce a consolidar, sintetizar y apropiarse del MIV.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de Rasch revela, por un lado, que los saberes del alumnado sobre inmunidad y vacunas no son ideas aisladas, sino que se desarrollan de manera coordinada como partes de un mismo constructo, lo que concuerda con el grado de unidimensionalidad detectado en estudios anteriores (Gómez-Aragón et al., 2024). Parte de las ideas de los alumnos podría proceder de teorías implícitas (Pozo, 1993) y otras de saberes aprendidos. Desde esta perspectiva, el MIV parece servir de armazón para construir estructuras conceptuales complejas, partiendo de los conocimientos informales del alumnado, lo que está acorde con las teorías sobre progresión de aprendizaje (Todd y Kenyon, 2016). Esto implica que existe un conjunto de ideas ordenadas por un criterio de complejidad creciente que contribuiría a regular el proceso de progresión del aprendizaje del MIV. Además, los datos obtenidos parecen apuntar a que el dominio de ciertos aspectos del modelo es un paso necesario, o quizás facilitador, para alcanzar cierto nivel en otros, aunque esta progresión no es necesariamente lineal (Wilson, 2012). O sea, los estudiantes no tienen que dominar por completo un aspecto antes de avanzar en otros.

Por otro lado, y de manera en cierta forma paradójica, un mayor dominio de los aspectos sociocientíficos se relaciona con una mayor capacidad para abordar diversos elementos del modelo. Así, mientras que las variables conceptuales, como el funcionamiento inmunitario, son más complejas para los estudiantes, las variables sociales, como la importancia de la vacunación y los factores sociocientíficos, son más accesibles. Esto desafía la idea de que la alfabetización científica sea un requisito previo para abordar temas sociocientíficos, al igual que el hecho de que en España exista una percepción positiva hacia las vacunas y altos índices de vacunación (Lobera et al., 2019), a pesar de que la alfabetización científica se sitúa por debajo de la media de los países (OCDE, 2023). Recíprocamente, se observa también que los niveles más altos de comprensión de los aspectos sociocientíficos del MIV se alcanzan después de dominar los aspectos iniciales relacionados con el funcionamiento inmunitario y las vacunas. Esta interacción refleja una relación cíclica entre los modelos y el contexto a lo largo de la enseñanza. Los estudiantes conectan los conceptos con el contexto, lo que contribuye a dotar de significado a sus ideas (Gilbert et al., 2011) y que estas se transfieran a diferentes situaciones. Esto tiene implicaciones importantes, ya que el conocimiento sobre los aspectos más conceptuales del MIV puede influir en la capacidad de los estudiantes para considerar aspectos complejos en la toma de decisiones en contextos sanitarios, específicamente en relación con la vacunación (Uskola et al., 2018).

Según todo ello, la relación entre alfabetización científica y posicionamiento ante temas sociocientíficos no es lineal, sino circular y retroactiva, siendo siempre los contextos cotidianos los que sirven de base para aprendizajes racionales de más alto nivel. Tal como menciona Cañal (2004), el conocimiento cotidiano surge de la interacción con el entorno y las personas, y aunque suele ser superficial y acrítico, su interiorización puede resultar valiosa en algunos casos para la supervivencia y el desenvolvimiento personal, siendo particularmente efectiva si se genera ante escenarios emotivos. Es el caso de lo que pudo ocurrir, por ejemplo, en el período de pandemia en España, cuando el desarrollo de campañas informativas a toda la población, la confianza en el sistema sanitario (Pearson et al., 2021) y el dramatismo de las muertes por COVID-19 pudo impulsar opiniones favorables hacia la vacunación y actuaciones consecuentes con ello.

En este contexto, un interés inicial por temas sociocientíficos, junto a opiniones y predisposiciones al respecto generadas de manera informal, podría catalizar el aprendizaje de conceptos científicos en contextos formales. Y, por otra parte también, una mayor alfabetización científica permitiría un entendimiento más crítico de estos temas, lo que contribuiría a opiniones más sólidas basadas en visiones cada vez más sofisticadas. En este sentido, no conviene olvidar el papel fundamental que juegan las variables afectivas en este ciclo de transformación y refuerzo mutuo (Duit et al., 2008).

Estudios como este buscan establecer criterios para el diseño SEA basados en modelización, con el fin de hacer más fluidas las transiciones entre niveles y facilitar así la progresión del alumnado (Black et al., 2011). No obstante, la cronología de contenidos de las SEA no debe seguir necesariamente el orden determinado por la progresión de aprendizaje, descrita bajo un criterio de dificultad. Resultaría artificioso hablar, por ejemplo, de las limitaciones de las vacunas sin conocer su mecanismo de acción y sin hacer una reconstrucción del modelo del sistema inmunitario en sí mismo. Deben prevalecer otros criterios, como la relación lógica entre conceptos marcada por el modelo científico.

La progresión del MIV descrita ratifica que el proceso de modelización no es lineal, sino que presenta un carácter cíclico. Así, teniendo en cuenta que los ítems 1, 2 y 3 podrían estar relacionados con el aprendizaje del MIV, mientras que los ítems 4, 5 y 6 lo estarían con su aplicación, los resultados obtenidos sugieren que la aplicación de los modelos favorece su desarrollo, implicando habilidades propias del proceso de modelización (Couso, 2020). Debemos entender, por tanto, que la construcción y aplicación de modelos pueden ser tareas coordinadas (Schwarz et al., 2012) y no tanto de carácter secuencial. Esto no resta importancia a la trayectoria de dificultad descrita, la cual permite delimitar posibles hitos de progresión en el aprendizaje.

A continuación, se concretan estrategias para superar los hitos identificados en la progresión del aprendizaje del MIV.

El primer hito involucra a los niveles iniciales de los aspectos sobre el debate sociocientífico acerca de las vacunas y su composición (I6.2-I2.2). Esto refuerza la idea de que, al presentar un contexto conocido, se pueden introducir conceptos que pasarían a formar parte del modelo en cuestión. Esta hipótesis se basa en la idea de que el contexto tiene potencial suficiente para contribuir a la apropiación del MIV y a la construcción tanto de saberes científicos como de aquellos propios del contexto (Sanmartí et al., 2011). Así, el uso repetido del contexto en el aula y las prácticas de modelización podrían llevar a superar las dificultades de aprendizaje y a una mejor comprensión del MIV.

El segundo hito conlleva un salto desde el primer nivel de dominio del mecanismo de acción de las vacunas hasta un nivel de aproximación parcial en relación con su composición (I3.2-I2.3), lo que exige relacionar las vacunas con el sistema inmunitario, una idea menos accesible cognitivamente. Aquí, parece oportuno el uso de analogías que propicien un acercamiento a conceptos abstractos. Acorde con las investigaciones de Gilbert y Justi (2016), la participación de los estudiantes en la formulación y elaboración de analogías contribuye al proceso de generación de modelos.

El tercer hito se supera tras alcanzar el máximo nivel de aproximación al modelo en el debate sociocientífico de la vacunación y antes de manejar un nivel de aproximación parcial sobre el funcionamiento del sistema inmunitario (I6.4-I1.3). En este punto, parece necesario planificar el andamiaje docente. Dado que existe una reasignación continua de significado en la construcción del modelo, es fundamental un enfoque comunicativo en el que prime el diálogo en el aula (Scott et al. 2006), dado que el docente debe recibir información sobre las interpretaciones y reinterpretaciones de los estudiantes. No obstante, se considera que cualquier secuencia debe incluir tanto enfoques comunicativos autoritarios como dialógicos para lograr la comprensión significativa del conocimiento conceptual. La tensión entre estos discursos se logra superar mediante la dimensión interactiva de la comunicación docente-estudiante.

El último hito de aprendizaje se sitúa en los niveles más complejos de los aspectos sobre el funcionamiento de las vacunas y del sistema inmunitario (I3.4-I1.4). Teniendo en cuenta el carácter cíclico de los procesos de modelización, la aplicación del modelo de inmunidad en el contexto de la vacunación contribuiría al saber sobre el funcionamiento del sistema inmunitario. Atendiendo a esto, la SEA debería procurar que la aplicación del MIV contribuyese al aprendizaje del propio modelo.

LIMITACIONES Y PERSPECTIVAS DE LA INVESTIGACIÓN

Si bien los resultados del estudio proporcionan información de interés en torno a la progresión del aprendizaje del MIV, existen limitaciones que considerar. Una de ellas es tener en cuenta que la descripción de la progresión del aprendizaje del MIV –igual que de cualquier otro modelo científico– debe entenderse como un proceso flexible, que puede ser diferente en otros contextos distintos al de este estudio, donde se empleen otros instrumentos para la evaluación que se hace de sus ideas (Wilson, 2012). Entre otros aspectos, hemos de considerar el modelo de referencia usado, que se corresponde con el nivel 4 de cada una de las variables de progreso (tabla 2).

Otra limitación es que los resultados están basados únicamente en lo que los estudiantes escriben (Bamberger y Davis, 2013). Esto podría influir en los resultados, ya que las respuestas escritas pueden no reflejar con exactitud el modelo que maneja cada estudiante, puesto que, en general, el alumnado de la ESO tiene dificultades en la expresión escrita (Archila, 2015), entre otros, tiende a simplificar la complejidad de la información. En coherencia con el estudio de De Andrade et al. (2019), se ha observado que los participantes se han centrado en un conjunto limitado de causas o han construido sus explicaciones con información fragmentada o ideas de sentido común.

Las conclusiones de este estudio deben servir para establecer intervenciones que ayuden a superar las dificultades detectadas. De este modo, el diseño de la SEA ha de enfocarse hacia los actos discursivos propios de la modelización y hacia los recursos de modelización (Oliva et al., 2022), considerando qué aspectos suponen mayores obstáculos para la apropiación del modelo.

La investigación podría ampliarse a niveles educativos superiores e inferiores, analizando la progresión del aprendizaje de los MIV más completos/complejos, y explorar también la progresión del aprendizaje del modelo en estudiantes de etapas educativas tempranas.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo es parte del proyecto PID2022-136353NB-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER/UE.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akmal, M., Lateef, R. S., Wolyniak, M. J. y Orenstein, W. (2024). Evaluating the Impact of Educational Videos on Vaccine Science Knowledge Among Virginia High School Students. *American Journal of Health Education*, 55(3), 220-228. <https://doi.org/10.1080/19325037.2023.2295553>
- Anderson, A. E., Justement, L. B. y Bruns, H. A. (2020). Using real-world examples of the COVID-19 pandemic to increase student confidence in their scientific literacy skills. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 48(6), 678-684. <https://doi.org/10.1002/bmb.21474>
- Archila, P. A. (2015). Uso de conectores y vocabulario espontáneo en la argumentación escrita: aportes a la alfabetización científica. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 12(3), 402-418. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i3.02
- Armario, M., Jiménez-Tenorio, N. y Oliva, J.M. (2021) La interpretación del fenómeno de las mareas como foco para el diseño de una propuesta didáctica en formación inicial de maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(3), 3802. http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3802
- Bamberger, Y. M. y Davis, E. A. (2013). Middle-School Science Students' Scientific Modelling Performances Across Content Areas and Within a Learning Progression. *International Journal of Science Education*, 35(2), 213-238. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.624133>

- Bellver Ribelles, V., Solaz-Portolés, J. J. y Sanjosé López, V. (2024). Creencias conspirativas sobre vacunas y algunos factores que influyen sobre ellas: un estudio con alumnado de educación secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 21(2), 2101. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i2.2101
- Beniermann, A., Mecklenburg, L. y Upmeier zu Belzen, A. (2021). Reasoning on Controversial Science Issues in Science Education and Science Communication. *Education Sciences*, 11(9), 522. <https://doi.org/10.3390/educsci11090522>
- Black, P., Wilson, M. y Yao, S.-Y. (2011). Road Maps for Learning: A Guide to the Navigation of Learning Progressions. *Measurement: Interdisciplinary Research & Perspective*, 9(2-3), 71-123. <https://doi.org/10.1080/15366367.2011.591654>
- Cañal, P. (2004). La alfabetización científica: ¿necesidad o utopía? *Culture and Education*, 16(3), 245-257. <https://doi.org/10.1174/1135640042360951>
- Carney, M. B., Smith, E. y Hughes, G. (2023). Construct maps and item frameworks: an example in proportional reasoning. *Mathematics Education Research Journal*, 35(4), 849-877. <https://doi.org/10.1007/s13394-022-00415-z>
- Cetinkaya, E. y Saribas, D. (2023). Facilitating Middle School Students' Reasoning About Vaccines. *Science & Education*, 32(2), 361-380. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00318-8>
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053. <https://doi.org/10.1080/095006900416901>
- Corcoran, T. B., Mosher, F. A. y Rogat, A. (2009). *Learning progressions in science: An evidence-based approach to reform*. Consortium for Policy Research in Education.
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En D. Couso, M. R. Jiménez-Liso, C. Refojo, y J. A., Sacristán (Coords.), *Enseñando Ciencia con Ciencia* (pp. 63-74). Penguin Random House.
- de Andrade, V., Freire, S. y Baptista, M. (2019). Constructing Scientific Explanations: a System of Analysis for Students' Explanations. *Research in Science Education*, 49(3), 787-807. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9648-9>
- Duit, R., Treagust, D. F. y Widodo, A. (2008). Teaching science for conceptual change: Theory and practice. En S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 629-646). Routledge.
- Duncan, R. G. y Gotwals, A. W. (2015). A Tale of Two Progressions: On the Benefits of Careful Comparisons. *Science Education*, 99(3), 410-416. <https://doi.org/10.1002/sc.21167>
- Duncan, R. G. y Hmelo Silver, C. E. (2009). Learning progressions: Aligning curriculum, instruction, and assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 606-609. <https://doi.org/10.1002/tea.20316>
- Duschl, R., Maeng, S. y Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: a review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123-182. <https://doi.org/10.1080/03057267.2011.604476>
- García-Carmona, A. (2021). Learning about the nature of science through the critical and reflective reading of news on the COVID-19 pandemic. *Cultural Studies of Science Education*, 16(4), 1015-1028. <https://doi.org/10.1007/s11422-021-10092-2>
- Gilbert, J. K., Bulte, A. M. W. y Pilot, A. (2011). Concept Development and Transfer in Context Based Science Education. *International Journal of Science Education*, 33(6), 817-837. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.493185>
- Gilbert, J. K. y Justi, R. (2016). Analogies in Modelling-Based Teaching and Learning. En J. K. Gilbert y R. Justi (Eds.), *Modelling-based Teaching in Science Education* (Vol. 9, pp. 149-169). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3_8

- Gómiz-Aragón, M., Aragón-Méndez, M. M. y Oliva, J. M. (2022). Los modelos de inmunidad y vacunas en los libros de texto de la enseñanza obligatoria. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 42, 155-174. <https://doi.org/10.7203/dces.42.2189>
- Gómiz-Aragón, M., Aragón-Méndez, M. M. y Oliva, J. M. (2024). Saberes del alumnado de secundaria sobre el modelo de inmunidad y vacunas. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 55, 100-116. <https://doi.org/10.17227/ted.num55-18761>
- Hadenfeldt, J. C., Liu, X. y Neumann, K. (2014). Framing students' progression in understanding matter: a review of previous research. *Studies in Science Education*, 50(2), 181-208. <https://doi.org/10.1080/03057267.2014.945829>
- Jin, H., Mikeska, J. N., Hokayem, H. y Mavronikolas, E. (2019). Toward coherence in curriculum, instruction, and assessment: A review of learning progression literature. *Science Education*, 103(5), 1206-1234. <https://doi.org/10.1002/sce.21525>
- Justi, R. y Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387. <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Linacre, J. M. (2022). *Winsteps® Rasch measurement computer program* (Version 5.2.2). <https://www.winsteps.com/>
- Liu, X. y Lesniak, K. M. (2005). Students' progression of understanding the matter concept from elementary to high school. *Science Education*, 89(3), 433-450. <https://doi.org/10.1002/sce.20056>
- Lobera, J., Hornsey, M. y Díaz-Catalán, C. (2019). Los factores que influyen en la reticencia a la vacunación en España. En J. Lobera y C. Torres-Albero (Eds.), *Percepción social de la Ciencia y la Tecnología* (pp. 13-35). Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).
- Manzoni de Almeida, D., Marzin-Janvier, P. y Frateschi Trivelato, S. L. (2016). Analysis of epistemic practices in reports of higher education students groups in carrying out the inquiry-based activity of immunology. *Investigações em Ensino de Ciências*, 21(2), 105-120. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2016v21n2p105>
- Masters, G. N. (1982). A Rasch model for partial credit scoring. *Psychometrika*, 47(2), 149-174. <https://doi.org/10.1007/BF02296272>
- Merritt, J. y Krajcik, J. (24-26 de junio de 2009). Developing a Calibrated Progress Variable for the Particle Nature of Matter. *Learning Progressions in Science Conference*, Iowa City, IA.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2022). Real Decreto 117/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, 76, 31 de marzo de 2022. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217/con>
- Momsen, J., Speth, E. B., Wyse, S. y Long, T. (2022). Using systems and systems thinking to unify biology education. *CBE —Life Sciences Education*, 21(3), 1-11. <https://doi.org/10.1187/cbe.21-05-0118>
- Morell, L., Collier, T., Black, P. y Wilson, M. (2017). A construct-modeling approach to develop a learning progression of how students understand the structure of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(8), 1024-1048. <https://doi.org/10.1002/tea.21397>
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J. y Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 162-188. <https://doi.org/10.1002/tea.21061>
- Nicolaou, Chr. Th. y Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52-73. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>

- OECD (2023), *PISA 2022 Results (Volume II): Learning During – and From – Disruption*, PISA, OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/a97db61c-en>.
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 37(2), 5-24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Oliva, J. M., Aragón-Méndez, M. M., Aragón, L. y Jiménez-Tenorio, N. (Eds.). (2022). *Modelizar en las clases de ciencias: Actividades y recursos útiles para la enseñanza y aprendizaje con modelos*. Octaedro.
- Osborne, J. F., Henderson, J. B., MacPherson, A., Szu, E., Wild, A. y Yao, S.-Y. (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>
- Pearson, N., Atkinson, S. y Jackson, C. (2021). *A Global health monitor 2021. A Global Advisor survey*. Ipsos. <https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/news/documents/2021-10/Global-health-service-monitor-2021-ipsos.pdf>
- Pedraza, O., Barrutia, O. y Díez, J. R. (2023). Modelo Científico de la Nutrición Vegetal: análisis epistemológico y propuesta de progresión de aprendizaje. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(3), 3102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3102
- Plummer, J. D., Palma, C., Rubin, K., Flarend, A., Ong, Y. S., Ghent, C., Gleason, T., McDonald, S., Botzer, B. y Furman, T. (2020). Evaluating a learning progression for the solar system: Progress along gravity and dynamical properties dimensions. *Science Education*, 104(3), 530-554. <https://doi.org/10.1002/sc.21567>
- Pozo, J. I. (1993). Psicología y Didáctica de las Ciencias de la naturaleza: ¿concepciones alternativas? *Infancia y Aprendizaje*, (62-63), 187-204. <https://doi.org/10.1080/02103702.1993.10822381>
- Pozo, J. I. y Gómez-Crespo, M. Á. (1998). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Ediciones Morata.
- Prieto Ruz, T., Blanco López, Á. y Brero Peinado, V.-B. (2002). La progresión en el aprendizaje de dominios específicos: una propuesta para la investigación. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(1), 3-14. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3976>
- Puig, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2022). The Integration of Critical Thinking in Biology and Environmental Education. En A. Puig y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Contributions and Further Directions* (pp. 269-276). https://doi.org/10.1007/978-3-030-92006-7_15
- Rasch, G. (1960). *Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests*. Danmarks Paedagogiske Institut.
- Rodríguez-Mora, F., Cebrián-Robles, D. y Blanco-López, Á. (2022). An Assessment Using Rubrics and the Rasch Model of 14/15-Year-Old Students' Difficulties in Arguing About Bottled Water Consumption. *Research in Science Education*, 52(4), 1075-1091. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09985-z>
- Sandoval, W. (2014). Conjecture Mapping: An Approach to Systematic Educational Design Research. *Journal of the Learning Sciences*, 23(1), 18-36. <https://doi.org/10.1080/10508406.2013.778204>
- Sanmartí, N., Burgoa, B. y Nuño, T. (2011). ¿Por qué el alumnado tiene dificultad para utilizar sus conocimientos científicos escolares en situaciones cotidianas? *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 27, 62-69. <http://hdl.handle.net/11162/24541>
- Schwarz, C., Reiser, B. J., Acher, A., Kenyon, L. y Fortus, D. (2012). Models: Challenges in Defining a Learning Progression for Scientific Modeling. En A. M. H. Seel (Ed.), *Learning Progressions in Science* (pp. 101-137). SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-824-7_6

- Scott, E. E., Wenderoth, M. P. y Doherty, J. H. (2020). Design-Based Research: A Methodology to Extend and Enrich Biology Education Research. *CBE —Life Sciences Education*, 19(3), es11. <https://doi.org/10.1187/cbe.19-11-0245>
- Shea, N. A. y Duncan, R. G. (2013). From Theory to Data: The Process of Refining Learning Progressions. *Journal of the Learning Sciences*, 22(1), 7-32. <https://doi.org/10.1080/10508406.2012.691924>
- Siani, M., Dubovi, I., Borushko, A. y Haskel-Ittah, M. (2024). Teaching immunology in the 21st century: a scoping review of emerging challenges and strategies. *International Journal of Science Education*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2300380>
- Scott, P. H., Mortimer, E. F. y Aguiar, O. G. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90(4), 605-631. <https://doi.org/10.1002/sci.20131>
- Stevens, S. Y., Delgado, C. y Krajcik, J. S. (2010). Developing a hypothetical multi dimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(6), 687-715. <https://doi.org/10.1002/tea.20324>
- Todd, A. y Kenyon, L. (2016). Empirical refinements of a molecular genetics learning progression: The molecular constructs. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(9), 1385-1418. <https://doi.org/10.1002/tea.21262>
- Upahi, J. E. y Ramnarain, U. (2022). Evidence of Foundational Knowledge and Conjectural Pathways in Science Learning Progressions. *Science & Education*, 31(1), 55-92. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00226-x>
- Uskola, A., Burgoa, B. y Maguregi, G. (2018). Influencia de la ayuda del profesorado en la construcción del modelo de sistema inmunológico y su aplicación en las tomas de decisión. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 15(3), 1-18, 3604. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3604
- Uskola, A., Burgoa, B. y Maguregi, G. (2021). Integración del conocimiento científico y de la capacidad argumentativa en tomas de decisión sobre temas sociocientíficos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1-21, 1101. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1101
- Wilson, M. (2009). Measuring progressions: Assessment structures underlying a learning progression. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 716-730. <https://doi.org/10.1002/tea.20318>
- Wilson, M. (2012). Responding To A Challenge That Learning Progressions Pose To Measurement Practice. En A. C. Alonzo y A. W. Gotwals (Eds.), *Learning Progressions in Science* (pp. 317-343). SensePublishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-824-7_14
- Wilson, M. (2014). Consideraciones para la medición de las progresiones de aprendizaje en donde el aprendizaje objetivo se representa como un ciclo. *Pensamiento Educativo: Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 51(1), 156-174. <https://doi.org/10.7764/PEL.51.1.2014.24>
- Wilson, M. (2023). *Constructing Measures. An Item Response Modeling Approach*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003286929>

Learning Progression of the Immunity and Vaccines Model in Secondary Education

Marta Gómez-Aragón, María del Mar Aragón-Méndez, José María Oliva
Departamento de Didáctica, Universidad de Cádiz, Cádiz, España.
marta.gomez@uca.es, mariadelmar.aragon@uca.es, josemaria.oliva@uca.es

The study explores issues related to the learning progression of the immunity and vaccines model (IVM), such as the difficulty of progression variables, their variation across domain levels, and the integration of these levels to identify learning milestones.

Learning progression is understood as the development of increasingly complex sequences of thought associated with the construction of a concept that integrates ideas and attitudes about an underlying attribute, such as a scientific model. This process is linked to modelling, defined as the evolution of personal models into others that are more explicit, complex and aligned with scientific knowledge.

There are different ways to define learning progressions. The Rasch model is one of the most relevant approaches. This probabilistic model estimates responses based on questionnaire data, measuring latent traits on a continuous scale of *logits*. This approach enables the interpretation of both the students' performance and the relative difficulty of tasks, scaling difficulty levels for different progression variables.

The study utilized an open-response questionnaire with six items on the IVM, which had been previously designed and validated. The questionnaire covered two areas: the functioning of the immune system and vaccines, and the socioscientific importance of vaccination. A total of 207 third-year secondary education students (aged 14-15), with and without prior training on the immune system, participated in the study. Responses were categorized into six progressive scales, and the Rasch model was applied to assess the relative difficulty of variables and map students' performance at different mastery levels.

The results of the analysis revealed discontinuities in difficulty between levels, allowing for the identification of key learning milestones in the learning progression. The findings showed that IVM learning follows a non-linear progression, with students advancing in one aspect of the model while still forming initial ideas in another.

Five learning stages were identified, separated by difficulty thresholds, with advances in different variables as well as clear transitions. The analysis indicates that students' knowledge is not fragmented but develops as a unified construct, aligning with previous research highlighting the one-dimensionality of knowledge in these topics. The results also suggest that learning about immunity and vaccines progresses from more accessible areas (socioscientific aspects) to more complex ones (the functioning of the immune system). Scientific literacy is not a prerequisite for addressing socioscientific issues, and greater mastery of these social aspects can facilitate the understanding of scientific concepts.

The study proposes strategies such as using familiar contexts and analogies to overcome learning difficulties. It also suggests that the modelling process should be cyclical, enabling students to review and adjust their models as they acquire new knowledge.



Trayectoria hipotética de aprendizaje sobre la inferencia lógica negación del antecedente

A Hypothetical Learning Trajectory on the Logical Inference Called Denial of Antecedent

Juan Gabriel Herrera Alva

Universidad Autónoma Metropolitana campus Cuajimalpa, Ciudad de México, México.
jherrera@cua.uam.mx

Arturo Rodríguez Espinosa

Tecnológico Nacional de México campus Puebla, Puebla, México.
arturo.rodriguez@puebla.tecnm.mx

RESUMEN • Se reportan los resultados obtenidos sobre cómo el diseño y la implementación de una trayectoria hipotética de aprendizaje (THA) pueden fomentar un cambio conceptual sobre un modo de inferencia no válido frecuentemente utilizado por estudiantes universitarios, la inferencia negación del antecedente en un contexto matemático. La THA se sitúa en el tema de las series infinitas y está sustentada en el modelo de inferencias lógicas, el conflicto cognitivo y el cambio conceptual, entre otros elementos teóricos relevantes. Su implementación se enmarca en las intervenciones en el aula dirigida a problemas que son claves y persistentes. La orquestación de estos elementos teóricos bajo un marco metodológico basado en el diseño muestra avances en los razonamientos deductivos de los estudiantes examinados.

PALABRAS CLAVE: Trayectoria hipotética de aprendizaje; Intervenciones en el aula; Cambio conceptual; Inferencia negación del antecedente; Investigación basada en diseño.

ABSTRACT • This paper presents the findings on how the design and implementation of a hypothetical learning trajectory (HLT) can promote a conceptual change about an invalid mode of inference frequently used by university students, the denial of antecedent inference. The HLT is situated within the study of the topic of infinite series, and it is designed following the model of logical inferences, cognitive conflict and conceptual change, among other relevant theoretical elements. The HLT implementation is based on the framework of classroom interventions addressing key and persistent problems. The orchestration of these theoretical elements under a design-based methodological framework shows advances in the deductive reasoning of the students examined.

KEYWORDS: Hypothetical learning trajectory; Classroom-based interventions; Conceptual change; Denial of the antecedent inference; Design-based research.

Recepción: septiembre 2023 • Aceptación: diciembre 2024 • Publicación: marzo 2025

Herrera Alva, J. G. y Rodríguez Espinosa, A. (2025). Trayectoria hipotética de aprendizaje sobre la inferencia lógica negación del antecedente. *Enseñanza de las Ciencias*, 43(1), 119-138. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.6046>

INTRODUCCIÓN

El razonamiento deductivo es un proceso cognitivo que se utiliza para la demostración de teoremas en matemáticas. Según Duval (2004), este tipo de razonamiento consiste en realizar inferencias lógicamente válidas partiendo de proposiciones que se toman como premisas, mediadas por terceros enunciados y las reglas de inferencia; de esta manera se obtiene la deducción de otra proposición. Esta actividad es habitual en los estudiantes de ciencias; de modo que resulta indispensable realizar inferencias lógicas de manera correcta. No obstante, varias investigaciones han evidenciado dificultades que los estudiantes enfrentan al realizarlas (Epp, 2003; Durand-Guerrier, 2003; Stylianides et al., 2004; Evans et al., 2007; Inglis y Simpson, 2008; Camacho et al., 2014; Noya y Adúriz-Bravo, 2023). Un factor común en estos reportes es la dificultad que encierran las negaciones al realizar una inferencia.

De manera abstracta, a partir de una proposición en la forma condicional $p \rightarrow q$ (regla o premisa mayor), hay cuatro maneras comunes de realizar una inferencia lógica, dos válidas, *modus ponens* ($p \rightarrow q$) y *modus tollens* ($\neg q \rightarrow \neg p$) y dos inválidas, negación del antecedente ($\neg p \rightarrow \neg q$) y afirmación del consecuente ($q \rightarrow p$). En particular, se ha identificado que la inferencia NA, también conocida como implicación en forma negativa, es un tipo de razonamiento realizado y aceptado frecuentemente. Aunque la implicación solo sea válida en una dirección (\Rightarrow), se tiende a negar la premisa y su conclusión, lo que lleva a deducciones erróneas. Por ejemplo, en una investigación sobre la comprensión del concepto de sucesión numérica, Bajo-Benito et al. (2021) evidenciaron un uso incorrecto de la inferencia NA a partir de la afirmación: «si una expresión matemática cumple con las condiciones para ser una progresión aritmética o una progresión geométrica, entonces se verifica que dichas expresiones matemáticas son sucesiones numéricas», algunos estudiantes dedujeron que si las condiciones para ser una progresión aritmética o una geométrica no se satisfacen, entonces esas expresiones no representaban sucesiones numéricas. Por otra parte, Noya y Adúriz-Bravo (2023) reportaron las dificultades que tuvieron 20 estudiantes de Física y Matemáticas en actividades que correspondían a la inferencia NA en un contexto matemático. Asimismo, Evans et al. (2007) mostró que, alrededor del 47 % de una población de 120 participantes tuvieron dificultades con la inferencia NA en un contexto abstracto.

Algunos de estos autores también han discutido posibles causas sobre dificultades al realizar inferencias lógicas; por ejemplo, Epp (2003) sugiere que, al razonar en el lenguaje matemático, donde la lógica es rígida, se usa el razonamiento del lenguaje cotidiano, el cual es flexible. Por ejemplo, se interpreta un condicional «si» o «solo si» como un «si y solo si», lo cual hace válida a la inferencia NA, lo que genera una fuente de dificultad. Asimismo, Stylianides et al. (2004) y Durand-Guerrier (2003) sugieren que el tipo de contexto en el que se ubica una tarea de razonamiento lógico puede influir al realizar una inferencia.

Por otra parte, Noya y Adúriz-Bravo (2023) consideran que la enseñanza tradicional de la lógica y la educación matemática han prestado poca atención a la inferencia NA. Justifican esta afirmación al abordar diferentes esquemas inferenciales, como la deducción, la inducción y la abducción, subrayando la importancia de esta última como una tercera vía de razonamiento. Explican que, en contraste con la inferencia NA, la abducción permite generar hipótesis plausibles para explicar fenómenos observados, aunque sin ofrecer certeza absoluta, lo que le confiere un carácter constructivo. En palabras de Noya y Adúriz-Bravo (2023), «la falacia abductiva tiene un carácter constructivo que le confiere fuerza, no siendo este el caso de la falacia de negación del antecedente, y de allí tal vez proviene el escaso tratamiento de esta última en la educación matemática» (p. 36).

Para atender a la problemática de la inferencia NA y contribuir al desarrollo de intervenciones educativas que vinculen la teoría con la práctica, aportando así elementos valiosos al limitado estudio de esta inferencia en el contexto escolar universitario, este estudio emplea la investigación basada en el diseño (IBD) siguiendo las directrices de Gravemeijer (2016). Asimismo, se recurre a las trayecto-

rias hipotéticas de aprendizaje (Simon y Tzur, 2004) que de acuerdo con Bakker y Van Eerde (2015) son un instrumento de diseño de investigación que ha resultado útil durante el desarrollo de la IBD. Recientemente, las trayectorias hipotéticas de aprendizaje han sido utilizadas en diversas áreas de la educación matemática como una herramienta de enseñanza y de investigación que proporciona un marco explicativo que permite analizar el desarrollo de los procesos de aprendizaje de un sujeto, por ejemplo (Cárcamo et al., 2021; Ivars et al., 2020; Bakker y Van Eerde, 2015).

La pregunta de investigación que se plantea es: ¿cómo puede el diseño de una trayectoria hipotética de aprendizaje fomentar un cambio favorable en el razonamiento deductivo de los estudiantes universitarios de cálculo que aceptan incorrectamente la inferencia NA? Los objetivos que guían la investigación son:

1. Implementar un marco didáctico adecuado para una intervención en el aula centrada en el estudio de la inferencia NA mediante una trayectoria hipotética de aprendizaje.
2. Integrar elementos teóricos en la trayectoria hipotética de aprendizaje como situaciones de conflicto cognitivo (Zazkis y Chernoff, 2008) y cambio conceptual (Vosniadou y Verschaffel, 2004), así como el modelo de inferencias lógicas (Inglis y Simpson, 2008), que promuevan la comprensión de la inferencia NA.
3. Analizar el cambio conceptual en la comprensión de la inferencia NA a partir de los conocimientos previos del estudiante y su evolución durante la intervención en el aula.
4. Evaluar la efectividad de la trayectoria hipotética de aprendizaje en términos del cambio conceptual acerca de la inferencia NA.

MARCO TEÓRICO

Es esta sección se describen los elementos o constructos teóricos incorporados en la investigación.

La investigación basada en el diseño

De acuerdo con Gravemeijer (2016), la investigación basada en diseño (IBD) es un enfoque metodológico para desarrollar y evaluar innovaciones curriculares. Se caracteriza por ser un proceso iterativo, es decir, implica un proceso por ciclos de investigación en los que se diseñan (fase de preparación del experimento), se implementan (fase de enseñanza) y se evalúan (fase de análisis retrospectivo) las intervenciones educativas con el propósito de refinar el experimento educativo, haciendo ajustes y mejoras continuas para su mayor efectividad. La IBD busca generar teorías locales que expliquen cómo aprenden los estudiantes y cómo mejorar este proceso a través del diseño de actividades centradas en resolver problemas educativos específicos, alineando la teoría con la práctica en el aula mediante la colaboración entre investigadores y educadores.

Las intervenciones promueven la participación activa de los estudiantes y pueden ser adaptadas a contextos específicos dependiendo de las necesidades de los educandos.

El modelo de inferencias lógicas

Para explorar el razonamiento deductivo de los sujetos, los investigadores en el razonamiento lógico recurren a los cuatro modos inferenciales mencionados previamente y que se resumen en la tabla 1. En esta investigación se hará referencia a esta tabla como el modelo de inferencias lógicas. Este modelo se utiliza para fundamentar el diseño de la THA y para el análisis de los resultados.

Tabla 1.
Modelo de inferencias lógicas (Inglis y Simpson, 2008)

<i>Inferencia</i>	<i>Modus ponens (MP)</i>	<i>Modus tollens (MT)</i>	<i>Negación del antecedente (NA)</i>	<i>Afirmación de consecuente (AC)</i>
Válida	$p \rightarrow q$	$(\neg q \rightarrow \neg p)$	-	-
No válida	-	-	$(\neg p \rightarrow \neg q)$	$(q \rightarrow p)$

Las inferencias pueden realizarse en contextos diferentes al matemático, por ejemplo, en el contexto de la vida cotidiana o en contextos abstractos puros (en adelante abstractos), los cuales se caracterizan por símbolos carentes de significado.

Trayectoria hipotética de aprendizaje

Una trayectoria hipotética de aprendizaje (THA) es una herramienta pedagógica constructivista que incluye: (1) un objetivo de aprendizaje de los estudiantes, (2) un conjunto de tareas matemáticas para promover en los estudiantes el logro del objetivo indicado y (3) las hipótesis sobre el proceso de aprendizaje de los estudiantes. Simon y Tzur (2004) propusieron un mecanismo de reflexión entre la actividad (las tareas propuestas por el profesor y las metas que se propone el estudiante para resolver las tareas) y su efecto en el estudiante (el efecto de la actividad, consciente o inconsciente, como el desarrollo de patrones o relaciones entre los objetos matemáticos). Este elemento de reflexión actividad-efecto permite explicar cómo funciona el proceso de aprendizaje hipotético. De esta manera, los puntos (2) y (3) quedan mediados por mecanismos de actividad-efecto. Con estos elementos es posible ofrecer un relato racional explicativo basado en la evidencia de cómo las tareas matemáticas que forman parte de la THA apoyan el proceso de aprendizaje.

Conflicto cognitivo y cambio conceptual

Un conflicto cognitivo ocurre cuando nueva información entra en conflicto con los conceptos previos del estudiante, lo que crea una disonancia que les motiva a reevaluar y reflexionar sobre su comprensión (Zazkis y Chernoff, 2008). Una estrategia usual para promover un conflicto cognitivo es enfrentar al estudiante de manera controlada a situaciones que entren en conflicto con sus conceptos previos, ya sea por una inconsistencia en sus ideas, ya sea por una comprensión incompleta. En matemáticas, la noción de contraejemplo clave y la noción de contraejemplo potencial propuestas por Zazkis y Chernoff (2008) sirven para tal propósito. A saber, un contraejemplo clave es aquel que logra el objetivo de generar una disonancia en la comprensión o concepciones actuales de un tema particular; mientras que un contraejemplo potencial aún no está relacionado u organizado en la mente del estudiante, con sus ideas previas equivocadas, por lo cual no provoca en él ningún tipo de conflicto en ese momento. Mientras que no se manifiesta explícitamente el conflicto cognitivo en el estudiante, se hace referencia a él como un conflicto cognitivo potencial (Zazkis y Chernoff, 2008).

Por otra parte, el término *cambio conceptual* de Vosniadou y Verschaffel (2004) se utiliza para caracterizar o describir el tipo de aprendizaje requerido cuando se manifiesta un conflicto cognitivo. Este se puede promover al transitar por los siguientes escenarios: (1) existe una insatisfacción con las concepciones actuales, (2) la nueva concepción debe poder ser comprendida con claridad, (3) la nueva concepción ha de parecer capaz de explicar o resolver los problemas que las concepciones previas no pueden y (4) el nuevo concepto formado sugiere la posibilidad de extenderse y abrir nuevas áreas de indagación.

Adicionalmente, Stylianides y Stylianides (2009) sugieren dos directrices para el diseño de actividades que favorezcan que un conflicto cognitivo irrumpa. La primera, sugerida nuevamente por Zazkis y Chernoff (2008), se basa en la teoría de los espacios de ejemplos (Watson y Mason, 2005). En estos trabajos, se identifican tres espacios de ejemplos: (1) el personal, formado por ejemplos de fácil acceso para el estudiante, desencadenados por una tarea o alguna pista, así como por la experiencia del estudiante; (2) el potencial, que consiste en ejemplos que no son de fácil acceso, alcanzables después de alguna explicación más detallada por el instructor; y (3) el convencional, que consiste en los ejemplos de la comunidad matemática, el conocimiento oficial de los expertos. De esta manera, para favorecer que un contraejemplo potencial se convierta en un contraejemplo clave y emerja el conflicto cognitivo, se propone pensar en contraejemplos que estén fuera del espacio de ejemplos personal y dentro del espacio de ejemplos potencial del estudiante. Según los autores, al estar fuera del espacio de ejemplos personal, el estudiante no tiene acceso a cuestionar su entendimiento previo con este tipo de contraejemplos; por otra parte, al estar situados lo suficientemente cerca de su entendimiento previo, suelen ser un desafío accesible y generalmente relevante.

La segunda condición para promover un conflicto cognitivo involucra la noción teórica de pilares de conciencia conceptual (PCC) formulada por Stylianides y Stylianides (2009). Los autores proponen el diseño de actividades instructivas que dirijan la atención de los estudiantes a conceptos que son clave en una situación de aula, con el consiguiente aumento de la conciencia sobre las concepciones erróneas acerca de esos conceptos. Sugieren ubicar pilares bien diseñados antes y después de una contradicción que pretenda crear un conflicto cognitivo. De esta manera, se promueve un proceso de reflexión y revisión de esas concepciones erróneas.

La THA que se propone busca promover un cambio conceptual mediante el conflicto cognitivo, empleando en su diseño las nociones teóricas de contraejemplo clave y contraejemplo potencial. Además, se incorporan los pilares PCC, que involucran preguntas concisas, tareas de prueba de convergencia de series y actividades de simbolización de las estructuras lógicas de proposiciones.

Finalmente, se integran situaciones de institucionalización para discutir la estrategia de simbolización de estructuras lógicas y la aplicación del modelo de inferencias lógicas. Aquí, el conocimiento se convierte en parte de la cultura, se reconoce su relevancia, se valida y formaliza dentro de las normas de la comunidad matemática, en el sentido de Brousseau (1994).

Trayectoria real de aprendizaje

Para realizar el análisis de los resultados y para proporcionar evidencia del logro del objetivo de aprendizaje de la THA, se incorpora a la intervención el concepto de trayectoria real de aprendizaje (TRA), (véase Leikin y Dinur, 2003). La TRA se refiere a los eventos o procesos de aprendizaje reales que parecieron seguir los estudiantes durante la intervención. La idea es lograr un emparejamiento estrecho entre la THA y la TRA; de acuerdo con Stylianides y Stylianides (2009) esto indicaría que las hipótesis en el desarrollo del aprendizaje contempladas en el diseño de la THA fueron adecuadas y por tanto la intervención en el aula exitosa para el desarrollo del nuevo conocimiento del estudiante.

METODOLOGÍA

El diseño de la investigación se basa en las directrices descritas por Gravemeijer (2016). A continuación, se describe este proceso.

Preparación del experimento

Se realizó una revisión de la literatura para identificar dificultades y sus posibles causas en los procesos de razonamiento deductivo. Además, se realizó una búsqueda de elementos teóricos para el diseño de la THA (objetivo 2 de la investigación). Como punto de partida para contextualizar el estudio de la inferencia NA se eligió el tema de series infinitas. La elección de este tema se debió a que se identificó que, a lo largo de ya varios cursos de cálculo impartidos, muchos estudiantes interpretan de forma incorrecta y reiterada el criterio de divergencia, entre otros teoremas, donde tienden a usar razonamientos de tipo NA. Por esto, se consideró este tema como una oportunidad para contextualizar esta inferencia dentro de la práctica docente de un curso oficial.

A partir de nuestra experiencia docente y de las investigaciones sobre cómo los estudiantes realizan inferencias, se diseñó un instrumento de investigación que se denominó «Inferencias Lógicas en el Contexto del Cálculo» (Herrera y Rodríguez, 2022), relacionado específicamente con razonamientos de tipo NA, con la finalidad de identificar a los estudiantes que aceptan esta falacia (primer ciclo de experimentación), y que posteriormente serían elegidos para participar en la implementación de un segundo ciclo de la THA, que es el que se reporta en este documento. Se destaca la pregunta 3 de ese instrumento, la cual se tomó como inicio de la THA para este segundo ciclo de experimentación, y que en adelante se denota como S_0 (figura 1).

«Si $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n \neq 0$, entonces la serie $\sum a_n$ diverge»

¿Qué puedes inferir acerca de la serie $\sum 1/n$? Observa que $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} = 0$.

(R1) Por el criterio de divergencia podemos concluir que la serie $\sum 1/n$ converge.

(R2) No se puede garantizar la convergencia o divergencia de la serie $\sum 1/n$ con ese criterio.

Fig. 1. Situación matemática inicial S_0

El diseño de la THA se divide en dos etapas; en la primera se describe el proceso hipotético preconflito cognitivo (tabla 2). En esta etapa se introduce el PCC1, que consiste en preguntar sobre la convergencia de la serie telescópica y de la serie- p (con $p = 1/2$), con la finalidad de aumentar la atención del estudiante sobre su interpretación del criterio de divergencia y cómo lo aplica a estas series. También se presenta el PCC2, que consiste en la demostración de la convergencia de la serie telescópica. Se anticipa que esto reforzará el conocimiento previo del estudiante (las tres series son convergentes), con el propósito de que la discordancia de este conocimiento y la futura prueba de la divergencia de la serie- p sean más intensas, lo que aumentaría las posibilidades de un conflicto cognitivo.

Se anticipa que el estudiante no tendrá la oportunidad de cuestionar su entendimiento previo sobre la supuesta convergencia de las series. Además, se anticipa que estas series están lo suficientemente cerca del entendimiento del estudiante, de modo que, tras la explicación formal del profesor, pueda reconocer con argumentos matemáticos correctos la convergencia de la serie telescópica y la divergencia de la serie- p y la serie armónica. En otras palabras, se prevé que las tres series se ubiquen en el espacio de ejemplos potencial del estudiante, donde la serie- p desempeñará el rol de contraejemplo potencial.

Tabla 2.
Proceso hipotético de aprendizaje previo al conflicto cognitivo

Tareas	Mecanismo de reflexión actividad-efecto del estudiante		
	Actividad	Efecto	Reflexión
Tarea 1. ¿Cómo justificas que la serie $\sum \frac{1}{n}$ converge?	Se propondrán la meta de justificar la convergencia de la serie. Algunos de ellos, aplicando el criterio de divergencia; otros analizarán el término $\frac{1}{n}$ y pensarán que la serie va a converger al sumar términos cada vez más pequeños, $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \dots$	Pensarán que sus justificaciones son razonables; no se cuestionarán su validez.	Se convencerán de que, al cumplirse $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} = 0$, entonces la serie $\sum \frac{1}{n}$ necesariamente tiene que converger.
Tarea 2. (PCC1) ¿Es convergente la serie telescópica? ¿Es convergente la serie-p? (contraejemplo potencial).	Se plantearán la meta de justificar la convergencia de cada una de las dos series, para lo cual aplicarán nuevamente el criterio de divergencia o recurrirán a estrategias numéricas, como en la tarea anterior.	Pensarán que sus justificaciones son razonables; no se cuestionarán su validez.	Se convencerán de que, al cumplirse $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n(n+1)} = 0$ y $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{n}} = 0$, entonces las series convergen.
Tarea 3. (PCC2) El profesor demostrará la convergencia de la serie telescópica, dejando algunos aspectos de la prueba incompletos para que los estudiantes los desarrollen.	Se propondrán la meta de seguir la demostración de la convergencia de la serie telescópica y completar los aspectos no desarrollados de la prueba.	Este resultado reforzará la idea de que las demás series deben converger (conocimiento actual).	Generalizarán el conocimiento actual mediante el lenguaje matemático: si $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$, entonces $\sum a_n$ converge.

En la segunda etapa se describe el proceso hipotético posconflicto cognitivo (tabla 4). Previamente, en la tabla 3 se incorporan los cuatro niveles del desarrollo del cambio conceptual descritos en el marco teórico y se relacionan con las tareas propuestas por el profesor, para indicar el nivel de desarrollo de cambio conceptual adquirido por el estudiante.

Tabla 3.
Niveles del cambio conceptual y tareas asociadas

<i>Niveles del cambio conceptual</i>	<i>Tareas</i>
Existe una insatisfacción con las concepciones actuales (conflicto cognitivo).	Tarea 4. Prueba de la divergencia de la serie $\sum \frac{1}{\sqrt{n}}$ (conflicto cognitivo potencial).
La nueva concepción debe poder ser comprendida con claridad.	Tarea 5. ¿Cambia tu idea inicial de que la serie $\sum \frac{1}{n}$ converge al saber que la serie- p diverge? Tarea 6. Prueba de la divergencia de la serie armónica $\sum \frac{1}{n}$.
La nueva concepción ha de parecer capaz de explicar o resolver los problemas que las concepciones previas no pueden.	Tarea 7 (PCC3). (i) Simboliza la estructura lógica del criterio de divergencia, y (ii) Simboliza la respuesta R_1 de S_0 .
El nuevo concepto formado sugiere la posibilidad de extenderse y abrir nuevas áreas de indagación.	Tarea 8. Determina si el siguiente razonamiento es correcto: Regla: Si Rojo, entonces $x = 5$. Premisa: Azul. Por lo tanto, $x \neq 5$ (contexto abstracto). Entrevista: Se cuestiona sobre la validez de la inferencia NA sobre la proposición «si p^2 es par, entonces p es par».

En esta etapa destacan la tarea 4, que se asocia con la aparición del conflicto cognitivo, y la tarea 7 (PCC3), donde se inicia el proceso de institucionalización del conocimiento (Brousseau, 1994), con el objetivo de dirigir la atención de los estudiantes hacia el conocimiento oficial, apoyando el cambio conceptual. La tabla 4 delinea este proceso hipotético de aprendizaje de acuerdo con las tareas descritas en la tabla 3.

Tabla 4.
Proceso hipotético de aprendizaje durante y posterior al conflicto cognitivo

Tarea	<i>Mecanismo de reflexión actividad-efecto del estudiante</i>		
	Actividad	Efecto	Reflexión
Tarea 4	Se propondrán la meta de completar los pasos algebraicos planteados por el profesor para demostrar que, de acuerdo con sus concepciones actuales, la serie- p converge.	Surgirá el conflicto cognitivo y generará un estado de sorpresa o confusión en los estudiantes al descubrir que la serie- p diverge, lo que contradice el conocimiento actual (la serie- p debería converger).	Comenzarán a cuestionar su interpretación del criterio, ya que el hecho de que el término general de cada serie tienda a 0 no garantiza necesariamente su convergencia.
Tarea 5	Se fijarán la meta de analizar y contestar a la pregunta de la tarea. Buscarán argumentos que traten de explicar las insatisfacciones generadas por el conocimiento nuevo.	Se harán conscientes que están interpretando incorrectamente el criterio de divergencia.	Se darán cuenta de que están aplicando el criterio de divergencia en casos donde no es adecuado.
Tarea 6	Completarán los pasos para la prueba de la convergencia o divergencia de la serie armónica.	Reafirmarán su reflexión de la tarea 4.	Extenderán la reflexión a un ejemplo general: $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$, no garantiza que la serie $\sum a_n$ converja.
Tarea 7 PCC3	Se plantearán la meta de simbolizar la estructura lógica del criterio de divergencia y la de la respuesta R_1 de la situación inicial S_0 .	Experimentarán un proceso de abstracción de los enunciados para identificar las estructuras lógicas y su validez.	Adquirirán una nueva estrategia de solución en un registro lógico. Podrán identificar modos inferenciales equivalentes.

Tarea	<i>Mecanismo de reflexión actividad-efecto del estudiante</i>		
	Actividad	Efecto	Reflexión
Tarea 8	Simbolizarán la estructura lógica, de las dos proposiciones. (Contexto abstracto y la entrevista)	Aplicarán su nuevo conocimiento para identificar la estructura lógica simbolizada y su validez en un contexto extendido (contexto abstracto).	Reconocerán que la nueva estrategia de solución puede abrir nuevas áreas de indagación al generalizar su aplicación a otros contextos matemáticos.

La figura 2 ilustra el esquema completo de los diferentes momentos y tareas involucradas en la THA.

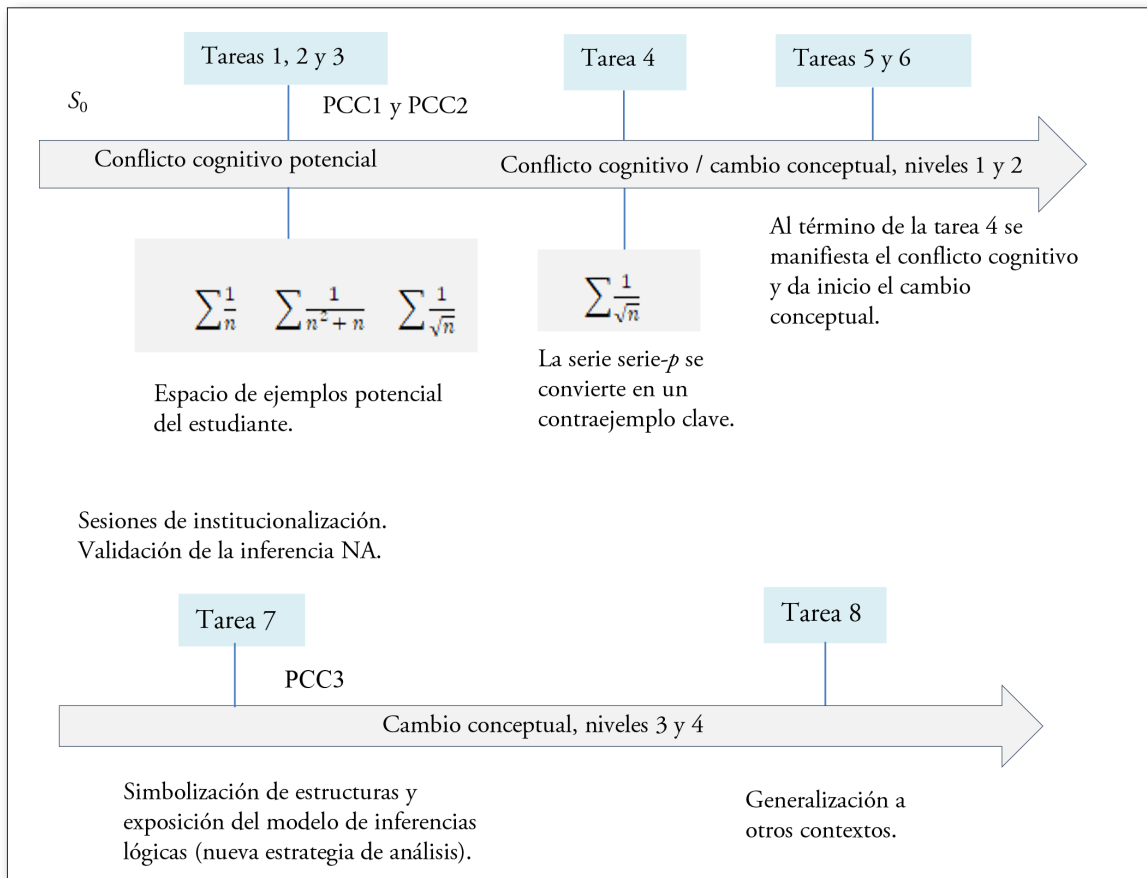


Fig. 2. Esquema de los momentos y tareas en la THA.

Fase de enseñanza: ejecución de la THA en un entorno real y recolección de datos

La implementación de la THA se desarrolló en el marco de las intervenciones en el aula orientadas a problemas clave y persistentes (Stylianides y Stylianides, 2018). Aunque este marco didáctico se contextualizó en el aprendizaje de la demostración en matemáticas, los autores no limitan su adaptación y aplicación a otros campos. Posee características apropiadas para alcanzar el primer objetivo de la investigación, a saber, sugiere dos características esenciales y una deseable: (1) Deben incluir un marco

teórico explicativo sobre cómo la intervención funciona o puede funcionar en relación con su impacto en el aprendizaje de los estudiantes. Para este fin se integró el elemento de reflexión actividad-efecto que tiene la función de generar el marco explicativo sobre el funcionamiento de la THA. (2) Deben contar con un mecanismo apropiado para desencadenar y apoyar el cambio conceptual. Para este punto, se tomó el conflicto cognitivo como estrategia para desencadenar el cambio conceptual y las situaciones de institucionalización para apoyarlo. (3) Es deseable que la intervención se centre en pocos objetivos de aprendizaje bien definidos, lo que permite tener una duración relativamente corta y hace factible su implementación en una situación real de aprendizaje. Para este fin, la intervención propuesta se desarrolla en dos sesiones de 120 minutos centrada en la inferencia NA. Participaron 8 estudiantes que previamente tuvieron un pobre desempeño en el instrumento «Inferencias Lógicas en el Contexto del Cálculo» del primer ciclo de experimentación. Los estudiantes cursaban su segundo semestre de cálculo en una universidad pública de la ciudad de México, por lo que ya conocían algunos conceptos básicos de series como la definición de convergencia y algunos ejemplos de series geométricas.

Los instrumentos de recolección de datos para el análisis fueron:

- La THA-TRA.
- Observaciones y notas de los investigadores durante la implementación.
- Una entrevista semiestructurada.

Análisis retrospectivo de los datos recopilados

El análisis para determinar la percepción cualitativa del emparejamiento THA-TRA de los estudiantes se llevó a cabo como se propone en Cárcamo et al. (2021); se compararon las tareas y el proceso de aprendizaje hipotético de la THA con respuestas escritas sobre el proceso de aprendizaje observado en la TRA, las notas y la entrevista. Se recopilaron evidencias y se clasificaron cualitativamente según el mecanismo de reflexión actividad-efecto. Así, se consideró que la aproximación THA-TRA es baja, si el estudiante solo presentó evidencias de su actividad o metas realizadas durante el proceso. De manera análoga, se consideró una aproximación media, si el estudiante presentó evidencias tanto de sus actividades y sus efectos. Por último, se consideró una aproximación alta, si el estudiante mostró evidencias de su actividad, su efecto y su reflexión.

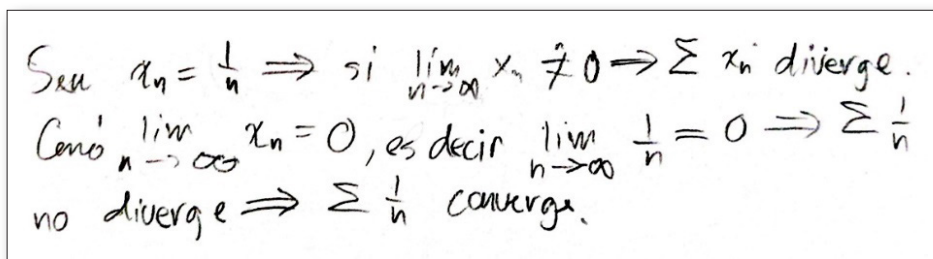
Para completar el análisis, se consideró que el estudiante experimentó un cambio conceptual adecuado si el emparejamiento THA-TRA fue alto en los primeros tres niveles del cambio conceptual (tareas 4 a 7), y al menos tuvo una aproximación media en el nivel 4 (tarea 8). Si el estudiante no presentó evidencias hasta este punto, se dirá que el proceso de cambio conceptual no fue suficientemente desarrollado. Este criterio de evaluación permite identificar si el estudiante utiliza la nueva estrategia de análisis dirigida a la estructura lógica de una proposición en un contexto abstracto y determina su validez. Lo anterior atiende a los objetivos particulares 3 y 4 de la investigación.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Se presenta el seguimiento correspondiente al estudiante E_1 . Este caso fue representativo de éxito ya que evidenció un alto emparejamiento THA-TRA durante el desarrollo de la intervención. También se mencionan algunos de los comentarios relevantes de los demás estudiantes denotados por E_2, \dots, E_8 .

Conflicto cognitivo potencial

Tarea 1: E_1 escribió para la serie armónica « $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} = 0 \Rightarrow \sum \frac{1}{n}$ no diverge», lo que ilustra su actividad al usar el criterio de divergencia. No cuestionó la validez de este razonamiento, por el contrario, dedujo que « $\sum \frac{1}{n}$ no diverge $\Rightarrow \sum \frac{1}{n}$ converge» (figura 3), lo que proporciona evidencia de su efecto. E_1 realizó una interpretación ingenua del criterio de divergencia, entendiendo por esto que una condición necesaria para la convergencia de la serie $\sum \frac{1}{n}$, a saber, $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} = 0$, se interprete como una condición suficiente, lo que se infiere como evidencia de su reflexión. E_1 empleó la simbolización de enunciados como una técnica para organizar sus ideas, pero sin ser consciente del significado lógico, por lo tanto, en este punto el emparejamiento THA-TRA fue alto.

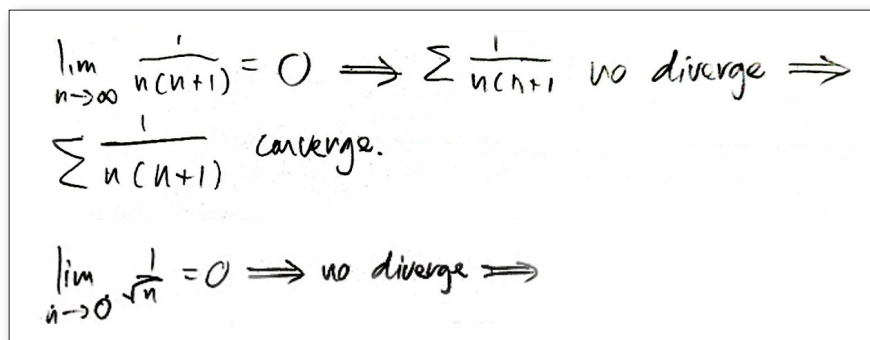


Sea $x_n = \frac{1}{n} \Rightarrow$ si $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n \neq 0 \Rightarrow \sum x_n$ diverge.
 Como $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = 0$, es decir $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} = 0 \Rightarrow \sum \frac{1}{n}$
 no diverge $\Rightarrow \sum \frac{1}{n}$ converge.

Fig. 3. Evidencia de la actividad y el efecto en E_1 .

Los demás estudiantes dieron argumentos similares, por ejemplo, E_2 : «converge ya que si $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} = 0$ es la negación del teorema».

Tarea 2 (PCC1): E_1 evidenció su actividad, su efecto y su reflexión de manera muy similar a como lo exhibió en la tarea anterior, al escribir que « $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n(n+1)} = 0$ y $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{n}} = 0$ » y concluir que ambas series convergen (figura 4). En otras palabras, E_1 realizó una reflexión inadecuada de la situación al recurrir a un razonamiento de tipo NA. El pilar PCC1 coadyuvó a centrar la atención en el conocimiento actual de E_1 .



$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n(n+1)} = 0 \Rightarrow \sum \frac{1}{n(n+1)}$ no diverge \Rightarrow
 $\sum \frac{1}{n(n+1)}$ converge.
 $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{n}} = 0 \Rightarrow$ no diverge \Rightarrow

Fig. 4. Evidencia de la reflexión de E_1 .

El caso de E_4 y E_6 se caracterizó por el uso de una estrategia numérica para justificar la convergencia de estas dos series, por ejemplo, E_6 , al referirse a la serie telescópica, comentó: «llevando a cabo un análisis aritmético de la serie podemos concluir que la serie converge, pues el denominador tiene

un exponente cuadrático dividiendo a un coeficiente fijo que es el 1». Y respecto a la serie-p, E_4 y E_6 realizaron ensayos numéricos con enteros grandes en la expresión $\frac{1}{\sqrt{n}}$, para justificar que este término también tiende a cero, lo que les permitió afirmar que esta serie también converge.

Tarea 3 (PCC2): E_1 aportó evidencia de su actividad al seguir y completar sin contratiempos la prueba de la convergencia de la serie telescópica; esto también evidenció su efecto, ya que era lo esperado para E_1 , reforzando su creencia de que las tres series convergen (figura 5). En cuanto a la reflexión, el lenguaje utilizado por E_1 relacionó lo general de la expresión del criterio de divergencia con lo particular de cada serie aplicando un razonamiento de tipo NA, lo que es evidencia de la reflexión sobre su conocimiento actual.

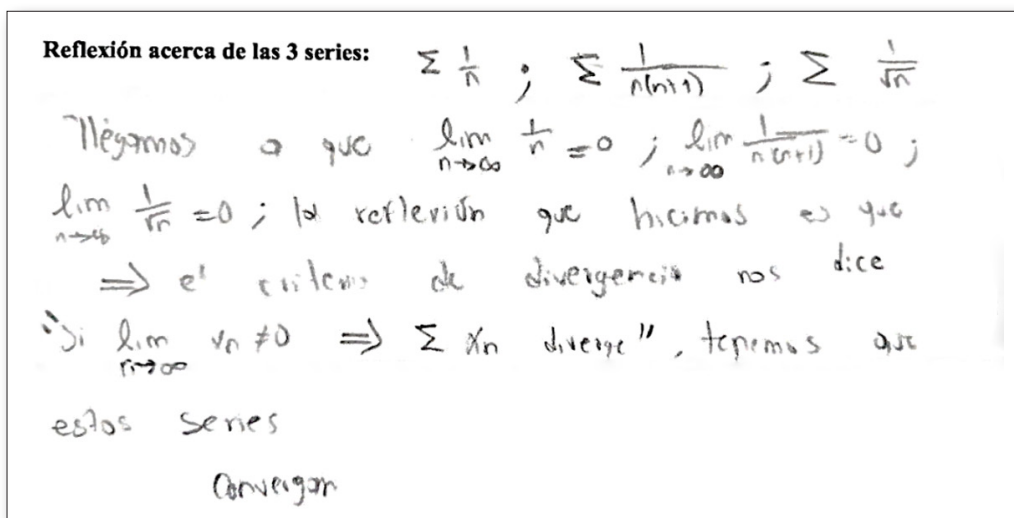


Fig. 5. Reflexión de E_1 sobre las tres series.

El análisis sugiere que los pilares PCC1 y PCC2 coadyuvaron a centrar la atención de E_1 en su conocimiento actual (las tres series convergen). E_1 proporcionó evidencia de su actividad, de su efecto y de su reflexión, lo que permitió concluir que en esta etapa el emparejamiento THA-TRA fue alto para este estudiante.

De manera similar, E_2, \dots, E_8 estaban convencidos de que las tres series convergían, reforzando esta creencia mediante el pilar PCC2, por lo que se consideró que el acercamiento THA-TRA también fue alto para ellos.

Conflicto cognitivo y los cuatro niveles del cambio conceptual

Esta etapa se caracterizó por el conflicto cognitivo y el desarrollo del cambio conceptual (tablas 3 y 4).

Nivel 1: Insatisfacción con las concepciones actuales

La etapa comenzó con la tarea 4 y fue guiada por el profesor. Los estudiantes analizaron las sumas parciales de la serie-p, $s_n = 1 + \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{n}}$. Posteriormente, demostraron por inducción que $s_n \geq \sqrt{n}$ para toda $n \in \mathbb{N}$. Por último, aplicaron el límite $\lim_{n \rightarrow \infty} s_n \geq \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{n} = \infty$, para concluir mediante el criterio de comparación que la serie $\sum \frac{1}{\sqrt{n}}$ diverge. E_1 completó de manera satisfactoria los

desarrollos para la prueba de la divergencia de la serie $\sum \frac{1}{\sqrt{n}}$, lo que da evidencia de su actividad; esto también confirma que la serie- p se ubicó correctamente en el espacio de ejemplos potencial de E_1 , para pasar a formar parte de su espacio de ejemplos personal. En cuanto al efecto, E_1 no pareció sorprendido por el resultado de la prueba de la divergencia de la serie- p . Esto se debió a que ya dudaba de que su razonamiento previo fuera correcto; la duda ocurrió durante el desarrollo de esta prueba, lo cual proporciona evidencia de su reflexión. Su reacción al cuestionarse sobre la legitimidad de su razonamiento no invalida que haya experimentado el conflicto cognitivo, pues sí se presentaron inconsistencias con sus ideas previas. La tarea 4 provocó una reorganización de su conocimiento previo acerca de la convergencia de una serie y del criterio de divergencia, lo que se ilustra en la figura 6. Este análisis muestra que E_1 proporcionó elementos de su actividad, su efecto y su reflexión, por lo que el emparejamiento THA-TRA fue alto.

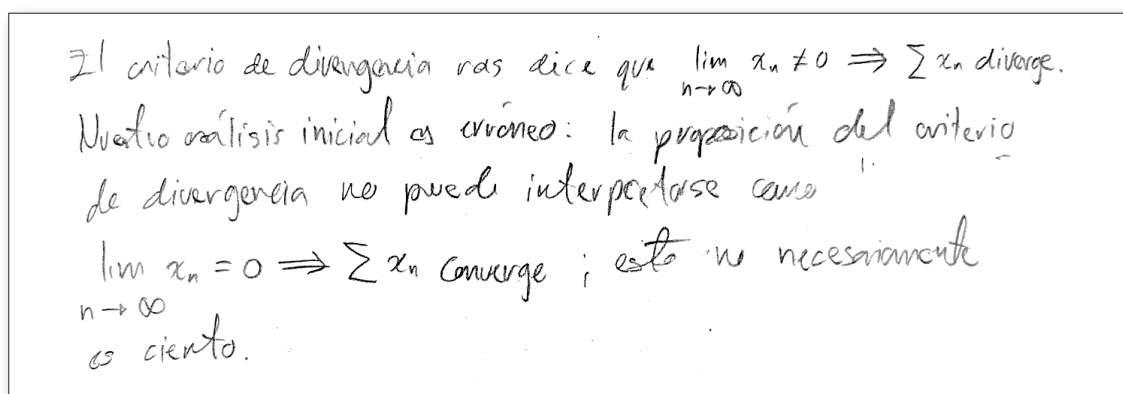


Fig. 6. Reflexión de E_1 en el nivel 1 del cambio conceptual.

La manifestación del conflicto cognitivo fue más notoria en el caso de E_2 , quien comentó: «¿Por qué diverge? si el criterio dice que si $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{n}} = 0$, entonces la serie- p debería converger». E_2 parecía muy contrariado con este resultado. El conflicto cognitivo se manifestó en E_2, \dots, E_8 . Por lo que se consideró que en este primer nivel de cambio conceptual el emparejamiento THA-TRA fue alto para todos los estudiantes.

Nivel 2: La nueva concepción es comprendida con claridad

Tareas 5 y 6 (tabla 3). E_1 ya había respondido de manera indirecta a la pregunta de la tarea 5 con la reflexión realizada en la tarea 4 (figura 6) motivada por el contraejemplo potencial $\sum \frac{1}{\sqrt{n}}$, que se convirtió en un contraejemplo clave para él; el siguiente comentario lo muestra: «El análisis inicial es erróneo: la proposición del criterio de divergencia no puede interpretarse como $\lim_{n \rightarrow \infty} x_n = 0 \Rightarrow \sum x_n$ converge; esto no necesariamente es cierto», y evidencia su actividad y su efecto. De esto se infiere que E_1 se percató de que el criterio de divergencia no aplica para el caso de las series involucradas en la intervención, lo que proporciona elementos de su reflexión.

Respecto a la tarea 6 (demostración de la divergencia de la serie armónica), esta fue guiada por el profesor, siguiendo el procedimiento clásico de agrupación de los términos de las sumas parciales. E_1 no tuvo inconvenientes en los desarrollos algebraicos de la demostración, lo cual proporcionó evi-

dencia de su actividad. Esto permitió inferir que esta serie también estuvo ubicada en el espacio de ejemplos potencial de E_1 . La demostración de su divergencia reafirmó las reflexiones discutidas en la tarea anterior (figura 6). Lo que dio evidencia del efecto y su reflexión. Se concluye que el acercamiento THA-TRA de E_1 fue alto.

Por otra parte, E_3 , E_4 , E_5 , E_7 y E_8 también cambiaron su postura previa respecto a la creencia de la convergencia de las tres series; la demostración de la divergencia de la serie- p en la tarea 4 les hizo reflexionar y darse cuenta de que estaban aplicando el criterio de divergencia en casos en los que no aplica, de modo que el contraejemplo potencial $\sum \frac{1}{\sqrt{n}}$, también se convirtió en un contraejemplo clave para estos estudiantes. Ahora aceptan la posibilidad de que la serie armónica puede ser una serie divergente, lo que evidencia su actividad, efecto y reflexión. Estos estudiantes tuvieron un emparejamiento alto THA-TRA, a diferencia de E_2 y E_6 , que no lograron superar esta etapa debido a una deficiente comprensión lógica y matemática, por lo que su emparejamiento THA-TRA fue bajo.

Nivel 3: La nueva concepción explica o resuelve los problemas que las concepciones previas no pueden

La incorporación de elementos matemáticos formales resolvió la problemática inicial S_0 pero no explica el error cometido en la interpretación del criterio de divergencia. De modo que, en este tercer nivel de cambio conceptual, se incorporó una nueva estrategia de análisis (registro lógico), a saber, la simbolización de las estructuras lógicas de enunciados sustentado en el modelo de inferencias (tabla 1).

Esta etapa guiada por el profesor comenzó con la asignación de la tarea 7 (PCC3) y la institucionalización del conocimiento. La nueva estrategia tiene el propósito de dar una explicación formal del error cometido en la interpretación del criterio de divergencia. El profesor explicó la estructura lógica de cada uno de los cuatro modos inferenciales MP, MT, NA y AC, destacando la inferencia NA. Demostró la validez de la inferencia MT y el caso en el que la NA es válida. A continuación, se describen algunos desarrollos y reflexiones de los estudiantes durante la tarea 7.

E_1 evidenció su actividad al simbolizar correctamente el criterio de divergencia y la respuesta R_1 de la situación inicial S_0 (que ya lo hacía al inicio de la intervención, pero de manera superficial), ahora con el sustento teórico del modelo de inferencias; esto le permitió ser consciente de sus simbolizaciones y su validez de manera formal. E_1 : «Sean $p \equiv \lim_{n \rightarrow \infty} a_n \neq 0$ y $q \equiv \sum a_n$ diverge, tenemos que, $p \Rightarrow q$ ». Y respecto a la respuesta, R_1 expresó: «Tomaría la forma $\neg p \Rightarrow \neg q$ lo cual no es necesariamente cierto»; la identificación del tipo de estructura lógica y su validez es evidencia de su efecto. Por último, E_1 evidenció su reflexión al relacionar los razonamientos válidos MP y MT y escribir: «Con la forma: $p \Rightarrow q$ entonces solo podemos usar dos razonamientos válidos: $p \Rightarrow q \wedge \neg q \Rightarrow \neg p$ », lo que se muestra en la figura 7. Por tanto, se concluye que, en este punto, el emparejamiento THA-TRA de E_1 fue alto.

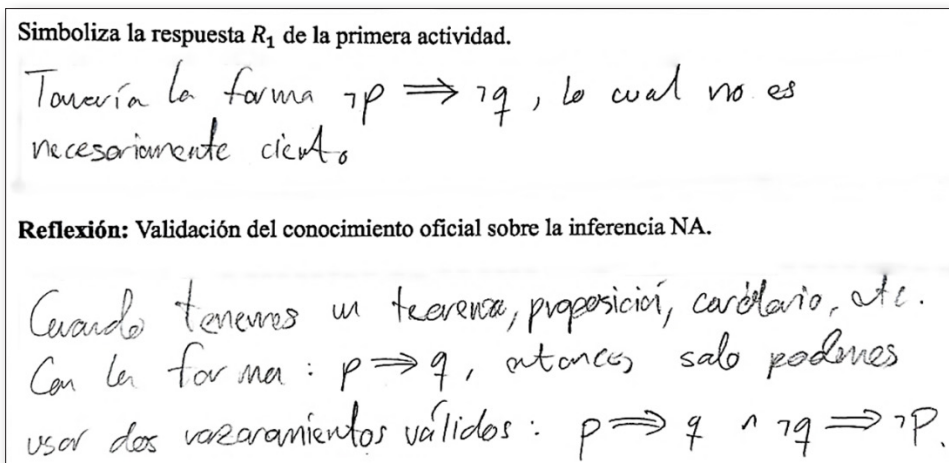


Fig. 7. Evidencia de E_1 sobre la reflexión de los modos de inferencia válidos.

Por otra parte, E_8 expresó: «Negación del antecedente es válido si hay \Leftrightarrow i.e. $P \leftrightarrow Q$ [...]», o E_5 «La NA solo se puede usar con si y solo si, de otra forma no es correcto». El pilar PCC3 dirigió la atención de los estudiantes al análisis de las estructuras de los enunciados con el modelo de inferencias lógicas, evidenciando en E_3 , E_5 , E_7 y E_8 un emparejamiento alto de la THA-TRA. Sin embargo, E_2 , E_4 y E_6 no lograron realizar de manera correcta los análisis con la nueva estrategia, por ejemplo, E_6 simbolizó R_1 mediante $\neg p \Rightarrow \neg q$, lo que es correcto; sin embargo, de ahí dedujo $\neg q \Rightarrow \neg p$, es decir, aplicó un razonamiento AC, lo que es incorrecto. En general, E_2 , E_4 y E_6 evidenciaron un emparejamiento bajo de la THA-TRA.

Nivel 4: El nuevo concepto se extiende y se abren nuevas áreas de indagación

Tarea 8. Aquí se enfrentaron a la aplicación de la nueva estrategia de análisis (registro lógico) en un contexto abstracto, con el propósito de centrar su atención solo en la estructura lógica de una proposición, aislando la influencia de significados. En entrevista se pudo constatar que E_1 evidenció su actividad y su efecto al ser cuestionado sobre la siguiente situación:

Profesor: Regla: si rojo, entonces $x = 5$. Premisa menor: azul, entonces $x \neq 5$. ¿Correcto?

E_1 : Falso.

Profesor: ¿Por qué?

E_1 : «El enunciado no es válido, pues se niega el antecedente de la regla, y a partir de esa negación se niega la conclusión».

E_1 identificó que se trataba de una inferencia NA y determinó su invalidez. De manera similar, E_3 , E_5 , E_7 y E_8 identificaron correctamente la invalidez de la proposición, por ejemplo, E_8 : « $P \rightarrow Q$ donde $P = \text{Rojo}$ y $Q = x = 5$, $\neg P \rightarrow \neg Q$ donde $\neg P = \text{Azul}$ y $\neg Q = x \neq 5$ esto solo es válido para un si y solo si». Por otra parte, E_2 , E_4 y E_6 no proporcionaron argumentos válidos que sustentaran su respuesta, por ejemplo, E_4 : «no se puede afirmar que $\text{Azul} \Rightarrow x \neq 5$, pues no tiene nada que relacione el azul con el Rojo».

A continuación, se presentó una nueva proposición para indagar si el estudiante E_1 había considerado relevante la nueva estrategia de solución para aplicarla en un contexto diferente a los estudiados.

Profesor: En la proposición «si p^2 es par, entonces p es par», ¿es correcto inferir que si p^2 no es par, entonces p no es par?

E_1 : No, este razonamiento no es válido.

Profesor: ¿Sabes que la proposición en realidad es un si y solo si?

E_1 : [...] no recordaba que era un si y solo si; pero con la forma que tiene este ejemplo [E_1 se refería a la forma $p \rightarrow q$] la negación de antecedente no es válida. *A priori* no; puede ser que en la demostración la implicación se cumpla matemáticamente, pero en términos generales la inferencia por negación de antecedente es incorrecta lógicamente.

Profesor: No escribí la proposición en la forma de un si y solo si para que reflexionaran sobre su validez, pues sabían que la inferencia NA es válida en un si y solo si. ¿El contexto influyó?

E_1 : Sí, es otro sesgo aparte.

La entrevista con E_1 evidenció que la estrategia no logró integrarse con el análisis de los significados matemáticos de la proposición; se esperaba que ahora el estudiante no solo centrara su atención en la estructura lógica, sino que enriqueciera su análisis con los significados matemáticos, pues sabían que la inferencia NA es válida en una implicación reversible. Por lo que se consideró que el emparejamiento THA-TRA de E_1 fue medio en esta última etapa del cambio conceptual, al no proporcionar evidencia de una reflexión correcta en este contexto matemático diferente.

Los resultados muestran que, a lo largo de las cuatro etapas del desarrollo del cambio conceptual, E_1 , E_3 , E_5 , E_7 y E_8 alcanzaron un cambio conceptual adecuado, mientras que E_2 , E_4 y E_6 no lo consiguieron, debido a fallas conceptuales, como fue el caso de E_2 , o al poco entendimiento de la nueva estrategia de análisis en el registro lógico.

DISCUSIÓN

La implementación del segundo ciclo de la IBD permite obtener respuestas a la pregunta inicial: ¿Cómo puede el diseño de una THA fomentar un cambio favorable en el razonamiento deductivo de los estudiantes universitarios de cálculo que aceptan incorrectamente la inferencia NA? Las respuestas subyacen tras la incorporación y articulación de diversos elementos teóricos eficaces, por ejemplo, en la etapa preconflicto cognitivo, los pilares PCC1 y PCC2 fueron determinantes para enfocar la atención de los estudiantes en sus concepciones previas; especialmente, la demostración de la convergencia de la serie telescópica coadyuvó a reforzar la creencia de que las series $\sum \frac{1}{n}$ y $\sum \frac{1}{\sqrt{n}}$ también eran convergentes. Así surgió una fuerte inconsistencia entre este conocimiento previo y la prueba posterior de la divergencia de la serie- p (contraejemplo potencial), lo que dio paso a la aparición del conflicto cognitivo en los estudiantes.

Asimismo, en la transición pre/posconflicto cognitivo, las muestras de sorpresa o de incertidumbre ante la inconsistencia de las creencias previas sobre la supuesta convergencia de la serie- p y su refutación posterior evidencian que la serie- p resultó estar ubicada en el espacio de ejemplos potencial de los participantes (excepto E_2), pues al principio estos estudiantes no cuestionaron su convergencia, y posteriormente, tras una explicación breve del profesor, lograron advertir su divergencia. El contraejemplo potencial se transformó en un contraejemplo clave; la serie- p se incorporó al espacio de ejemplos personal de cada uno de estos estudiantes como una serie divergente.

Las actividades de institucionalización donde se discutió la simbolización de enunciados y el modelo de inferencias lógicas (nueva estrategia de análisis) también fueron claves en el diseño de la THA; promovieron que E_1 , E_3 , E_5 , E_7 y E_8 identificaran el tipo de estructura lógica implícita en los enunciados

matemáticos involucrados, lo que les permitió adoptar esta estrategia como una primera herramienta de análisis para determinar la posible validez de una inferencia.

Los resultados obtenidos muestran que E_1 , E_3 , E_5 , E_7 y E_8 lograron un cambio conceptual adecuado; es decir, se percataron de que interpretaron y aplicaron de manera incorrecta el criterio de divergencia, generalizando ahora de manera correcta que $\lim_{n \rightarrow \infty} a_n = 0$ no garantiza la convergencia de la serie. Estos estudiantes lograron extender el uso de la estrategia lógica de un contexto abstracto hacia otro matemático, excepto E_1 . En entrevista, se observó que si bien E_1 aplicó la estrategia lógica a la proposición «si p^2 es par, entonces p es par», descartó los significados matemáticos, llevándolo a no aceptar la validez de la inferencia NA. Así, se concluye que E_1 limitó su análisis en vez de enriquecerlo con ambos acercamientos (el lógico y el matemático).

Por otra parte, la THA contribuye de manera significativa al escaso estudio sobre la inferencia NA señalado por Noya y Adúriz-Bravo (2023), integrando y articulando una variedad de elementos teóricos en su diseño para atender algunos aspectos lógicos en el razonamiento deductivo. Puede ser una herramienta metodológica útil para el investigador, por el potencial de ayudar a mostrar la evolución de los conceptos desarrollados por los estudiantes e identificar las etapas del diseño que promueven los cambios esperados en su pensamiento, lo que resulta también útil para los profesores que deseen implementar estrategias didácticas constructivistas mediante intervenciones en el aula enfocadas a problemas clave y persistentes (Stylianides y Stylianides, 2018).

Finalmente, para mejorar la efectividad de la THA, en un futuro ciclo de la IBD se debería tomar en cuenta la necesidad de relacionar de manera más cuidadosa tanto las estructuras lógicas como los significados matemáticos, para un análisis más enriquecido de las proposiciones por tratar. Asimismo, se recomienda considerar las fallas y limitantes conceptuales que presentaron algunos estudiantes respecto a los conceptos relacionados con las series; por ejemplo, al recurrir a estrategias numéricas para justificar la convergencia, confundieron el límite del término general con el límite de la sucesión de las sumas parciales, lo que limitó lograr un cambio conceptual adecuado.

CONCLUSIONES

El presente estudio muestra que la THA enmarcada en las intervenciones en el aula dirigida a problemas que son clave y persistentes, bajo un marco metodológico basado en el diseño, puede ser una propuesta efectiva para ayudar a los estudiantes universitarios a identificar la inferencia lógica NA, y en consecuencia mejorar su desempeño en el razonamiento deductivo. Los resultados sugieren que el diseño de tareas matemáticas de la THA debe fomentar análisis enriquecidos, combinando conjuntamente estrategias de análisis lógico y análisis de los significados matemáticos involucrados en una proposición. De esta manera, es primordial que los ejemplos propuestos se encuentren al alcance de los estudiantes para garantizar su manejo; es decir, deben considerarse dentro de su espacio de ejemplos personal/potencial (Watson y Mason, 2005). Esto podría reducir la posible influencia que un contexto matemático desconocido tenga en el momento de aceptar y realizar inferencias (Stylianides et al., 2004; Durand-Guerrier, 2003).

Este estudio puede tomarse como base para futuras investigaciones e implementaciones que busquen integrar resultados teóricos y prácticos en el área del razonamiento deductivo. Se sugiere que en nuevos diseños se incorporen actividades enfocadas a los demás modos inferenciales MT, MP y AC, aplicando la simbolización de estructuras y el modelo de inferencias lógicas, sin descuidar los significados matemáticos para el mejoramiento del razonamiento deductivo.

AGRADECIMIENTOS

Al programa de Estancias Posdoctorales por México (Beca 170160), del Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCyT). Asimismo, a la sección de servicios especializados de la biblioteca de la UAM-C.

REFERENCIAS

- Bajo-Benito, J. M., Sánchez-Matamoros García, G. y Gavilán-Izquierdo, J. M. (2021). The use of logical implication as an indicator of understanding the concept of number sequences. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(12), em2058. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11429>
- Bakker, A. y Van Eerde, D. (2015). An introduction to design-based research with an example from statistics education. En A. Bikner, C. Knipping y N. Presmeg (Eds.), *Approaches to Qualitative Research in Mathematics Education* (pp. 429–466). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9181-6_16
- Brousseau, G. (1994). Los diferentes roles del maestro. En C. Parra e I. Saiz (Comps.), *Didáctica de matemáticas aportes y reflexiones* (pp. 65-94). Paidós Educador.
- Camacho, V., Sánchez Pozos, J. J. y Zubieta, G. (2014). Los estudiantes de ciencias, ¿pueden reconocer los argumentos lógicos involucrados en una demostración? *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 117-138. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.983>
- Cárcamo, A., Fortuny, J. M. y Fuentealba, C. (2021). Las trayectorias hipotéticas de aprendizaje: un ejemplo en un curso de álgebra lineal. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 45-63. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2857>
- Durand-Guerrier, V. (2003). Which notion of implication is the right one? From logical considerations to a didactic perspective. *Educational Studies in Mathematics*, 53(1), 5-34. <https://doi.org/10.1023/A:1024661004375>
- Duval, R. (2004). *Semiosis y pensamiento humano. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales* (2.^a ed., trad. de R. M. Vega [1995]). Programa Editorial Universidad del Valle.
- Epp, S. (2003). The role of logic in teaching proof. *American Mathematical Monthly*, 110, 886-899. <https://doi.org/10.1080/00029890.2003.11920029>
- Evans, J. S. B. T., Handley, S. J., Neilens, H. y Over, D. E. (2007). Thinking about conditionals: a study of individual differences. *Memory & Cognition*, 35(7), 1772-1784. <https://doi.org/10.3758/BF03193509>
- Gravemeijer, K. (2016). Design-research-based curriculum innovation. *Quadrante*, 25(2), 7-23. <https://doi.org/10.48489/quadrante.22935>
- Herrera, J. G. y Rodríguez, A. (2022). Inferencias Lógicas en el Contexto del Cálculo. [Microsoft Forms]. <https://forms.office.com/r/bP2qLmzzz5>
- Inglis, M. y Simpson, A. (2008). Conditional inference and advanced mathematical study. *Educational Studies in Mathematics*, 67, 187-204. <https://doi.org/10.1007/s10649-007-9098-9>
- Ivars, P., Fernández, C. y Linares, S. (2020). Uso de una trayectoria hipotética de aprendizaje para proponer actividades de instrucción. *Enseñanza de las Ciencias*, 38(3), 105-124. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2947>
- Leikin, R. y Dinur, S. (2003). Patterns of flexibility: teachers' behavior in mathematical discussion. En M. A. Mariotti (Ed.), *Electronic Proceedings of the 3rd Conference of the European Society for Research in Mathematics Education*.

- Noya, S. I. y Adúriz-Bravo, A. (2023). Dificultades con los modos inferenciales falaces en estudiantes de matemática y física. *Revista de Educación Matemática*, 38(3), 28-58.
<https://doi.org/10.33044/revem.43986>
- Simon, M. A. y Tzur, R. (2004). Explicating the role of mathematical tasks in conceptual learning: an elaboration of the hypothetical learning trajectory. *Mathematical Thinking and Learning*, 6(2), 91-104. https://doi.org/10.1207/s15327833mtl0602_2
- Stylianides, A. J., Stylianides, G. J. y Philippou, G. N. (2004). Undergraduate students' understanding of the contraposition equivalence rule in symbolic and verbal contexts. *Educational Studies in Mathematics*, 55, 133-162. <http://doi.org/10.1023/B:EDUC.0000017671.47700.0b>
- Stylianides, G. J. y Stylianides, A. J. (2009). Facilitating the transition from empirical arguments to proof. *Journal for Research in Mathematics Education*, 40(3), 314-352.
<https://doi.org/10.5951/jresmetheduc.40.3.0314>
- Stylianides, A. J. y Stylianides, G. J. (2018). Addressing key and persistent problems of students' learning: the case of proof. En A. Stylianides y G. Harel (Eds.), *Advances in Mathematics Education Research on Proof and Proving* (pp. 99-113). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70996-3_7
- Vosniadou, S. y Verschaffel, L. (2004). Extending the conceptual change approach to mathematics learning and teaching. *Learning and Instruction*, 14(5), 445-451.
<http://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.014>
- Watson, A. y Mason, J. (2005). *Mathematics as a constructive activity: learners generating examples*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781410613714>
- Zazkis, R. y Chernoff, E. J. (2008). What makes a counterexample exemplary?. *Educational Studies in Mathematics*, 68(3), 195-208. <http://doi.org/10.1007/s10649-007-9110-4>

A Hypothetical Learning Trajectory on the Logical Inference Called Denial of Antecedent

Juan Gabriel Herrera Alva

Universidad Autónoma Metropolitana campus Cuajimalpa, Ciudad de México, México.

jherrera@cua.uam.mx

Arturo Rodríguez Espinosa

Tecnológico Nacional de México campus Puebla, Puebla, México.

arturo.rodriguez@puebla.tecnm.mx

The article proposes the integration of various theoretical elements for the design and implementation of a hypothetical learning trajectory (HLT). It addresses the difficulties faced by university students when making logical inferences, specifically the denial of antecedent inference (DA). This inference consists in denying the premise and conclusion of a conditional proposition; that is, from the proposition, $p \rightarrow q$, $\neg p \rightarrow \neg q$ is deduced. This inferential mode is valid only when the double implication, $p \leftrightarrow q$, is fulfilled.

The use of the inferential mode DA appears frequently in students' reasoning, even when the proposition is valid only in one direction, which leads them to deduce erroneous conclusions. This turns out to be a key and persistent problem in students' deductive reasoning within a mathematical context.

The present study is situated in the context of infinite series, where the authors have identified throughout several calculus courses that many students interpret the divergence criterion of an infinite series incorrectly. This criterion is valid only in one direction, $p \rightarrow q$. However, students usually apply DA reasoning to extend the use of the criterion and thus determine the convergence of a series, even though the criterion is not useful for this purpose.

The present work addresses this problem through the design of an HLT focused on cognitive conflict and conceptual change, in addition to other theoretical elements. The pillars of conceptual awareness are applied to support the focus and increase the students' awareness of their previous conceptions, as well as the situations of institutionalization, where the model of logical inferences (MP, MT, DA and AC) support the design of the HLT tasks and serves as a frame of reference for the analysis of the data of the experimentation. The series that are integrated into the HLT were chosen following the recommendations of the theory of example spaces, trying to incorporate examples that are easily accessible and achievable after the instructor intervenes. Finally, a new analysis strategy (logical register) is proposed to support and validate an appropriate conceptual change.

The research was supported by the design-based research methodology (DBR), where the following activities were developed: a literature review to identify difficulties in deductive reasoning; the design of a hypothetical learning trajectory (HLT) based on relevant theoretical elements; the implementation of classroom interventions based on situations of cognitive conflict within the didactic framework of classroom interventions, addressing key and persistent problems; and the evaluation of conceptual change through the students' actual learning trajectories (ALT).

The results obtained suggest that the design of the HLT and its implementation have led to significant improvements in the understanding and development of students' deductive reasoning skills, using symbolization and logical analysis strategies, after the intervention in the classroom. This work contributes to the few studies that have been carried out to promote a better understanding of logical inferences, in particular DA, within a mathematical context in real classroom situations.



STEM, programación e indagación en futuros maestros/as. Evaluación del proyecto iSTEMduino

STEM, Programming and Inquiry in Pre-Service Teachers. Evaluation of the iSTEMduino Project

Julio Ballesta-Claver, Raúl Roura Redondo, Carlos Jerez del Valle, M.^a Fernanda Ayllón Blanco
Departamento de Didáctica de las Ciencias. Centro de Magisterio La Inmaculada (CMLI). Universidad de Granada. Granada (España)
juliosci@cmlí.es, raulroura@cmlí.es, carlosjerez@cmlí.es, mayllonblanco@cmlí.es

RESUMEN • El enfoque STEM presenta dificultades de aplicación en las aulas de educación primaria por su carácter interdisciplinar y por la escasa preparación del profesorado, especialmente en las áreas de ingeniería y tecnología. Por ello, se propone el proyecto universitario iSTEMduino. A partir de un diseño cuasiexperimental pretest-postest, se preparó un instrumento ($\alpha_{\text{Cronbach}} = 0,68$; KMO: 0,71) para comprobar su efectividad en futuros maestros/as. Ello dio como resultado un aumento del interés e identidad STEM, en especial en las habilidades de programación y el uso de sensores (Arduino), gracias a una metodología de indagación basada en el diseño. Se fomentó la implicación de las mujeres, no ofreciendo ningún impedimento los estudios previos. Se optó más por un equilibrio tanto de la experimentación como de la modelización, lo que generó una propuesta efectiva y viable.

PALABRAS CLAVE: STEM; Aprendizaje por indagación; Modelización; Arduino; Entornos de programación.

ABSTRACT • The STEM approach is difficult to apply in Primary Education due to its interdisciplinary nature and the lack of teacher training, especially in engineering and technology. Therefore, iSTEMduino, a university project, is proposed. Based on a quasi-experimental pretest-posttest design, an instrument was prepared ($\alpha_{\text{Cronbach}} = 0.68$; KMO: 0.71) to evaluate its effectiveness in pre-service teachers. As a result, an increased interest in and identity with STEM, particularly in programming skills and the use of sensors (Arduino), was achieved through a design-based inquiry methodology. Women's involvement was encouraged, unhindered by previous studies, a balance between experimentation and modelling was chosen, resulting in an effective and feasible proposal.

KEYWORDS: STEM; Inquiry-based learning; Modelling; Arduino; Programming environments.

Recepción: agosto 2023 • Aceptación: octubre 2024 • Publicación: marzo 2025

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el profesorado de educación primaria tiene dificultades para enseñar aspectos tecnológicos, de programación y de ingeniería debido a su falta de formación durante sus estudios universitarios (Ahmed et al., 2023; Tsai et al., 2022). Por otro lado, las matemáticas y las ciencias experimentales siguen siendo unas áreas arduas y desmotivadoras para una gran mayoría de futuros maestros/as, debido a las experiencias negativas obtenidas en las etapas anteriores, actitud que se acentúa cada año (Castro-Rodríguez y Montoro, 2021).

De ahí la razón de ofrecer alternativas que subsanen estos dos inconvenientes, siendo el enfoque STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) una muy buena opción (García-Carmona, 2020). STEM es un estilo de enseñanza que procura ofrecer aprendizajes en contextos reales, motivantes y aplicables. Surgió hace treinta años en Estados Unidos para contribuir al desarrollo económico, científico y tecnológico de un país (Botero Espinosa, 2018). Este enfoque tiene la peculiaridad de desarrollar el conocimiento, la comprensión, el pensamiento crítico y el papel activo del estudiante en las áreas que lo integra, fomentando las vocaciones científicas (Noris et al., 2023). Además, STEM pretende romper con los estereotipos socioculturales generalizados, potenciando la igualdad de oportunidades para ambos géneros, promoviendo modelos y roles para que las chicas se animen a elegir carreras científico-técnicas (Martín Carrasquilla et al., 2022; Rossi Cordero y Barajas Frutos, 2015). En España, este enfoque ya es una realidad a partir del Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, de Educación Primaria, en el que se incorpora la *competencia matemática y competencia en ciencia, tecnología e ingeniería (STEM)*. Por tanto, son necesarias propuestas universitarias que den respuesta a este enfoque.

STEM aporta beneficios en tres aspectos: cognitivo, procedimental y actitudinal, lo que facilita la transferencia de conocimientos a otros contextos y aumenta el rendimiento escolar. Además, permite potenciar la creatividad y el desarrollo de la tecnología (Martín Páez et al., 2019). STEM incorpora los elementos educativos necesarios para «aprender haciendo» (Domènech-Casal et al., 2019; Margot y Kettler, 2019) a través de procedimientos constructivistas del aprendizaje, siendo los más empleados los *aprendizajes basados en proyectos* o *en la indagación*, habiendo de este último dos enfoques complementarios, que serán los que se tratarán en este trabajo (Castro-Rodríguez y Montoro, 2021; Couso et al., 2022):

1. La *Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación (ECBI)*, cuyas siglas en inglés son *Inquiry-Based Science Education (IBSE)*, se caracteriza por potenciar más la conceptualización de los contenidos y las destrezas experimentales (Albertos Gómez, 2022; Strat et al., 2023). Mosquera Bargiela et al. (2018) explican que todo debe comenzar con una observación en la que, a través de preguntas, se emiten hipótesis que se contrastarán mediante la experimentación de forma sencilla, lo que genera varios ciclos de indagación hasta su resolución. Esta metodología IBSE emplea actividades manipulativas, que se denominan *hands-on activities*, a modo de un aprendizaje basado en problemas, pero de forma experimental (Juškevičienė et al., 2021).
2. La *indagación basada en modelos (IBM)*, o su término anglosajón *Model-Based Inquiry (MBI)* (Martínez-Chico et al., 2014), se basa en interpretar, construir o modelizar representaciones simples de la realidad capaces de describir y predecir fenómenos científicos (Martínez Chico et al., 2015; Schwarz et al., 2009; Windschitl et al., 2008), modelos que presentan la característica de ser multidimensionales y significativos (maquetas a escala, esquemas visuales, simulaciones, expresiones matemáticas, etc), a partir del ciclo de crear, probar y revisar modelos (Jiménez-Liso et al., 2020, 2022; Louca y Zacharia, 2023; Schwarz et al., 2022), configurando las *minds-on activities* (Cooper et al., 2022; Passmore et al., 2009).

En la actualidad, Jiménez-Liso et al. (2022) apuestan por un método de indagación que integre las bondades de ambos enfoques mediante una actuación secuencial de ciclos de indagación experimental con ciclos posteriores de modelización.

Sin embargo, lo más importante de la educación STEM es la interdisciplinariedad. Esta puede ocurrir integrando las distintas áreas que la componen en varios niveles (dos, tres o el total de áreas), pudiendo una de ellas focalizar el motor del aprendizaje (Couso et al., 2022; De Pro Bueno y Nortes Martínez-Artero, 2016). Es importante destacar que en la mayoría de los trabajos denominados STEM existe una falta de detalle en la integración de contenidos con las disciplinas, lo que está generando controversias (Martín Páez et al., 2019). Esta integración debe basarse en las similitudes entre áreas. De ellas, la ingeniería sigue siendo la gran ausente y, además, la más provechosa, debido a que puede conectar perfectamente con todas ellas, y facilitar la creación de modelos prácticos por medio del ensayo-error, empleando para ello la tecnología de la programación y la robótica (So et al., 2018), a través de (Martín Páez et al., 2019): 1) *Scratch*, un lenguaje de programación visual por bloques, interactivo y asequible, de libre acceso, que permite crear juegos, historias interactivas, animaciones, música o arte (Dúo-Terrón, 2023; Holo et al., 2022), que puede servir como entorno de programación de 2) *Arduino*, una placa microcontroladora *low cost*, de código abierto (Wiring) o de simulación por bloques (plataforma Tinkercad) (García-Tudela y Marín-Marín, 2023), con la posibilidad de crear dispositivos de movimiento (motores) o de recogida de información del exterior (sensores) (Moya, 2019; Papadimitropoulos et al., 2021; Pino et al., 2019; Qutieshat et al., 2019). Esta configuración constituye una herramienta muy valiosa para implementar el trabajo experimental en la enseñanza de las ciencias experimentales y las matemáticas mediante productos de ingeniería con base tecnológica (Koyunlu Ünlü y Dökme, 2022; Papadimitropoulos et al., 2021).

En consecuencia, este trabajo adoptará la premisa anterior formulada para formar a los futuros maestros/as en la ingeniería y la tecnología a través de la creación de un pH metro casero, utilizando conceptos de química, así como configurar una estación meteorológica (conceptos de física) o una simulación de posibles situaciones probabilísticas (matemáticas) mediante la programación, donde los contenidos matemáticos y científicos cobrarán vida a través del diseño (ingeniería), hasta llegar a conformar un STEM útil a raíz de las indicaciones de Toma y García-Carmona (2021): una integración de áreas real (curricular y didáctica), así como de una resolución significativa de problemas, de manera que el futuro profesorado se conciencie y adquiera habilidades STEM para su ejercicio profesional posterior.

MATERIALES Y MÉTODOS

Hipótesis

La hipótesis consiste en que una intervención STEM basada en el diseño y la tecnología, empleando problemas reales, fomentará la motivación, la igualdad, las habilidades de programación y el aprendizaje de conceptos científico-matemáticos gracias a la indagación.

A raíz de ello, el proyecto se denominará iSTEMduino, siendo diferente al iSTEM que aparece en la bibliografía respecto al término *i*, que se asocia con la integración o la imaginación (Couso et al., 2022; Toma y García-Carmona, 2021). La denominación iSTEMduino significará: 1) «i» de indagación y fomento de la igualdad de género; 2) «STEM», el enfoque principal en el que se basa; y 3) «duino», utilización de Arduino y su entorno de programación (Wiring/Scratch/Tinkercad).

Objetivos

Este trabajo pretende alcanzar una serie de objetivos, los cuales son: 1) evaluar el efecto de la intervención iSTEMduino a través de un cuestionario; 2) fomentar la *identidad* STEM (Grimalt-Álvaro y Couso, 2022; Perales Palacios y Aguilera, 2020), que consiste en la repercusión social, interés y grado de aceptación del enfoque STEM para el posterior ejercicio profesional; 3) impulsar las habilidades tecnológicas y de programación; y 4) promover la aplicabilidad de las áreas STEM a partir de la tecnología y la programación mediante metodologías basadas en la indagación.

Participantes

El estudio fue llevado a cabo con 129 futuros maestros/as del grado de Educación Primaria del centro de magisterio La Inmaculada (CMLI) de la Universidad de Granada, de edades comprendidas entre 18-33 años, de media 20,1 y desviación estándar de 2,6 ($20,1 \pm 2,6$). El 45,7 % fueron hombres y el 54,3 % mujeres. Los estudiantes provenían de: 1) ciencias experimentales (31,0 %) y 2) ciencias sociales (69,0 %), de los cuales, un 61,2 % cursaron humanidades, un 3,1 % artes, un 3,9 % formación profesional y un 0,8 % otros estudios.

Instrumento: validación y fiabilidad

Se confeccionó un instrumento o cuestionario consistente en diez ítems graduados con una escala Likert en cinco niveles, para averiguar las motivaciones, las inquietudes y el conocimiento sobre el enfoque STEM, las habilidades tecnológicas y de programación, la aplicabilidad de los contenidos matemáticos y científicos y las opiniones sobre el género y las metodologías utilizadas (véase tabla 1).

Los programas que se emplearon para todo el tratamiento estadístico fueron tanto el programa SPSS (v. 25) como el *software* libre R (v.4.4.1), bajo programación con RStudio (2024.04.2, versión 764).

La validez del contenido del cuestionario se realizó mediante un juicio de cuatro expertos pertenecientes a diferentes campos (ciencias experimentales, matemáticas y pedagogía) (Martínez Ques et al., 2022), en el que se sugirieron cambios relacionados con la redacción, así como la eliminación de tres ítems, obteniéndose una valoración óptima global (W de Kendall) de 0,755, $p < 0,001$ (p es el valor de la probabilidad expresado sin porcentaje).

Tabla 1.
Instrumento diseñado para este proyecto (pretest-postest)

Ítem	Cuestiones	Respuestas
1	¿Cuál es tu conocimiento sobre aspectos educativos de circuitos eléctricos, programación y uso de sensores?	Nula (1) (2) (3) (4) (5) Excelente
2	¿Te interesaría profundizar en los conceptos de programación y robótica para aplicarlos como docente?	No, no es necesario (1) (2) (3) (4) (5) Sí, si me interesa
3	¿Es una buena idea juntar los enfoques de matemáticas, ciencias, tecnología e ingeniería para el aprendizaje?	No, para nada (1) (2) (3) (4) (5) Sí, muy conveniente
4	¿Cuál es tu interés con respecto a la programación, circuitos integrados y uso de sensores?	Ninguno (1) (2) (3) (4) (5) Bastante

Ítem	Cuestiones	Respuestas
5	¿Comprender los conceptos científicos de electricidad (voltaje, intensidad y resistencia) podrían ser útiles para el día a día?	No lo creo (1) (2) (3) (4) (5) Sí, mucho
6	¿Cómo ves el hecho de hacer programación?	Algo complicado (1) (2) (3) (4) (5) Algo entendible y útil
7	¿Qué importancia crees que tendrá la enseñanza de la programación en estudiantes de primaria?	Ninguna (1) (2) (3) (4) (5) Muchísima
8	¿Crees que es muy complicado el crear y programar una estación meteorológica casera?	Sí, totalmente (1) (2) (3) (4) (5) No, es algo factible
9*	La programación y la tecnología, ¿crees que son temas de chicos, de chicas o de ambos?	Chicas (1) (2) (3) (4) (5) Chicos
10*	¿Qué hace comprender mejor los fenómenos: la experimentación o la modelización de lo ocurrido?	Experimentación (1) (2) (3) (4) (5) Modelización

En las últimas dos preguntas, el valor «3» corresponde a un resultado intermedio: igualdad (ítem 9) y metodología mixta (ítem 10).

Por otro lado, la validez del constructo se llevó a cabo mediante un análisis factorial exploratorio. La adecuación factorial Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que correlaciona pares de variables (Cohen et al., 2017), genera, tanto para el pretest como para el postest, lo siguiente: 1) pretest: 0,71, y obtiene para la prueba de esfericidad de Barlett un 213,17 ($p < 0,001$), y 2) postest: 0,86 y 407,72 para la prueba de Barlett ($p < 0,001$). Estos datos consideran que los ítems se pueden agrupar, lo que origina diferentes categorías o factores, en concreto, un total de tres, a partir de la utilización del método de rotación Varimax con normalización Kaiser-Guttman, el cual explicó el 53,5 % de la varianza (ver tabla 2) (Cobos Alvarado et al., 2016; Moafian et al., 2019). Los factores obtenidos fueron: 1) *Factor 1*: programación, robótica e identidad STEM; 2) *Factor 2*: habilidades tecnológicas y de programación; y 3) *Factor 3*: Orientaciones intervencionales respecto a: 3.1) *igualdad de género* y 3.2) *metodología de indagación (IBSE-MBI)*.

Tabla 2.
Factores obtenidos a partir del análisis factorial exploratorio del instrumento

	<i>Factor 1</i> <i>Programación, robótica e identidad STEM</i>	<i>Factor 2</i> <i>Habilidades tecnológicas y de programación</i>	<i>Factor 3</i> <i>Orientaciones intervencionales</i> <i>3.1 Igualdad (ítem 9)</i> <i>3.2 Metodología de indagación (ítem 10)</i>
Ítems (pretest/postest)	2, 3, 4, 5, 7	1, 6, 8	9, 10
% Varianza	28,5	13,2	11,8
% Acumulado	28,5	41,7	53,5
Kaiser-Guttman (valores característicos > 1)	1,69	1,15	1,09

La fiabilidad del instrumento (consistencia interna) se garantizó a raíz de los resultados del criterio de alfa de Cronbach (Deng y Chan, 2017; Peters, 2014): 1) $\alpha_{\text{pretest}} = 0,68$; 2) $\alpha_{\text{postest}} = 0,80$. El valor de alfa muestra una fiabilidad moderada en primera instancia, que mejora considerablemente tras la intervención.

Diseño estadístico

Se realizó un diseño cuasiexperimental, en concreto un diseño longitudinal de medidas repetidas, pretest-postest, sin grupo control. Debido a esta limitación, se controlaron variables externas, como posibles cambios actitudinales ajenos a la propuesta y la prevención de la mortalidad experimental (Bono Cabré, 2012; Mcmillan y Schumacher, 2013). La prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov, con corrección Lilliefors (Mohd Razali y Bee Wah, 2011), dio valores de $p < 0,05$, por lo que se emplearon pruebas no paramétricas de contraste pretest-postest (prueba de Wilcoxon), midiéndose, en todos los casos de significatividad estadística, el tamaño del efecto (r), cuyos valores ofrecen un pequeño (0,10 - 0,3), moderado (0,30 - 0,5) o gran efecto ($\geq 0,5$), según el caso (J. Cohen, 1988). Para las comparaciones entre género, grupos (ciencias experimentales-ciencias sociales) o tests, se realizó la prueba U de Mann-Whitney para muestras no relacionadas (Berlanga Silvestre y Rubio Hurtado, 2012).

Intervención y procedimiento

Toda la intervención estuvo bajo un enfoque interdisciplinar STEM debido a la importancia que puede aportar este tipo de actuaciones en el futuro profesorado de educación primaria a raíz de la legislación vigente. Durante la intervención, se realizaron debates sobre sus fundamentos teóricos, el proceso de diseño de la ingeniería y su aplicabilidad en las clases de ciencias y matemáticas.

Con respecto a las áreas, las matemáticas y las ciencias aportaron los contenidos. La tecnología se encargó de introducir recursos y materiales con orientación procedimental (ordenadores, sensores, placas base, programas de simulación, pantallas, conectores, etc.) y, con respecto a la ingeniería, tuvo el papel del diseño de los miniproyectos y la secuenciación de las actividades a partir de: 1) crear; 2) probar; 3) optimizar (ensayo-error) y 4) argumentar (Botero Espinosa, 2018; Simarro Rodríguez y Couso Lagaron, 2022), adoptando las directrices del aprendizaje por indagación (IBSE-MBI), las cuales se comentarán a continuación.

La intervención se clasificó en dos tipos de actuaciones (niveles básico y avanzado). En el nivel básico, se ensayaron los conceptos fundamentales de programación por bloques (Scratch) de forma interactiva (IBSE), donde el futuro profesorado modelizó (MBI) programas probabilísticos, como un programa de adivinación de respuesta aleatoria (bola mágica) y un sencillo Plinko baloncestista (regla de Laplace y probabilidad condicionada) (figura 1A). En el nivel avanzado, se empleó material de Arduino (IBSE), creando un pH metro casero, dos estaciones meteorológicas y un sensor de lluvia y de humedad del suelo (contenidos científicos). Para ello, se interactuó con el lenguaje de programación Wiring, junto con la plataforma Tinkercad (IBSE), la cual incorpora la programación por bloques de Scratch y material Arduino simulado. Posteriormente, se comprendió la importancia de la formulación matemática (conversión de unidades y relación entre variables), así como la lógica de la programación para poder calibrar los anteriores sensores (MBI), generando diseños virtuales o prototipos tanto reales como simulados (véase figuras 1B y 2). Además, se establecieron grupos de trabajo, disponiendo siempre de un líder en cada grupo, con la condición de que hubiera el mismo número de líderes masculinos y femeninos en el aula.

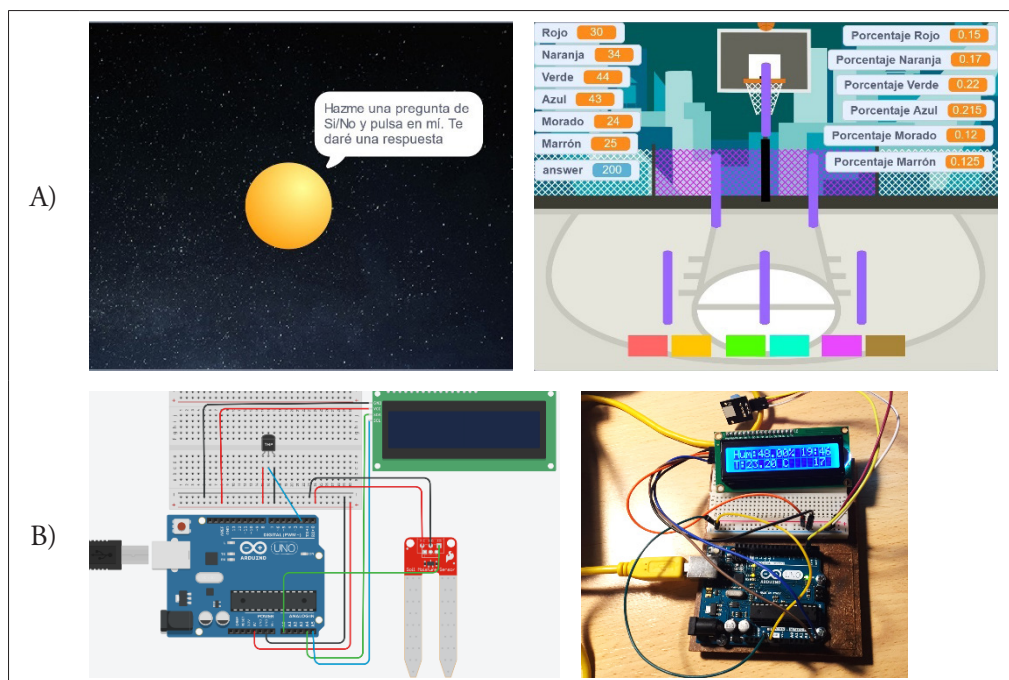


Fig. 1. Ejemplos de: A) programación con Scratch: la bola mágica y la regla de Laplace baloncestista; B) sensor de temperatura y humedad de suelo simulado con Tinkercad (izquierda); programación de miniestación meteorológica con sensores y Arduino (derecha). Fuente: elaboración propia.

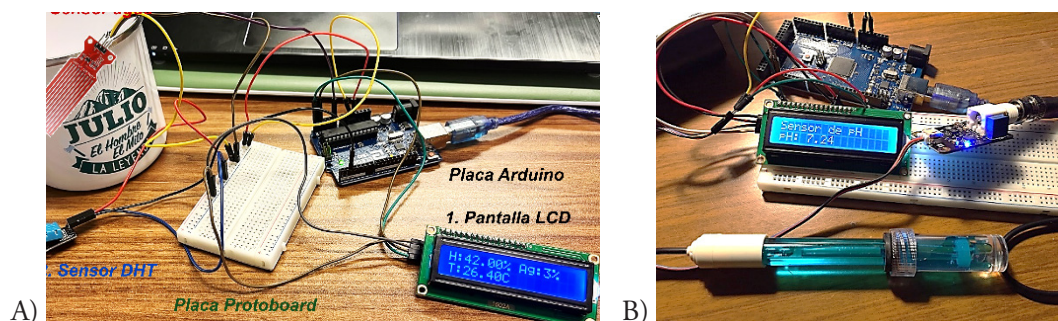


Fig. 2. A) estación meteorológica casera; B) pH metro *low cost*. Fuente: elaboración propia.

A continuación, se detallan las actividades junto a las metodologías de indagación que fueron implementadas:

- Actuación 1. Nivel básico: conceptos de programación (Scratch) (duración 1 semana).

Actividad 1.1. Iniciación al uso de Scratch (IBSE: interacción y aprendizaje con la plataforma. Uso de bloques, *sprites*, etc.).

Actividad 1.2. Probabilidad programada (MBI: creación de modelos virtuales de probabilidad: bola mágica y regla de Laplace. Programación por bloques. Figura 1A).

- Actuación 2. Nivel avanzado: uso de sensores (Arduino), manipulación experimental (IBSE) y modelización (MBI) (duración 3 semanas).

- Actividad 2.1. Programación orientada a objetos con elementos de Arduino: de Scratch a Tinkercad (IBSE: interacción y aprendizaje de la nueva plataforma con elementos de Arduino simulado. Pequeños proyectos mediante aprendizaje interactivo).
- Actividad 2.2. Arduino experimental: fundamentos y materiales (IBSE: aprendizaje interactivo con placas microcontroladoras, LED, conectores y sensores).
- Actividad 2.3. Creación de una miniestación meteorológica: sensor de humedad y temperatura (MBI: diseñar prototipo virtualmente mediante Tinkercad y programación por bloques; IBSE: creación real con placas, sensores y pantalla LCD; figura 1B_{derecha}).
- Actividad 2.4. Introducción al lenguaje de programación Wiring (IBSE: aprendizaje interactivo a partir de ejemplos).
- Actividad 2.5. Programar una instrucción con el objetivo de resolver problemas matemáticos: condicionantes y operadores de comparación con algoritmos para Arduino (MBI: creación de expresiones matemáticas lógicas).
- Actividad 2.6. Monitorización de temperatura y humedad del suelo (MBI: diseño virtual con Tinkercad, programación y calibración; figura 1B_{izquierda}; IBSE: montaje real).
- Actividad 2.7. Estación meteorológica casera: pluviómetro, temperatura y humedad (conceptos de presión y temperatura; IBSE: montaje interactivo de placas, sensores y pantalla LCD. MBI: diseño y programación por bloques (Tinkercad) y Wiring. Calibrado de sensores a través de modificaciones de expresiones lógicas; figura 2A).
- Actividad 2.8. Creación de un pH metro *low cost* (concepto de pH; IBSE: montaje interactivo de placas, sensor pH y LCD; figura 2B; MBI: programación facilitando ejemplo de programa Wiring que modificar. Diseño y calibrado del sensor a través de expresiones lógicas y empleo de disoluciones patrón).

Todo el material utilizado, así como los soportes visuales, programas y materiales, puede consultarse aquí: <https://cmlt.es/investigacion/proyecto-istemduino/>

Resultados y discusión

Resultados globales por factores

A partir de la prueba de Wilcoxon (pretest-postest), se obtuvieron los siguientes resultados:

- *Factor 1 (Programación, robótica e identidad STEM)*: se obtiene un cambio significativo para esta categoría (pretest: $3,60 \pm 0,68$; postest: $3,89 \pm 0,70$; $V = 1104,0$, $p < 0,001$), con un moderado tamaño de efecto: $r = 0,49$. Podemos observar que el punto de partida de este factor era discretamente satisfactorio y que, tras la propuesta, se obtiene una moderada mejora sobre el interés, los conocimientos y la utilidad de la *programación y robótica*, así como de la *identidad STEM*, lo que asegura su aplicación por los futuros maestros/as (Perales Palacios y Aguilera, 2020).
- *Factor 2 (habilidades tecnológicas y de programación)*: se obtiene un cambio significativo con un gran tamaño de efecto (pretest: $2,48 \pm 0,78$; postest: $3,56 \pm 0,79$; $V = 92,5$, $p < 0,001$, $r = 0,82$). Tras las sesiones, el futuro profesorado tiene la percepción de incrementar sus habilidades tecnológicas y de programación, aspecto que se confirmó al observar un avance progresivo de acierto de los retos propuestos. Ello les permitió enfrentar creencias negativas del pasado, y adquirir más elementos para seguir incrementando su *identidad STEM*, como así afirman Grimalt-Álvarez y Couso (2022).
- *Factor 3 (Orientaciones intervencionales)*. Este factor no presenta cambios ($V = 1606,5$, $p = 0,444$). Sin embargo, en sus subcategorías, sí se observan diferencias:

- 3.1 *Igualdad de género (ítem 9)*. El valor óptimo corresponde al valor de «3», el cual implica la igualdad. Valores menores supone «temas de chicas» y valores superiores a «temas de chicos». Por tanto, se detecta un pequeño acercamiento a favor de la igualdad: pretest: $3,63 \pm 0,70$; posttest: $3,43 \pm 0,66$; $V = 1250,0$, $p = 0,007$, $r = 0,23$, sesgando moderadamente la balanza al género masculino.
- 3.2 *Metodología de indagación IBSE-MBI (ítem 10)*. El valor óptimo también corresponde al valor de «3», el cual implica un uso equiparable de ambas metodologías, que es el valor que se obtiene en ambos casos: pretest: $2,81 \pm 0,91$; posttest $2,90 \pm 0,97$; $V = 784,5$, $p = 0,319$. Los futuros maestros/as, tras la intervención, siguen apostando por una indagación mixta de experimentación y modelización, lo que da un resultado muy positivo para STEM, ya que lo indicado va en consonancia con las últimas investigaciones realizadas (Jiménez-Liso et al., 2022; Simarro Rodríguez y Couso Lagaron, 2022).

Tabla 3.
Resultados de los factores para los cuestionarios pretest-postest

Factor		Pretest	Postest	Prueba de Wilcoxon
Factor 1 (Ítems 2, 3, 4, 5, 7) Programación, robótica e identidad STEM		$3,60 \pm 0,68$	$3,89 \pm 0,70$	$V = 1104,0$ $p < 0,001$ Moderado efecto ($r = 0,49$)
Factor 2 (Ítems 1, 6, 8) Habilidades tecnológicas y de programación		$2,48 \pm 0,78$	$3,56 \pm 0,79$	$V = 92,5$ $p < 0,001$ Gran efecto ($r = 0,82$)
Factor 3* (Ítems 9, 10)	Global	$3,22 \pm 0,42$	$3,17 \pm 0,65$	$V = 1606,5$ $p = 0,444$
	3.1 Igualdad (Ítem 9)	$3,63 \pm 0,70$	$3,43 \pm 0,66$	$V = 1250,0$ $p = 0,007$ Pequeño efecto ($r = 0,23$)
	3.2 Metodologías IBSE-MBI (Ítem 10)	$2,81 \pm 0,91$	$2,90 \pm 0,97$	$V = 784,5$ $p = 0,319$

*Este factor presenta una graduación diferente. El valor óptimo corresponde al valor de 3.

Como se puede comprobar, se alcanzan los objetivos y se confirma, en casi su totalidad, la hipótesis propuesta, y se necesita mejorar la concienciación de igualdad.

Debido a la singularidad del factor 3, se estudiarán solo sus subcategorías, ya que en su forma global no se obtienen resultados significativos para los siguientes análisis.

Resultados de los factores a partir de la diferenciación por género

La diferenciación por género empleó la prueba de Wilcoxon junto a un estudio comparativo entre cada pretest y postest (prueba U de Mann-Whitney), lo que dio los siguientes resultados (tabla 4):

- Factor 1:
 - Efecto de la propuesta: se observa que el cambio del pretest al postest es significativo en ambos géneros, presentando un ligeramente mayor efecto en las mujeres (mujeres: $V = 285,0$; $p < 0,001$; $r = 0,55$; hombres: $V = 278,0$; $p = 0,001$; $r = 0,42$).
 - Comparativa: la comparación entre tests, tanto iniciales como finales, no muestra diferencias significativas: 1) $\text{pretest}_{\text{mujeres}} - \text{pretest}_{\text{hombres}}$: $U = 1813,5$; $p = 0,233$; 2) $\text{postest}_{\text{mujeres}} - \text{postest}_{\text{hombres}}$: $U = 1946,0$; $p = 0,573$. Se puede concluir que ambos géneros han obtenido un mejor interés, conocimientos y utilidad de la *programación y robótica*, así como de la *identidad STEM*. Sin embargo, son las mujeres las que más han avanzado que, como indican Dökme et al. (2022) en su estudio, su motivación depende más de participar en propuestas de este tipo que en tener en cuenta otras variables, como los niveles educativos de los progenitores o tener familiares y amigos inmersos en dichas áreas.
- Factor 2:
 - Efecto de la propuesta: en ambos géneros, se observa un cambio significativo de gran efecto: (mujeres: $V = 12,0$; $p < 0,001$; $r = 0,84$; hombres: $V = 36,5$; $p < 0,001$; $r = 0,81$).
 - Comparativa: las mujeres ($2,26 \pm 0,77$) parten de la opinión de tener menos habilidades a diferencia de los hombres ($2,75 \pm 0,72$) (pretest: $U = 1359,5$; $p < 0,001$; $r = 0,30$). A su término (mujeres: $3,44 \pm 0,83$; hombres: $3,71 \pm 0,72$), se obtiene un gran avance, y se reduce la diferencia (postest: $U = 1664,0$; $p = 0,044$; $r = 0,18$), resultados que muestran que el género no parece ser un elemento diferenciador de aptitudes tecnológicas y de programación, como también se afirma en Rossi Cordero y Barajas Frutos (2015).
- Factor 3 (se atenderá a sus subcategorías por su significancia):
 - Factor 3.1 (Igualdad):
 - Efecto de la propuesta: solamente, en el caso de las mujeres, se muestra un efecto significativo de moderado efecto ($V = 495,0$; $p = 0,002$; $r = 0,36$; pretest: $3,57 \pm 0,71$; postest: $3,24 \pm 0,52$), con un acercamiento hacia la igualdad (valores cercanos a 3). En cambio, en los hombres, no existe cambio de opinión ($V = 173,5$; $p = 0,758$; pretest: $3,69 \pm 0,68$; postest: $3,66 \pm 0,73$), donde se mantiene un valor medio alejado de la igualdad.
 - Comparativa: se parte de similares opiniones iniciales (pretest: $U = 1853,0$; $p = 0,272$), y se fija la tendencia ligeramente hacia los hombres, en torno al 3,6. En cambio, al final, se observa un cambio moderado de opinión por parte de las mujeres (postest: $U = 1439,5$; $p < 0,001$; $r = 0,30$), las cuales se inclinan más por la igualdad ($3,24 \pm 0,52$) tras experimentar la propuesta, incentivando su interés y habilidades, aspectos que parecen no haber sido advertidos por parte de los hombres.
 - Factor 3.2 (IBSE-MBI):
 - Efecto de la propuesta: no se observan cambios del pretest al postest en ambos géneros (mujeres: $V = 191,5$, $p = 0,798$; hombres: $V = 206,5$, $p = 0,253$).
 - Comparativa: las opciones iniciales y finales dan situaciones similares (pretest: $U = 2081,5$, $p = 0,934$; postest: $U = 1920,5$, $p = 0,459$), sin que hayan cambios, y se opta finalmente por un método mixto entre las metodologías de indagación (IBSE-MBI), no siendo el género un elemento diferenciador en este aspecto.

Tabla 4.
Resultados por factores diferenciando por género

Ítem	Test	Mujeres	Hombres	Prueba U de Mann-Whitney
Factor 1	Pretest	3,54 ± 0,68	3,68 ± 0,67	U = 1813,5 p = 0,233
	Posttest	3,85 ± 0,74	3,93 ± 0,65	U = 1946,0 p = 0,573
	Prueba Wilcoxon	V = 285,0 p < 0,001 Gran efecto (r = 0,55)	V = 278,0 p = 0,001 Moderado efecto (r = 0,42)	
Factor 2	Pretest	2,26 ± 0,77	2,75 ± 0,72	U = 1359,5 p < 0,001 Pequeño efecto (r = 0,30)
	Posttest	3,44 ± 0,83	3,71 ± 0,72	U = 1644,0 p = 0,044 Pequeño efecto (r = 0,18)
	Prueba Wilcoxon	V = 12,0 p < 0,001 Gran efecto (r = 0,84)	V = 36,5 p < 0,001 Gran efecto (r = 0,81)	
Factor 3.1	Pretest	3,57 ± 0,71	3,69 ± 0,68	U = 1853,0 p = 0,272
	Posttest	3,24 ± 0,52	3,66 ± 0,73	U = 1439,5 p < 0,001 Pequeño efecto (r = 0,30)
	Prueba Wilcoxon	V = 495,0 p = 0,002 Moderado efecto (r = 0,36)	V = 173,5 p = 0,758	
Factor 3.2	Pretest	2,79 ± 1,01	2,83 ± 0,79	U = 2081,5 p = 0,934
	Posttest	2,83 ± 1,02	2,98 ± 0,90	U = 1920,5 p = 0,459
	Prueba Wilcoxon	V = 191,5 p = 0,798	V = 206,5 p = 0,253	

Resultado de los factores diferenciando según los estudios previos

A partir de los dos grupos existentes: 1) grupo de ciencias experimentales (estudios de bachillerato de ciencias y tecnología: 31,0 % del alumnado) y 2) grupo de ciencias sociales (humanidades, artes, formación profesional y otros: 69,0 % del alumnado), se realizó la prueba de Wilcoxon, junto al estudio comparativo de pretests y postests (prueba U de Mann-Whitney), lo que dio los siguientes resultados (véase tabla 5):

- Factor 1:
 - Efecto de la propuesta: se observa un cambio significativo de efecto moderado similar del pretest al posttest para ambos grupos (ciencias experimentales: V = 147,5; p = 0,003; r = 0,48; ciencias sociales: V = 469,0; p < 0,001; r = 0,48), con un resultado cercano al número 4 tras la propuesta.

- Comparativa: ambas situaciones iniciales y finales no presentan diferencias significativas, lo que da resultados similares en ambos tests (pretest: $U = 1832,5$, $p = 0,790$; posttest: $U = 2001,0$; $p = 0,259$), por lo que no influyen los estudios previos en este factor, ya que ambos grupos mejoran por igual tras la propuesta, lo que da resultados acordes a los que obtuvieron también Dökme et al. (2022).
- Factor 2:
 - Efecto de la propuesta: se observa un cambio significativo de gran efecto en ambos grupos: (ciencias experimentales: $V = 12,0$; $p < 0,001$; $r = 0,84$; ciencias sociales: $V = 39,0$; $p < 0,001$; $r = 0,82$).
 - Comparativa: en ambos grupos se parte de una misma opinión (pretest: $U = 1998,5$; $p = 0,263$), por la que las habilidades en el uso de la tecnología y la programación son bajas (ciencias experimentales: $2,59 \pm 0,90$; ciencias sociales: $2,43 \pm 0,73$). A su término (ciencias experimentales: $3,66 \pm 0,81$; ciencias sociales: $3,52 \pm 0,79$), llegan mínimamente a diferenciarse (posttest: $U = 2374,5$; $p = 0,002$, $r = 0,092$), por lo que, visto en su contexto, los estudios previos apenas son un criterio diferenciador para este factor.
- Factor 3:
 - Factor 3.1 Igualdad:
 - Mujeres:
 - Efecto de la propuesta: en ambos grupos se obtuvieron cambios significativos: 1) ciencias experimentales: $V = 36,0$; $p = 0,011$; $r = 0,72$. En este grupo (pretest: $4,00 \pm 0,85$; posttest: $3,27 \pm 0,46$), el cambio es drástico a favor de la igualdad (valores cercanos a «3»). En un principio, las futuras maestras consideran que las áreas de programación y robótica pertenecen más al ámbito de los chicos, debido en parte a sus experiencias previas (ambiente sociocultural, posibles estereotipos dentro del área y orientaciones profesionales) (Sparks, 2018); 2) ciencias sociales: $V = 265,5$; $p = 0,045$, $r = 0,25$. Su cambio es más leve (pretest: $3,45 \pm 0,63$; posttest: $3,24 \pm 0,54$), con un valor inicial más bajo debido posiblemente al no haber estado en el ambiente científico-tecnológico del otro grupo, y se obtiene una distinción entre grupos en la misma línea a los reflejados por Hernández Sempere y Espuny Vidal (2022).
 - Comparativa: efectivamente, se parte de pequeñas diferencias iniciales (pretest: $U = 557,5$; $p = 0,023$; $r = 0,27$). En cambio, tras la propuesta, se llega a una misma opinión (posttest: $U = 419,0$; $p = 0,917$), lo que da un valor medio cercano al 3,25.
 - Hombres:
 - Efecto de la propuesta: no se obtuvieron cambios significativos en ambos grupos: 1) ciencias experimentales: $V = 28,0$; $p = 0,152$; 2) ciencias sociales: $V = 92,0$; $p = 0,242$, lo que revela que la programación y la tecnología se encuentran un poco más ligadas al género masculino bajo la perspectiva de los hombres, imperando estereotipos, como generalmente se muestra en estudios recientes (Hernández Sempere y Espuny Vidal, 2022; Rossi Cordero y Barajas Frutos, 2015)
 - Comparativa: los futuros maestros parten de pequeñas diferencias iniciales (pretest: $U = 553,5$; $p = 0,029$; $r = 0,28$), como ocurría con las mujeres: los hombres provenientes de ciencias experimentales ($3,92 \pm 0,64$) consideran que estas áreas están más orientadas a los hombres, a diferencia de los procedentes de ciencias sociales ($3,53 \pm 0,66$), donde su inclinación es más moderada. A su término, el grupo de ciencias experimentales se aproxima al valor que ofrece el grupo de ciencias sociales, en el que este último no cambia su opinión tras la propuesta en donde

ambos ofrecen un valor cercano al 3,5, sin diferencias significativas (postest: $U = 469,5$; $p = 0,463$).

- Factor 3.2 (IBSE - MBI):
 - Efecto de la propuesta: con respecto a los provenientes de estudios de ciencias experimentales, se observan cambios moderados del pretest al postest (pretest: $2,50 \pm 0,78$; postest: $2,90 \pm 0,98$; $V = 40,0$; $p = 0,012$; $r = 0,42$), donde se aumenta la contribución de la modelización (MBI), equilibrando ambas metodologías tras las actividades realizadas. Con respecto a los provenientes de ciencias sociales, su opinión no varía tras la intervención (pretest: $2,94 \pm 0,93$; postest: $2,90 \pm 0,97$; $V = 441,5$; $p = 0,665$).
 - Comparativa: la opción inicial presenta pequeñas diferencias entre grupos (pretest: $U = 1233,0$; $p = 0,002$; $r = 0,27$). En cambio, la opción final da como resultado un mismo valor medio 2,90 (postest: $U = 1727,5$, $p = 0,773$), optando finalmente por una metodología mixta IBSE-MBI del enfoque STEM, centrado en el diseño (Simarro Rodríguez y Couso Lagaron, 2022).

Tabla 5.
Resultados por factores diferenciando por estudios previos
del alumnado (ciencias experimentales-ciencias sociales)

Ítem	Test	Ciencias experimentales	Ciencias sociales	Prueba U de Mann-Whitney
Factor 1	Pretest	$3,64 \pm 0,76$	$3,59 \pm 0,64$	$U = 1832,5$ $p = 0,790$
	Postest	$3,97 \pm 0,74$	$3,85 \pm 0,68$	$U = 2001,0$ $p = 0,259$
	Prueba Wilcoxon	$V = 147,5$ $p = 0,003$ Moderado efecto ($r = 0,48$)	$V = 469,0$ $p < 0,001$ Moderado efecto ($r = 0,48$)	
Factor 2	Pretest	$2,59 \pm 0,90$	$2,43 \pm 0,73$	$U = 1998,5$ $p = 0,263$
	Postest	$3,66 \pm 0,81$	$3,52 \pm 0,79$	$U = 2374,5$ $p = 0,002$ Pequeño efecto ($r = 0,092$)
	Prueba Wilcoxon	$V = 12,0$ $p < 0,001$ Gran efecto ($r = 0,84$)	$V = 39,0$ $p < 0,001$ Gran efecto ($r = 0,82$)	
Factor 3.1 (Mujeres)	Pretest	$4,0 \pm 0,85$	$3,45 \pm 0,63$	$U = 557,5$ $p = 0,023$ Pequeño efecto ($r = 0,27$)
	Postest	$3,27 \pm 0,46$	$3,24 \pm 0,54$	$U = 419,0$ $p = 0,917$
	Prueba Wilcoxon	$V = 36,0$ $p = 0,011$ Gran efecto ($r = 0,72$)	$V = 265,5$ $p = 0,045$ Pequeño efecto ($r = 0,25$)	
Factor 3.1 (Hombres)	Pretest	$3,92 \pm 0,64$	$3,53 \pm 0,66$	$U = 553,5$ $p = 0,029$ Pequeño efecto ($r = 0,28$)
	Postest	$3,72 \pm 0,61$	$3,62 \pm 0,82$	$U = 469,5$ $p = 0,463$

Ítem	Test	Ciencias experimentales	Ciencias sociales	Prueba U de Mann-Whitney
Factor 3.1 (Hombres)	Prueba Wilcoxon	V = 28,0 p = 0,152	V = 92,0 p = 0,242	
Factor 3.2	Pretest	2,50 ± 0,78	2,94 ± 0,93	U = 1233,0 p = 0,002 Pequeño efecto (r = 0,27)
	Postest	2,90 ± 0,98	2,90 ± 0,97	U = 1727,5 p = 0,773
	Prueba Wilcoxon	V = 40,0 P = 0,012 Moderado efecto (r = 0,42)	V = 441,5 p = 0,666	

Efecto global de la propuesta

A partir de la media aritmética de todos los ítems del cuestionario, recodificando para este apartado los ítems 9 y 10, de forma que sigan una escala de Likert ordinal con el número 5 como valor máximo para la igualdad y la metodología mixta IBSE-MBI, la intervención produjo un cambio significativo de gran efecto: pretest (3,33 ± 0,52); postest (3,83 ± 0,53); V = 1357,0, p < 0,001, r = 0,77, lo que significa que la propuesta presentada ha sido muy efectiva y satisfactoria, y se verifica en mayor medida la hipótesis y los objetivos propuestos.

Tabla 6.
Resultados finales sobre la propuesta de intervención *iSTEMduino*

Concepto	Resultado global		
	Pretest	Postest	Prueba de Wilcoxon
Media aritmética de ítems	3,33 ± 0,52	3,83 ± 0,53	V = 1357,0 p < 0,001 Gran efecto (r = 0,77)

CONCLUSIONES

El proyecto *iSTEMduino* ha permitido aplicar de forma favorable contenidos matemáticos y de ciencias experimentales mediante la programación y la tecnología, y ha logrado impulsar estas habilidades gracias a una metodología basada en el diseño, lo que contribuye a una ingeniería más accesible. Además, ha proporcionado un impulso moderado de la *identidad* STEM en los futuros maestros/as de educación primaria, resultado similar al obtenido por Tsai et al. (2022). Sin embargo, cabe destacar que se puede conseguir un mayor efecto de esta *identidad* al incluir más actividades de creación de algoritmos computacionales, como de hecho hicieron Sarı et al. (2022) en su proyecto. En cambio, estos autores encontraron un fomento moderado de las habilidades de programación y tecnología, mientras que la propuesta *iSTEMduino* originó un mayor efecto de estas, al incluir más actividades de indagación, tanto de modelización (programación y diseño) como de experimentación con sensores, de lo que resultó más recomendable este efecto competencial.

Con respecto al género, al ofertar una dimensión social de la tecnología (aplicabilidad y utilización) y una participación con papeles alternantes de liderazgo en los grupos (González-Palencia Jiménez y Jiménez Fernández, 2016), se consiguió un acercamiento leve hacia la igualdad, aspecto que también

observaron Tsai et al. (2022) en su proyecto STEM basado en la gamificación. Por tanto, como sugerencia de mejora, se considera necesario ofertar para ambos géneros, pero sobre todo para los hombres, actividades con ejemplos de mujeres destacadas de la actualidad y de la historia en las áreas STEM, adoptando orientaciones de una *pedagogía feminista de la computación*, como indica Ren (2022).

En cuanto a los estudios previos cursados (ciencias experimentales o ciencias sociales), ellos mismos no constituyen un impedimento o ventaja en la motivación, en el desarrollo del aprendizaje STEM ni en las habilidades tecnológicas y de programación. En cambio, tanto los hombres como las mujeres procedentes de ciencias experimentales parten de una disposición inicial mucho más orientada al género masculino en la tecnología y la programación, permaneciendo los hombres en dicha opinión tras la intervención, al contrario que las mujeres, que muestran un moderado acercamiento hacia la igualdad. Se deduce de ello un necesario cambio social y cultural a favor de la igualdad en el ámbito de las ciencias experimentales (Martín Carrasquilla et al., 2022; Sparks, 2018), en especial en los grados de educación, para que el futuro profesorado presente una mejor concienciación. Con respecto a las ciencias sociales, los hombres mantienen la balanza inclinada levemente a su género, lo que no sucede con las mujeres, que se acercan discretamente a la igualdad. En definitiva, este proyecto ha proporcionado a la mujer una motivación y una accesibilidad positiva para las áreas científico-tecnológicas.

La aplicación y complementación de las metodologías de indagación (IBSE-MBI) ha sido percibida favorablemente por el futuro profesorado, en especial por el proveniente de ciencias experimentales, que ha valorado la importancia de la modelización.

En definitiva, un proyecto como *iSTEMduino*, teniendo en cuenta las modificaciones indicadas en este apartado, permitirá impulsar en los futuros docentes el aprendizaje de contenidos científico-matemáticos a partir del desarrollo de las habilidades tecnológicas y la creación de diseños, lo que facilitará una interdisciplinariedad integradora (De Pro Bueno y Nortes Martínez-Artero, 2016). El hecho de introducir estas actividades en los actuales grados de educación hará posible orientar y mejorar la enseñanza del enfoque STEM en Educación Primaria.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad de Granada la concesión del proyecto de innovación presentado en este trabajo, de código 22-41, y al centro de magisterio La Inmaculada (CMLI) el hecho de apostar y facilitar su realización, dotando material y ofreciendo soporte durante todo el proyecto.

REFERENCIAS

- Ahmed, S. A. M., Zhang, W., Ma, H. y Feng, Z. (2023). Professional development for STEM educators: A bibliometric analysis of the recent progress. *Review of Education*, 11(1), 1-33. <https://doi.org/10.1002/rev3.3392>
- Albertos Gómez, D. (2022). Evaluación del efecto de la indagación guiada sobre la competencia científica en estudiantes de Educación Secundaria. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 0(43), 141. <https://doi.org/10.7203/dces.43.22909>
- Berlanga Silvestre, V. y Rubio Hurtado, M. J. (2012). Clasificación de pruebas no paramétricas. Cómo aplicarlas en SPSS. *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 5, 101-113. <https://doi.org/10.1344/reire2012.5.2528>
- Bono Cabré, R. (2012). Diseños cuasi-experimentales y longitudinales. En *OMADO (Objectes i Materials DOcents)*. Universidad de Barcelona. <https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/30783>

- Botero Espinosa, J. (2018). *Educación STEM. Introducción a una nueva forma de enseñar y aprender*. Stilo Impresores LTDA.
- Castro-Rodríguez, E. y Montoro, A. B. (2021). Educación STEM y formación del profesorado de Primaria en España. *Revista de Educación*, 393, 353-378. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2021-393-497>
- Cobos Alvarado, F., Peñaherrera León, M. y Ortiz Colon, A. M. (2016). Validation of a questionnaire on research-based learning with engineering students. *Journal of Technology and Science Education*, 6(3), 219. <https://doi.org/10.3926/jotse.227>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (Second Ed.). Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, L., Manion, L. y Morrison, K. (2017). *Research methods in education* (8 ed.). Routledge. Taylor and Francis.
- Cooper, A. C., Southard, K. M., Osness, J. B. y Bolger, M. S. (2022). The Instructor's Role in a Model-Based Inquiry Laboratory: Characterizing Instructor Supports and Intentions in Teaching Authentic Scientific Practices. *CBE—Life Sciences Education*, 21(1), 21:ar9. <https://doi.org/10.1187/cbe.21-07-0177>
- Couso, D., Domènech Casal, J., Simarro Rodríguez, C., López Simó, V. y Grimalt-Álvaro, C. (2022). Perspectivas, Metodologías y Tecnologías en el despliegue de la educación STEM. *Ciències: revista del professorat de ciències de Primària i Secundària*, 44, 56-71. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.470>
- De Pro Bueno, A. y Nortes Martínez-Artero, R. M. (2016). ¿Qué pensaban los estudiantes de la diplomatura de maestro de educación primaria sobre las clases de ciencias de sus prácticas de enseñanza? *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 34(1), 7. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1762>
- Deng, L. y Chan, W. (2017). Testing the Difference Between Reliability Coefficients Alpha and Omega. *Educational and Psychological Measurement*, 77(2), 185-203. <https://doi.org/10.1177/0013164416658325>
- Dökme, İ., Açıksöz, A. y Koyunlu Ünlü, Z. (2022). Investigation of STEM fields motivation among female students in science education colleges. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00326-2>
- Domènech-Casal, J., Lope, S. y Mora, L. (2019). Qué proyectos STEM diseña y qué dificultades expresa el profesorado de secundaria sobre Aprendizaje Basado en Proyectos. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias.*, 16(2), 1-16. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2203
- Dúo-Terrón, P. (2023). Analysis of Scratch Software in Scientific Production for 20 Years: Programming in Education to Develop Computational Thinking and STEAM Disciplines. *Education Sciences*, 13(4), 404. <https://doi.org/10.3390/educsci13040404>
- García-Carmona, A. (2020). STEAM, ¿una nueva distracción para la enseñanza de la ciencia? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 4(2), 35-50. <https://doi.org/10.17979/arec.2020.4.2.6533>
- García-Tudela, P. A. y Marín-Marín, J.-A. (2023). Use of Arduino in Primary Education: A Systematic Review. *Education Sciences*, 13(2), 134. <https://doi.org/10.3390/educsci13020134>
- González-Palencia Jiménez, R. y Jiménez Fernández, C. (2016). La brecha de género en la educación tecnológica. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*, 24(92), 743-771. <https://doi.org/10.1590/S0104-403620160003000010>
- Grimalt-Álvaro, C. y Couso, D. (2022). ¿Qué sabemos del posicionamiento STEM del alumnado? Una revisión sistemática de la literatura. *Revista de Investigación Educativa*, 40(2), 531-547. <https://doi.org/10.6018/rie.467901>

- Hernández Sempere, I. y Espuny Vidal, C. (2022). Estudios STEM y la brecha digital de género en bachillerato. *Edutec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 81, 55-71. <https://doi.org/10.21556/edutec.2022.81.2601>
- Holo, O. E., Kveim, E. N., Lysne, M. S., Taraldsen, L. H. y Haara, F. O. (2022). A review of research on teaching of computer programming in primary school mathematics: moving towards sustainable classroom action. *Education Inquiry*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/20004508.2022.2072575>
- Jiménez-Liso, M. R., Bellocchi, A., Martínez-Chico, M. y López-Gay, R. (2022). A model-based inquiry sequence as a heuristic to evaluate students' emotional, behavioural, and cognitive engagement. *Research in Science Education*, 52, 1313-1334. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10010-0>
- Jiménez-Liso, M. R., López-Banet, L. y Dillon, J. (2020). Changing How We Teach Acid-Base Chemistry: A Proposal Grounded in Studies of the History and Nature of Science Education. *Science and Education*, 29(5), 1291-1315. <https://doi.org/10.1007/S11191-020-00142-6>
- Juškevičienė, A., Stupurienė, G. y Jevsikova, T. (2021). Computational thinking development through physical computing activities in STEAM education. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 175-190. <https://doi.org/10.1002/cae.22365>
- Koyunlu Ünlü, Z. y Dökme, İ. (2022). A systematic review of 5E model in science education: proposing a skill-based STEM instructional model within the 21-st century skills. *International Journal of Science Education*, 44(13), 2110-2130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2114031>
- Louca, L. T. y Zacharia, Z. C. (2023). Examining models constructed by kindergarten children. *Journal of Research in Science Teaching*, 1-34. <https://doi.org/10.1002/tea.21862>
- Margot, K. C. y Kettler, T. (2019). Teachers' perception of STEM integration and education: a systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 6(2), 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0151-2>
- Martín Carrasquilla, O., Santaolalla Pascual, E. y Muñoz San Roque, I. (2022). La brecha de género en la Educación STEM. *Revista de Educacion*, 396, 151-175. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2022-396-533>
- Martínez Chico, M., Rut Jiménez Liso, M. y López-Gay Lucio-Villegas, R. (2015). Efecto de un programa formativo para enseñar ciencias por indagación basada en modelos, en las concepciones didácticas de los futuros maestros. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias.*, 12(1), 149-166. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.10
- Martínez Ques, Á. A., Braña Marcos, B., Martín Arribas, C., Vázquez Campo, M., Rumbo Prieto, J. M., López Castro, J., Herrero Olivera, L. y Gómez Salgado, J. (2022). Diseño y validación de un instrumento sobre calidad de la planificación anticipada de decisiones para profesionales. *Gaceta Sanitaria*, 36(5), 401-408. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2021.11.002>
- Martínez-Chico, M. R., López-Gay, R. y Jiménez-Liso, M. R. (2014). La indagación en las propuestas de formación inicial de maestros: análisis de entrevistas a formadores de Didáctica de las Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 591-608. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1376>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J. y Vílchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, 103(4), 799-822. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- McMillan, J. H. y Schumacher, S. (2013). *Research in Education: Evidence-Based Inquiry* (seventh ed). Pearson Education.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2022). *Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo* (n.º 52). Consejo de Ministros.

- Moafian, E., Ostovar, S., Griffiths, M. D. y Hashemi, M. (2019). The construct validity and reliability of the 'characteristics of successful EFL teachers questionnaire (CoSEFLT-Q)' revisited. *Porta Linguarum*, (31), 53-73.
- Mohd Razali, N. y Bee Wah, Y. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21-33.
- Mosquera Bargiela, I., Puig, B. y Blanco Anaya, P. (2018). Las prácticas científicas en infantil. Una aproximación al análisis del currículum y planes de formación del profesorado de Galicia. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 36(1), 7-23. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2311>
- Moya, A. A. (2019). Studying Avogadro's Law with Arduino. *The Physics Teacher*, 57(9), 621-623. <https://doi.org/10.1119/1.5135793>
- Noris, M., Saputro, S. y Ulimaz, A. (2023). STEM Research Trends From 2013 to 2022: A Systematic Literature Review. *International Journal of Technology in Education*, 6(2), 224-237. <https://doi.org/10.46328/ijte.390>
- Papadimitropoulos, N., Dalacosta, K. y Pavlatou, E. A. (2021). Teaching Chemistry with Arduino Experiments in a Mixed Virtual-Physical Learning Environment. *Journal of Science Education and Technology*, 30(4), 550-566. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09899-5>
- Passmore, C., Stewart, J. y Cartier, J. (2009). Model-Based Inquiry and School Science: Creating Connections. *School Science and Mathematics*, 109(7), 394-402. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2009.tb17870.x>
- Perales Palacios, F. J. y Aguilera, D. (2020). Ciencia-Tecnología-Sociedad vs. STEM: ¿evolución, revolución o disyunción? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 4(1), 1-15. <https://doi.org/10.17979/arec.2020.4.1.5826>
- Peters, G. (2014). The alpha and the omega of scale reliability and validity: why and how to abandon Cronbach's alpha and the route towards more comprehensive assessment of scale quality. *The European health psychologist*, 16(2), 56-69. <https://doi.org/10.31234/osf.io/h47fv>
- Pino, H., Pastor, V., Grimalt-Álvaro, C. y López, V. (2019). Measuring CO₂ with an Arduino: Creating a Low-Cost, Pocket-Sized Device with Flexible Applications That Yields Benefits for Students and Schools. *Journal of Chemical Education*, 96(2), 377-381. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00473>
- Qutieshat, A., Aouididi, R. y Arfaoui, R. (2019). Design and Construction of a Low-Cost Arduino-Based pH Sensor for the Visually Impaired Using Universal pH Paper. *Journal of Chemical Education*, 96(10), 2333-2338. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00450>
- Ren, X. (2022). Adopting feminist pedagogy in computer science education to empower underrepresented populations: a critical review. *TechTrends*, 66(3), 459-467. <https://doi.org/10.1007/s11528-022-00728-7>
- Rossi Cordero, A. E. y Barajas Frutos, M. (2015). Elección de estudios CTIM y desequilibrios de género. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 33(3), 59-76. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1481>
- Sarı, U., Pektaş, H. M., Şen, Ö. F. y Çelik, H. (2022). Algorithmic thinking development through physical computing activities with Arduino in STEM education. *Education and Information Technologies*, 27(5), 6669-6689. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10893-0>
- Schwarz, C. V., Ke, L., Salgado, M. y Manz, E. (2022). Beyond assessing knowledge about models and modeling: Moving toward expansive, meaningful, and equitable modeling practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(6), 1086-1096. <https://doi.org/10.1002/tea.21770>

- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Simarro Rodríguez, C. y Couso Lagaron, D. (2022). Didáctica de la ingeniería: tres preguntas con visión de futuro. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 40(3), 147-164. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3507>
- So, W. W. M., Zhan, Y., Chow, S. C. F. y Leung, C. F. (2018). Analysis of STEM Activities in Primary Students' Science Projects in an Informal Learning Environment. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(6), 1003-1023. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9828-0>
- Sparks, D. M. (2018). The Process of Becoming: Identity Development of African American Female Science and Mathematics Preservice Teachers. *Journal of Science Teacher Education*, 29(3), 243-261. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2018.1436359>
- Strat, T. T. S., Henriksen, E. K. y Jegstad, K. M. (2023). Inquiry-based science education in science teacher education: a systematic review. *Studies in Science Education*, 1-59. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2207148>
- Toma, R. B. y García-Carmona, A. (2021). «De STEM nos gusta todo menos STEM». Análisis crítico de una tendencia educativa de moda. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 39(1), 65-80. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093>
- Tsai, F.-H., Hsiao, H.-S., Yu, K.-C. y Lin, K.-Y. (2022). Development and effectiveness evaluation of a STEM-based game-design project for preservice primary teacher education. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(5), 2403-2424. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09702-5>
- Windschitl, M., Thompson, J. y Braaten, M. (2008). How Novice Science Teachers Appropriate Epistemic Discourses Around Model-Based Inquiry for Use in Classrooms. *Cognition and Instruction*, 26(3), 310-378. <https://doi.org/10.1080/07370000802177193>

STEM, Programming and Inquiry in Pre-Service Teachers. Evaluation of the iSTEMduino Project

Julio Ballesta-Claver, Raúl Roura Redondo, Carlos Jerez del Valle, M.^a Fernanda Ayllón Blanco
Departamento de Didáctica de las Ciencias. Centro de Magisterio La Inmaculada (CMLI).
Universidad de Granada. Granada (España)
juliosci@cmlí.es, raulroura@cmlí.es, carlosjerez@cmlí.es, mayllonblanco@cmlí.es

STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) is a teaching interdisciplinary approach that makes scientific questions applicable and provides cognitive, procedural and attitudinal benefits, thereby improving academic performance and fostering careers in scientific and technological fields.

However, STEM is difficult to apply in Primary Education due to the lack of preparation of pre-service teachers in engineering and technology at university, together with the negative experiences coming from science and mathematics in earlier stages of education. As a possible solution, the university project iSTEMduino has been proposed, an acronym in which “i” stands for both *inquiry* methodology and *gender inclusivity*, “STEM” refers to the teaching approach and “duino” alludes to the use of *Arduino* and its programming environment. This proposal consists of carrying out a series of activities at two levels: 1) a basic level, where the essential concepts of block programming (Scratch) are tried out interactively to create mathematical probability programs through modelling, and 2) an advanced level, where material from Arduino is used to create a homemade pH meter, two weather stations and a rain and soil moisture sensor, using experimentation (interactivity, sensor assemblies and motherboards) and modelling (design, sensor calibration and programming using Wiring and Tinkercad).

In order to check its effectiveness, a quasi-experimental pretest-posttest design without a control group was carried out, based on a 10-item questionnaire with a 5-point Likert scale, which measured motivations and knowledge of the STEM approach, technological and programming skills, applicability of mathematical and scientific content, as well as opinions on gender and the inquiry methods used: *Inquiry-Based Science Education* (IBSE) and *Model-Based Inquiry* (MBI). An optimal validation of the instrument was carried out in terms of 1) expert content (Kendall's $W = 0.755$, $p < 0.001$), and 2) construct (exploratory factor analysis: $KMO = 0.71$), resulting in three factors: factor 1 (programming, robotics and STEM identity); factor 2 (technological and programming skills), and factor 3 (intervention orientations). What is more, the latter factors had two subcategories: 3.1) gender inclusivity, and 3.2) inquiry methodology (IBSE-MBI). The reliability of the instrument was also ensured by Cronbach's alpha: 1) $\alpha_{\text{pretest}} = 0.68$; 2) $\alpha_{\text{posttest}} = 0.80$.

The project produced a moderate increase in the STEM identity of pre-service teachers and a high improvement on programming skills and the use of sensors (Arduino), thanks to the use of a design-based inquiry methodology. Women's participation was also promoted by offering a social dimension of technology (applicability and use of STEM fields) and by rotating leadership roles in the groups. However, there is still a need to implement activities with examples of outstanding women from the present and the past in the STEM fields, especially for men, in such a way that orientations of feminist computing pedagogy can be adopted. In terms of previous studies (experimental science or social science), they were neither a barrier nor an advantage in terms of motivation, development of STEM learning or technological and programming skills. The use and complementation of inquiry methods (IBSE-MBI) was positively perceived by pre-service teachers, especially those from experimental sciences, who appreciated the importance of modelling.

In conclusion, this project will enable future primary school teachers to learn scientific and mathematical content by developing technological and programming skills through designing, thereby enabling an integrated interdisciplinary approach.