
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

REVISTA DE INVESTIGACION Y EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS

vol. 41, n. 3, noviembre 2023

CONSEJO DE REDACCIÓN

Ana María Abril Gallego, DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, FACULTAD DE HUMANIDADES Y CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN, UNIVERSIDAD DE JAÉN • Edelmira Badillo, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA • M. Consuelo Domínguez Sales, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, FACULTAT DE MAGISTERI, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA • Ceneida Fernández Verdú, DEPARTAMENTO INNOVACIÓN Y FORMACIÓN DIDÁCTICA FACULTAD DE EDUCACIÓN UNIVERSIDAD DE ALICANTE • Valentín Gavidia Catalán, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I SOCIALS, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA • Bernardo Gómez Alfonso, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES MATEMÀTIQUES, FACULTAT DE MAGISTERI, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA • Julià Hinojosa Lobato, DEPARTAMENT D'EDUCACIÓ LINGÜÍSTICA I LITERÀRIA I DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I DE LA MATEMÀTICA, UNIVERSITAT DE BARCELONA • Mercè Izquierdo Aymerich, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA • Rut Jiménez-Liso, DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN, UNIVERSIDAD DE ALMERIA • Mercè Junyent Pubill, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA • Anna Marbà-Tallada, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA • Fatima Rodríguez, DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES Y SOCIALES, UNIVERSIDAD DE SEVILLA • Jordi Solbes Matarredona, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I SOCIALS, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA.

DIRECCIÓN CIENTÍFICA (EDITORES)

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

OTROS CONSEJEROS

Edelmira Badillo, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA • Digna Couso Lajaron, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA • Juan Gutiérrez Soto, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES MATEMÀTIQUES, FACULTAT DE MAGISTERI, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA • Jordi Solbes Matarredona, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS I SOCIALS, UNIVERSITAT DE VALÈNCIA.

CONSEJO ASESOR

Agustín Adúriz-Bravo, INSTITUTO CEFIEC, FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES, UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, ARGENTINA • Fanny Angulo Delgado, DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS Y LAS ARTES, FACULTAD DE EDUCACIÓN, UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, COLOMBIA • Catherine Bruguière, EPISTÉMOLOGIE ET DIDACTIQUE DE LA BIOLOGIE, INSPE DE LYON, FRANCIA • Leonor Camargo Uribe, DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS, UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL, COLOMBIA • Antonia Candela, DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIONES EDUCATIVAS, CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN, MÉXICO • Marcelo de Carvalho Borba, INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS, UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" (UNESP), BRASIL • Lydia R. Galagovsky, INSTITUTO CENTRO DE FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS (CEFIEC), FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES, UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, ARGENTINA. • Alma Adrianna Gómez-Galindo, UNIDAD MONTERREY, CINVESTAV, MÉXICO • Mercè Izquierdo Aymerich, DEPARTAMENT DE DIDÀCTICA DE LA MATEMÀTICA I DE LES CIÈNCIES EXPERIMENTALS, UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA, ESPAÑA • María Pilar Jiménez Aleixandre, DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES, UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA, ESPAÑA • 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 (NU-TE/SUFRJ), BRASIL • Vicente Mellado Jiménez, DEPARTAMENTO DE

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

EDICIÓN

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

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

INDEXACIÓN

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

EDITORIAL

XII Congreso internacional sobre investigación en la didáctica de las ciencias, <i>Jordi Solbes Matarredona, Fernanda Ostermann</i>	5
Estadísticas de artículos - 2022	7
Relación de evaluadores de artículos recibidos durante el año 2022.....	9

INVESTIGACIONES DIDÁCTICAS

Una propuesta didáctica sobre rampas en educación infantil: la importancia de la intervención docente en el desarrollo de destrezas científicas y construcciones, <i>D. Zuazagoitia, L. Ruiz de Azua, J. Sanz, S. España-Diez, M. López-Puente, A. Ruiz-González</i>	11
Concepciones del alumnado sobre ingeniería y sus conexiones con las matemáticas y las ciencias, <i>Jefferson Rodrigues-Silva, Marcela Silva-Hormazábal, Ángel Alsina</i>	33
Cambios en la percepción de la ciencia derivados de la pandemia de la COVID-19, <i>Carolina Blanco Fontao, Javier del Pino, Fernando J. Pereira, Ana Rosa Arias-Gago</i>	53
La enseñanza de contenidos científicos mediante una metodología basada en <i>escape room</i> , <i>Félix Yllana-Prieto, David González-Gómez, Jin Su Jeong</i>	69
Un instrumento para evaluar la comprensión de tablas estadísticas en educación secundaria, <i>Jocelyn D. Pallauta, Carmen Batanero, María Magdalena Gea</i>	89
Impacto de un debate sociocientífico en las habilidades argumentativas y en la toma de decisiones del profesorado de secundaria en formación inicial, <i>P. Bernal-Herrera, M. J. Cano-Iglesias, A. J. Franco-Mariscal, Á. Blanco-López</i>	113
¿Qué estrategia es mejor para un problema de Fermi? Adaptabilidad de futuros maestros, <i>Carlos Segura, Irene Ferrando</i>	133
Aprendiendo ciencia y sobre ciencia en las aulas de secundaria con cine de ciencia ficción, <i>M.ª Francisca Petit, Jordi Solbes</i>	153

XII CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

Jordi Solbes Matarredona

Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València, España
jordi.solbes@uv.es

Fernanda Ostermann

Departamento de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
fernanda.ostermann@ufrgs.br

Se celebrará en Valencia (España), del 2 al 5 de septiembre de 2025, con el lema «**Enseñanza de las ciencias y pensamiento crítico: desafíos y necesidades de la sociedad democrática**».

Desde 1985, esta cita internacional de la investigación en didáctica de las ciencias se celebra cada cuatro años con el objetivo de generar un espacio de encuentro, reflexión y debate entre todos los profesionales iberoamericanos implicados en la investigación y la docencia de las ciencias experimentales. En todas las ediciones anteriores se ha llevado a cabo un importante intercambio de opiniones, ideas, experiencias y proyectos entre investigadores e investigadoras de ambos lados del Atlántico.

La organización de este evento está a cargo de la *Revista Enseñanza de las Ciencias* (España), y la dirección de esta edición ha recaído en la Universitat de València (España), que en línea con anteriores ediciones trabajará de manera coordinada con la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasil) para conseguir una mayor implicación de los investigadores de Latinoamérica en esta cita de la investigación en didáctica de las ciencias.

Por primera vez, el congreso se celebrará de forma presencial y virtual. Así, se pretende facilitar la participación al mayor número de docentes y personal investigador especializados en didáctica de las ciencias.

El *leitmotiv* del Congreso viene dado porque vivimos tiempos convulsos, en una sociedad cambiante y en un periodo crítico en el que la humanidad se enfrenta a desafíos y necesidades que condicionarán el desarrollo de nuestra especie en el planeta. Hace pocos años, nos enfrentamos a una pandemia que, sin el conocimiento y desarrollo científico y tecnológico alcanzado, seguramente hubiera sido más cruel y dañina de lo que ha sido y se hubiera prolongado en el tiempo mucho más de lo que lo hizo. Sin embargo, a pesar de la influencia de la ciencia en nuestro nivel de bienestar y de desarrollo, es cada vez más frecuente encontrarse con posicionamientos personales, políticos e institucionales que ponen en cuestión planteamientos validados desde la ciencia en multitud de temáticas (cambio climático, vacunación, alimentación...), fomentando actitudes, opiniones y actuaciones negacionistas e irracionales

que ponen en peligro el bienestar presente y futuro de la sociedad. Y que alcanzan una difusión que nunca tuvieron a través de los teléfonos móviles e internet y, especialmente, las redes sociales.

Ante ello, es necesario reforzar la importancia de una enseñanza de las ciencias fundamentada en la investigación didáctica, la cual debe abarcar no solo todos los niveles educativos y formativos, sino también considerar el ámbito personal y colectivo, que fomente una ciudadanía y desarrolle un pensamiento crítico y fundamentado científicamente, para hacer frente a los desafíos y necesidades de las sociedades democráticas. Recalamos «democráticas», puesto que no es coincidencia que la ciencia haya prosperado, precisamente, en periodos democráticos. Y es que para el avance de la ciencia se necesitan medios económicos y humanos, pero también políticas adecuadas que permitan la participación... y la libertad para desarrollarlas.

Por esto, en este congreso, queremos remarcar la importancia de la educación científica en la construcción de una sociedad democrática y formada que sea capaz de enfrentarse y de superar los desafíos y necesidades que se nos plantean como sociedad. Ciencia y democracia se necesitan mutuamente para avanzar y contribuir al desarrollo de los pueblos.

Por todo ello, se plantean los siguientes objetivos:

- Promover el debate y la reflexión sobre la relación entre la investigación en didáctica de las ciencias y las características del contexto social, cultural y profesional en el que estamos inmersos.
- Favorecer la interacción entre los participantes en el congreso para promover un mejor conocimiento mutuo de la comunidad (amplia y en expansión) y la profundización en los debates, así como abrir posibilidades de intercambios.
- Continuar siendo un congreso de referencia del área geográfica que comprende América Latina y la península ibérica y aproximarse a la comunidad investigadora europea.

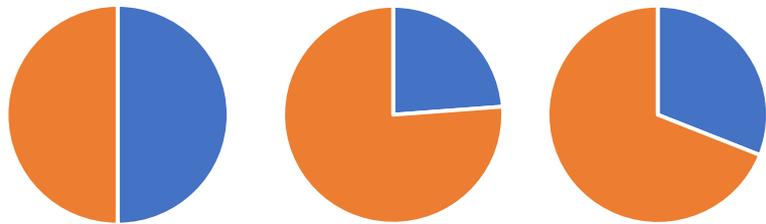
Próximamente, se presentará la web donde se mostrará toda la información referente tanto a las líneas del congreso como a las modalidades de participación, precios y fechas clave de este evento.

Jordi Solbes
Universitat de València

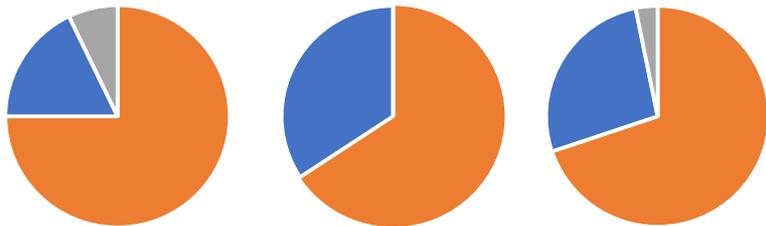
Fernanda Ostermann
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ESTADÍSTICAS DE ARTÍCULOS – 2022

	<i>Didáctica de las Matemáticas</i>		<i>Didáctica de las Ciencias</i>		<i>Total</i>	
Artículos recibidos en 2022	56		147		203	
● Pasan a evaluación por pares	28	50,00 %	35	23,81 %	63	31,03 %
● No pasan a evaluación	28	50,00 %	112	76,19 %	140	68,97 %



	<i>Didáctica de las Matemáticas</i>		<i>Didáctica de las Ciencias</i>		<i>Total</i>	
Artículos recibidos en 2022 que pasaron a evaluación	28		35		63	
● No publicables	21	75,00 %	23	65,71 %	44	69,84 %
● Aceptados	5	17,86 %	12	34,29 %	17	26,98 %
● En evaluación	2	7,14 %	0	0,00 %	2	3,17 %



RELACIÓN DE EVALUADORES DE ARTÍCULOS RECIBIDOS DURANTE EL AÑO 2022

El equipo editorial agradece a todas las personas que han realizado tareas de evaluación de manuscritos por su inestimable ayuda.

Carlos Agudelo Carvajal
Lluís Albarracín Gordo
Juan-Francisco Álvarez-Herrero
Luis Carlos Arboleda
Matías Arce Sánchez
Alberto Arnal-Bailera
David Arnau
Edelmira Badillo
Neus Banqué Martínez
Berta Barquero i Farràs
Marianna Bosch
María Burgos
José Cantó Doménech
Francisco Javier Carrillo Rosúa
Wellington Lima Cedro
Myriam Codes
Ángel Contreras
Ángel Luis Cortés Gracia
Viviana Angélica Costa
Mariona Doménech Girbau
John Henry Durango Urrego
Enrique España Ramos
Mariona Espinet Blanch
Gracia Fernández Ferrer
Alicia Fernández Oliveras
José Antonio Fernández Plaza
Raquel Fernández-César
Josep Maria Fortuny
Claudio E. Fuentealba Aguilera
Diego Galperin
Edwin Germán García Arteaga
Francisco Javier García García
Àngela García Lladó
Antonio García-Carmona

Isabel García-Rodeja Gayoso
Anabella Garzón Fernández
Josep Gascón Pérez
Cristina Gil González
Juan D. Godino
Teresa González Astudillo
Francisco González García
Carme Grimalt-Álvaro
Mercè Guerrero Sala
Josefina Guitart
Raquel Heras Colàs
Francisco Javier Hoyuelos Álvaro
Pedro Ivars Santacreu
María Cristina Kanobel
Gabriel Lemkow Tovias
Salvador Llinares Ciscar
Carmen López Esteban
Rafael López-Gay Lucio-Villegas
José Luis Lupiáñez Gómez
José María Marbán Prieto
Verónica Martín Molina
María Martín Peciña
Rafael Martínez-Planell
Ainoa Marzabal Blancafort
Ester Mateo González
Natasha Mayerhofer
Pablo Angel Meira Cartea
Eloísa Montero Pascual
Francisco Javier Muela García
Laura Muñoz-Rodríguez
Antonio M. Oller
Jairo Ortiz-Revilla
María Rita Otero
Irene Ferrando Palomares

Marcela C. Párraguez González
Montserrat Pedreira Álvarez
Francisco Javier Perales Palacios
M. Francisca Petit Pérez
Carolina Pipitone
Núria Planas
Antonio Quesada Armenteros
Rafael Ramírez Uclés
Carlos Emilio Reigosa Castro
Miguel Ribeiro
Philippe R. Richard
Mirela Rigo Lemini
Juan Carlos Rivadulla López
Francisco Javier Robles Moral
Camilo Rodríguez
Íñigo Rodríguez Arteché
Juan Francisco Ruiz Hidalgo
Juan José Ruiz Ruiz
Gloria Sánchez Matamoros García
Ivonne Twiggy Sandoval Cáceres
Manuel Santos Trigo
Ana Serradó Bayés
M^a Jesús Fuentes Silveira
Cristina Simarro Rodríguez
Horacio C. Solar Bezmalinovic
Emilio Solís Ramírez
Nidia Yaneth Torres Merchan
María Trigueros
Cristina Vallés Rapp
José Benito Vázquez Dorrio
José Eduardo Vélchez López
Kristina Zuza Elosegui



Una propuesta didáctica sobre rampas en educación infantil: la importancia de la intervención docente en el desarrollo de destrezas científicas y construcciones

A Didactic Proposal on Ramps in Early Childhood Education: the Importance of Teacher Intervention in the Development of Scientific Skills and Constructions

Daniel Zuazagoitia
Universidad del País Vasco, UPV/EHU.
Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales y Sociales
daniel.zuazagoitia@ehu.es
<https://orcid.org/0000-0001-9954-7855>

Leire Ruiz de Azua
Universidad del País Vasco, UPV/EHU.
Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales y Sociales
leirer Ruiz98@gmail.com

Josu Sanz
Universidad del País Vasco, UPV/EHU.
Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales y Sociales
josu.sanz@ehu.es
<https://orcid.org/0000-0002-1211-1598>

Silvia España-Diez
Centro de Educación Infantil y Primaria Aldaialde. Red pública del País Vasco.
silvia.espana@aldaialdeikastexea.eus

Montse López-Puente
Centro de Educación Infantil y Primaria Aldaialde. Red pública del País Vasco.
montse.lopez@aldaialdeikastexea.eus

Aritz Ruiz-González
Universidad del País Vasco, UPV/EHU.
Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales y Sociales
aritz.ruiz@ehu.es
<https://orcid.org/0000-0001-7409-4634>

RESUMEN • Este estudio presenta, como fruto de la colaboración escuela-universidad, el diseño, la implementación y la evaluación de una intervención didáctica de corte socioconstructivista y de naturaleza dialógica sobre las interacciones en los sistemas físicos (rampas y caminos) en educación infantil. La propuesta didáctica diseñada consta de dos fases y cuatro actividades distintas y fue implementada en un grupo ($n = 20$) de un aula de infantil (5-6 años) en un contexto basado en el juego, de movimiento autónomo y libre elección. Durante la implementación, se evaluaron las habilidades científicas emergentes, la complejidad de las construcciones realizadas, así como el efecto de la intervención docente sobre el aprendizaje. Los resultados indican una evolución positiva en las habilidades científicas emergentes y también en el grado de sofisticación de las estructuras construidas. Los niños y niñas fueron además capaces de establecer relaciones de causa y efecto, así como de hablar en términos científicos sobre posición, trayectoria y velocidad.

PALABRAS CLAVE: Educación infantil; Rampas; Libre elección; Intervención docente; Habilidades científicas.

ABSTRACT • This study presents, as a result of school-university collaboration, the design, implementation and evaluation of a didactic intervention with a socio-constructivist approach and dialogic nature on interactions in physical systems (ramps and pathways) in early childhood education. The designed didactic proposal consists in two phases and four different activities and was implemented in a group ($n = 20$) of pre-school children (5-6 years old) in a free choice context based on play and autonomous movement. During the implementation, the emerging scientific skills, the complexity of the constructions made, as well as the effect of the teaching intervention on learning were evaluated. The results indicate a positive evolution in the emerging scientific skills and in the degree of sophistication of the constructed structures. The children were also able to establish cause and effect relationships, as well as to talk in scientific terms about position, trajectory, and speed.

KEYWORDS: Early childhood education; Ramps; Free choice; Teacher intervention; Scientific skills.

Recepción: julio 2022 • Aceptación: junio 2023 • Publicación: noviembre 2023

INTRODUCCIÓN

La alfabetización científica a edades tempranas es un proceso complejo. El diseño de propuestas de enseñanza-aprendizaje ajustadas, la formación de los docentes, los ambientes de aprendizaje y su evaluación son de vital importancia para conseguir este objetivo (Osterhaus et al., 2021). Diversos marcos epistemológicos, teóricos y metodológicos son utilizados en la investigación educativa; aun así, capturar esta complejidad sigue siendo un desafío. En este sentido, son necesarias nuevas líneas de investigación que aborden una evaluación combinada del espacio de juego infantil, los materiales, el papel del profesorado y los resultados de aprendizaje en el ámbito de las ciencias (Hapgood et al., 2020). Según Counsell et al. (2016), para edades comprendidas entre los tres y ocho años, el docente debe interrelacionar estas tres dimensiones (véase figura 1): involucrar a los niños¹, proveer oportunidades y tomar decisiones informadas. El papel de la maestra requiere tratar de entender lo que están pensando para valorar la conveniencia de su intervención y ser capaz de ajustarla a su interlocutor (Pedreira, 2018). Así, ofrecer poco apoyo puede hacer que los niños no profundicen en sus retos; por el contrario, ofrecer una estructura inadecuada o excesiva puede disminuir su curiosidad (Jirout, 2020).

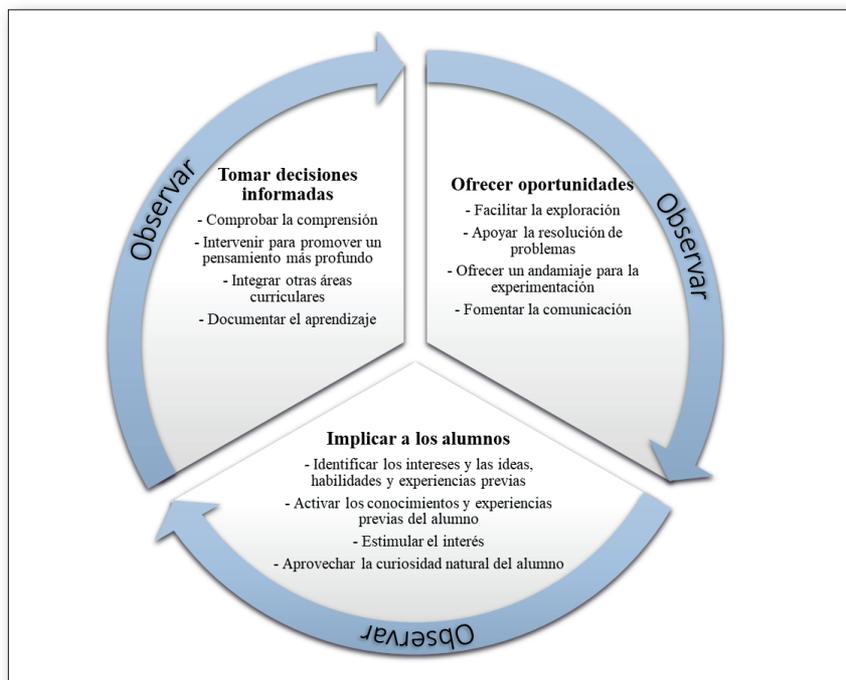


Fig. 1. Marco propuesto por Counsell et al. (2016) para promover la indagación en el aula de infantil a través de la intervención docente (traducción propia).

MARCO TEÓRICO

Hoy en día existe un amplio consenso en priorizar las prácticas científicas en la construcción del conocimiento científico, sobre todo desde edades tempranas (Guarrella et al., 2022b). Así, el ámbito

1. Nota de las AA.: En el escrito se ha intentado utilizar un lenguaje inclusivo en la medida de lo posible; no obstante, con el objetivo de facilitar la lectura, en ocasiones no se utiliza la duplicidad de género. Aunque sustantivos como niño, alumno y docente se refieren también a las niñas, alumnas y a las docentes.

de infantil ha ido ganando en los últimos años un espacio y una voz propia dentro de la didáctica de las ciencias, con líneas de trabajo que han evidenciado la potencialidad de la ciencia escolar en Educación Infantil (EI) para trabajar prácticas científicas de argumentación, indagación y modelización (Mateo y Sáez-Bondía, 2022; Monteiro et al., 2017). De este modo, se pueden poner en juego habilidades básicas como la observación, la clasificación o la realización de comparaciones o inferencias (Pedreira y Márquez, 2019; Counsell et al., 2016).

Aunque muchas de estas actividades pueden desarrollarlas por el alumnado de manera autónoma, cuando son acompañadas por la persona adulta, los alumnos pueden realizar tareas más complejas; por ejemplo, emitir hipótesis, identificar y controlar las variables o diseñar experimentos, recoger y analizar datos, así como utilizarlos para tomar decisiones y realizar predicciones sobre otros problemas (Jirout y Zimmerman, 2015; Martin y Schmidt, 2005), lo que hace que su aprendizaje sea más eficaz y eficiente (Davis, 2015). El objetivo de las intervenciones docentes en la enseñanza de las ciencias es alimentar, enriquecer y mantener el interés natural y espontáneo de los niños por el conocimiento y los procesos científicos (Klahr et al., 2011). Interpretar el comportamiento de los niños desde un punto de vista intencional y responder en sintonía permite que estos actúen con iniciativa y favorece la continuidad en la situación educativa (Haldón et al., 2022).

Ofrecer propuestas atractivas que integren herramientas de andamiaje y evaluación es fundamental para el profesorado (Cohen y Emmons, 2017). Bargiela et al. (2022), mediante un análisis de las preguntas empleadas por docentes en el aula de infantil, ponen de manifiesto la importancia de las preguntas de indagación para el desarrollo de destrezas científicas y disposiciones del pensamiento crítico. Fragkiadaki et al. (2022) revelaron que el propósito científico se desarrolla cuando el motivo del juego y del aprendizaje científico se interrelacionan dialécticamente a lo largo del tiempo. El presente estudio parte de la propuesta didáctica de Counsell (2016) sobre rampas y caminos e incluye, a su vez, las preguntas productivas de Martens (1999) y las diversas estrategias dialógicas de Keeley (2016) para ofrecer pruebas en torno a la capacidad de los niños y la significancia del rol docente.

Las propuestas sobre sistemas físicos (flotación, viento, rampas, etc.) resultan fundamentales para la educación científica, tanto en lo que respecta al currículum educativo (BOE, 2022; p. ej., los procesos de observación y manipulación de objetos, el desarrollo de destrezas lógico-matemáticas, el modelo de control de variables y estrategias y técnicas de investigación: ensayo-error, observación, comprobación y realización de preguntas) como por sus aplicaciones tecnológicas o su relación con fenómenos de la vida cotidiana. El interés espontáneo que suscitan las rampas en los niños es algo de sobra conocido. Toboganes, cuestas, planchas o raíles de madera permiten al niño poner en movimiento un objeto al soltarlo, sin aplicar ninguna fuerza sobre él (Alsina, 2010). Los conceptos involucrados como el movimiento, la fuerza, la causa y efecto, los patrones, la escala y la proporción, las estructuras y los sistemas son inherentes al juego libre infantil con rampas (Counsell et al., 2016). En contra de lo expuesto por Piaget, los niños y niñas de 4 años tienen una comprensión implícita de las relaciones directas entre duración y distancia y entre distancia y velocidad en algunos contextos (Matsuda, 2001). Algunos autores ponen de manifiesto la capacidad de los niños (5-6 años) para relacionar la altura de la rampa con la velocidad alcanzada por el objeto, pero se señalan, en cambio, algunas dificultades para relacionar la distancia recorrida y el peso del objeto (Hast y Howe, 2013). De este modo, a lo largo de la infancia, los niños van refinando esas ideas constantemente mediante la exploración directa.

En la actualidad, existen propuestas de andamiaje para una progresión en el aprendizaje de estos modelos precursores de sistemas físicos. Algunos autores proponen una secuenciación a lo largo de la escolaridad básica (de infantil hasta la ESO) mediante una mirada a la física escolar relacionada con el modelo de interacciones mecánicas, que inciden, por ejemplo, en «la descripción cinemática (cómo se mueve un objeto, de qué depende que se mueva, etc.), así como la explicación dinámica de estos movimientos, que son concretos e intuitivos» (Sanmartí et al., 2022). La comprensión de los niños de

la mecánica simple de los objetos delimitados sufre un cambio considerable durante los últimos cursos de EI y los iniciales de primaria, especialmente en lo que se refiere a la apreciación de cómo interrelacionar las variables que se corresponden con las trayectorias. Así, en un primer estadio (5-8 años), y en lo que a rampas se refiere, los niños deberían ser capaces de describir movimientos sencillos (p. ej., una recta, una curva) y hablar de la rapidez; también pueden empezar a describir las situaciones en las que hay cambios de movimiento y las acciones asociadas a estos. Por su parte Willard (2020, p. 40), para el mismo rango de edad, propone centrarse más en las interacciones entre objetos y la predicción como habilidad científica: «¿Cómo se puede predecir el movimiento continuo de un objeto, los cambios en el movimiento o su estabilidad?».

Este tipo de propuestas se pueden desarrollar en los rincones de ciencia (Cruz-Guzman et al., 2020) o en los espacios de ciencia de libre elección (Mateo y Sáez-Bondía, 2022; Pedreira y Márquez, 2017) dentro del marco del aprendizaje de la ciencia por indagación en EI. Tanto las propuestas como el espacio y los materiales se diseñan con una intencionalidad de aprendizaje clara y bien definida sobre algún ámbito de la ciencia, pero, al mismo tiempo, deben ser lo suficientemente abiertas como para permitir que sucedan cosas no previstas (Pedreira y Márquez, 2019). Además de ser una potente herramienta didáctica, ofrecen también muchas posibilidades como contexto evaluativo (Guarrella et al., 2020a; Mateo y Sáez-Bondía, 2022) donde observar la interacción de los niños con los materiales, con los adultos y entre ellos. Estos contextos basados en el juego sientan las bases para intercambios significativos de pensamiento, que transforman los fenómenos cotidianos de los niños en conocimientos científicos. En numerosas ocasiones, el juego se ve erróneamente como una actividad de ocio y sin complicaciones realizada por niños pequeños (Sukkar y Chapman, 2014). Sin embargo, el juego «es el impulso primario para descubrir, explorar y entender el mundo que nos rodea» (Marín, 2009; p. 234); aun así, debemos poner atención y que la propuesta no pierda su intencionalidad: «jugar frente a jugar aprendiendo ciencias» (Mateo y Sáez-Bondía, 2022).

OBJETIVOS

Este trabajo tiene como objetivo fundamental diseñar, implementar y evaluar una propuesta didáctica en un espacio de ciencias de libre elección sobre rampas y caminos (ECLERC) en un aula de EI.

Este propósito se concreta en tres preguntas de investigación específicas:

- ¿Qué tipo de habilidades científicas emergen en el transcurso de la implementación?
- ¿Qué tipo de estructuras diseñan y cómo evolucionan en el ECLERC?
- ¿Qué efecto tienen las intervenciones docentes en los aspectos anteriores?

METODOLOGÍA

Participantes, espacio y materiales

Los participantes fueron 20 alumnos (9 niñas y 12 niños) y sus maestras, en un aula de EI (5-6 años) de una escuela pública urbana. Todos ellos hablan euskera, castellano o ambos con fluidez. Los nombres de los niños aquí expuestos son seudónimos, mientras que la profesora se identifica con su nombre real. Esta escuela tiene una fuerte vocación innovadora, ya que participa en programas y proyectos autonómicos para la implementación de propuestas de alfabetización científica en EI. Escuela (2 docentes) y Universidad (3 investigadores) vienen colaborando y formándose desde el año 2019 en espacios de ciencia de libre elección. El diseño de la propuesta, la recogida de datos y el análisis de estos se ha realizado conjuntamente, mediante procesos iterativos de mejora. La muestra de alumnos fue elegida

sobre la base de la experiencia de las docentes de EI (que llevan con ellos desde los dos años), bajo los criterios de conveniencia de edad (Counsell et al., 2016), de implementaciones piloto anteriores y de la fundamentación teórica en espacios de ciencia de libre elección.

Cada aula cuenta con diversas propuestas de aprendizaje (anexo 1) basadas en el juego, la libre elección y el movimiento autónomo; todas ellas distintas, de diversos ámbitos y que van variando a lo largo del curso (ciencia, lectura, minimundos o piezas sueltas, juegos matemáticos, representación artística). El alumnado puede elegir dónde ir y con quién, y se promueve la libre circulación de alumnado de diferentes edades por estos espacios. Cada propuesta tiene un límite de ocupantes y una serie de normas mínimas para el juego. En ocasiones son necesarias unas breves explicaciones para que el alumnado entienda la propuesta. La presentación y la estética de estos cobran importancia para que sean atractivos y susciten interés. El objetivo de estos espacios es promover un juego de calidad, en el que se dé suma importancia a los materiales ofrecidos, a su disposición y organización (Counsell et al., 2016).

La propuesta de construcciones se ubicó en el aula de 5 años (anexo 1 – construcciones). Este estudio se centra en la observación del grupo de referencia de EI ya mencionado, que participó en este espacio de ciencia (figura 2A) durante intervalos de una hora y media en grupos de tres o cuatro alumnos como máximo, por un periodo de 7 semanas. La afluencia al espacio varía en función de los deseos del alumnado, los cuales se guían por sus intereses y motivación frente a las propuestas que se ofrecen, y que ellos experimentan como un juego.

En cuanto a los materiales, en este estudio se utilizó un kit de 24 rampas de diferentes tamaños (40, 80, 120 y 160 cm), realizadas todas con madera y 30 tacos de madera maciza de pino sin tratar (20 × 12 × 4 cm), además de varias bolas de madera del mismo peso y tamaño (figura 2B). La base de cada rampa es plana por un lado y cóncava por el otro (figura 2C), y no tiene curvas en los extremos, lo que permite plantear retos a la hora de construir rampas, caminos y estructuras.

El objetivo de la propuesta es involucrar a los niños en la indagación, la resolución de problemas y la investigación activa mediante el uso de planos inclinados y el movimiento de bolas en la construcción de sistemas físicos de interacciones mecánicas. Entre otros, la utilización de estos materiales tiene como objetivo trabajar ciertas relaciones de causa-efecto mediante el control de variables (Counsell et al., 2016). Estas se recogen a continuación, en orden de complejidad:

- Relación entre el número de bloques y su estabilidad en altura.
- Relación entre los cimientos de la estructura de bloques y la altura que mantiene.
- Relación entre el número de tacos y la inclinación de la rampa.
- Relación entre la pendiente de la rampa y la velocidad de las bolas.
- Relación entre la superposición de tablas y el movimiento de la bola.
- Relación entre el ángulo de los tacos para redirigir la bola en las curvas.
- Relación entre la velocidad de la canica y la facilidad con la que dobla la esquina.
- Relación entre la velocidad de la canica y la distancia alcanzada en llano.
- Relación entre la velocidad de la bola y su tiro parabólico.



Fig. 2. A) ECLERC en el aula de EI. B) Material de rampas expuesto. C) Detalle de rampa, taco y bola de madera.

Diseño e implementación de una propuesta didáctica fundamentada en el ECLERC

El diseño de esta propuesta vino precedido por un amplio análisis epistemológico ya recogido en el marco teórico. Asimismo, se tuvieron en cuenta las ideas del alumnado a edades tempranas y las progresiones en el aprendizaje del modelo de interacciones mecánicas. Esta propuesta didáctica consta de dos fases con objetivos y actividades específicas en cada una de ellas, tal y como se recoge en la tabla 1. En el apartado de resultados se recoge una descripción detallada de cada fase, así como la evolución de las habilidades y construcciones realizadas por el alumnado.

Para el diseño de la propuesta se han adaptado y conjugado tres propuestas metodológicas de similar enfoque. Se parte de la propuesta de Counsell et al. (2016) «Aprendizaje STEM a edades tempranas: La enseñanza por indagación mediante rampas», a la que se añade también el uso de las preguntas productivas propuesto por Martens (1999). Con el objetivo de promover las habilidades científicas, se propuso una batería de preguntas agrupadas en función de su finalidad, y contextualizadas para el ECLERC (véase figura 3). Finalmente, se adaptó una propuesta de evaluación formativa de Keleey (2013), así como su marco dialógico de intervención docente mediante la charla científica. La propuesta completa (tabla 1) está a caballo entre la epistemología genética y el enfoque sociocognitivo (Ravanis, 2017).

Tabla 1.
Resumen cronológico de las actividades llevadas a cabo
en la propuesta didáctica fundamentada en el ECLERC

	<i>FASE 1</i> <i>(Libre experimentación)</i> <i>(Semanas 1-3)</i>		<i>FASE 2</i> <i>(Intervención docente)</i> <i>(Semanas 4-7)</i>	
Actividades	(1)	(2)	(3)	(4)
	Introducción del espacio y el material de rampas y charla científica	Libre experimentación en el ECLERC	Experimentación guiada mediante intervención docente con preguntas productivas en el ECLERC	Prueba de evaluación mediante la charla científica.
Duración	1 sesión de 40 min	20 días, espacio abierto durante 90 min al día	30 días, espacio abierto durante 90 min al día	1 sesión de 90 min
Objetivos generales	Motivar y captar la atención de los niños y niñas, así como evaluar cuáles son sus ideas iniciales	Emergencia de las habilidades y construcciones sin intervención docente	Emergencia de las habilidades y construcciones con intervención docente	Evaluación del modelo de interacciones físicas al final de la intervención
Evaluación	Análisis de las habilidades científicas mediante transcripción de conversaciones	Análisis de la rúbrica de habilidades científicas, transcripción de diálogos y fotografías de las construcciones		Análisis de las habilidades científicas mediante transcripción de conversaciones

Herramientas para la recogida de datos y la evaluación

El análisis de las construcciones realizadas, así como de las destrezas científicas empleadas, se realizó mediante la metodología observacional (Anguera, 2003). Esta permite el análisis de la conducta espontánea en su contexto habitual. Comienza con un enfoque cualitativo para ir progresivamente registrando las construcciones y acciones verbales y no verbales para después codificarlas, por lo que al final predomina una perspectiva semicuantitativa del análisis del juego libre infantil (Prat et al., 2021).

En todas las sesiones, la observadora principal –alumna del grado de EI en prácticas de cuarto curso y que realiza en ese momento su trabajo de fin de grado, con una formación específica en un curso de 75 h sobre espacios de ciencia en EI–, con la asistencia de las dos docentes responsables, fotografió las construcciones realizadas por el alumnado y anotó las destrezas científicas mediante una rúbrica basada en sendos criterios de registro (figura 3).



Fig. 3. Criterios establecidos para registrar las habilidades científicas emergentes (H1-H8), ejemplos contextualizados y ejemplos de preguntas productivas (PP).

La categorización de las construcciones infantiles a partir de los registros fotográficos se realizó así: en una primera fase, uno de los investigadores, ayudado por la observadora principal, analizó estos registros y, a partir de estos, generó un borrador con las categorías obtenidas y la evolución de las construcciones. Cada categoría se codificó en función de la presencia de características fácilmente reconocibles. Se puso especial atención en las siguientes estructuras: rampas, valles, saltos, cambios de pendiente, curvas, curvas de herradura, cambios de sentido, objetivos, etc. A continuación, otros dos investigadores clasificaron de manera autónoma las respuestas de un 15 % de la muestra –aleatorio– en las categorías de este borrador, y se compararon las categorizaciones, consiguiendo un elevado consenso (coeficiente kappa de Cohen = 0,89). Finalmente, para describir la evolución en la construcción de sistemas físicos, se ordenaron estas categorías en función de su aparición en el tiempo (Marton y Booth, 1997).

Para el registro de habilidades emergentes en el aula de EI, las docentes y un investigador diseñaron un primer instrumento a partir de la rúbrica original de Counsell et al. (2016, pp. 82 y 173). Para su validación se recabó la opinión de dos investigadores. Las sugerencias propuestas se recogieron en una segunda versión, y esta se utilizó en un estudio piloto de una semana de duración en el aula de 5 años de EI. De este primer análisis, se vio la necesidad de introducir espacio suficiente en la rúbrica para recabar transcripciones y ordenar las habilidades por complejidad creciente (Martin y Schmidt, 2005) en procesos básicos e integrados. Sin tener en cuenta su frecuencia ni grado de complejidad, se consideró que una destreza emergía una vez que era ejecutada por el niño sobre la base de los criterios expuestos. Algunas habilidades solo se registraron cuando el alumno verbalizaba su acción (V), mientras que otras se registraron a partir de sus expresiones orales o acciones corporales (V y NoV). Estos criterios de registro, así como ejemplos reales de las habilidades emergentes y de las preguntas productivas (PP) utilizadas, se resumen en la figura 3.

RESULTADOS

A partir de los datos obtenidos se ha podido determinar que diariamente el espacio ha sido utilizado por una media de aproximadamente 10 alumnos, en su mayoría niños (70 %). Si bien al principio (en las primeras dos semanas) el uso del espacio era muy alto (3-4 grupos de 2-3 alumnos, no simultáneamente), paulatinamente esta cifra ha ido descendiendo sin caer en desuso (1-2 grupos de 2-3 alumnos), al contrario que otras propuestas dentro del espacio de libre elección. Al final, la práctica totalidad de los niños pasaron por el espacio. A continuación, se describe la propuesta educativa y los resultados de la implementación siguiendo las dos fases en orden cronológico (tabla 1, actividades 1-4).

Fase 1. Indagación libre en el ECLERC (semanas 1-3)

Actividad 1. Introducción del material y charla científica

Esta intervención dialógica inicial (40 min) se realizó antes de presentar el espacio de rampas al alumnado. La maestra reunió al grupo en círculo y puso sobre el suelo una rampa en posición horizontal, colocó una canica en el centro de esta y preguntó: ¿Cómo podríamos hacer para que la canica llegue a un extremo? ¿Cómo conseguirlo sin tocar la canica? Esta situación provoca una lluvia de ideas que son el punto de partida y el momento clave para detectar las ideas del alumnado, experiencias de la vida cotidiana e intereses y habilidades de los niños y niñas. El alumnado propone varias formas de hacerlo, todas ellas plausibles (p. ej., «poner las manos atrás y soplar»; «abrir la ventana, entra el viento y mueve la bola»; «poner cuatro libros debajo de la rampa y la bola va a caer; la tiramos», etc.).

La docente anima para que todas participen. Las preguntas realizadas promueven habilidades de orden superior (p. ej., Niño: «Profe, no va a funcionar, tiene que estar recto»; explicita su modelo y propone modificaciones –H8–, contraargumenta, predice erróneamente –H6–). Se observa, en este primer momento, que hay en el aula alumnos con un modelo precursor de interacciones mecánicas más desarrollado que otros y que razonan correctamente. El clima es de confianza y todos se expresan con naturalidad. Como era de esperar, en las primeras semanas se expresan mediante un vocabulario reducido (conocimiento y uso de palabras) y estructuras gramaticales simples.

Finalmente, se construye la rampa mediante libros, se lanza la bola y todo el alumnado exclama con un rotundo «¡Sííí!». Parecen cumplirse sus expectativas. La maestra entonces coloca otros cuatro libros al otro lado de la rampa, tal y como propusieron algunos alumnos, dejando la rampa otra vez en posición horizontal. Ante la pregunta de si la bola rodará ella sola, la respuesta es unánimemente negativa y, por tanto, el alumnado predice (H6) correctamente.

Actividad 2. Libre experimentación en el ECLERC

Tras la actividad 1, se presentó el ECLERC al alumnado y se explicó que existen ciertas reglas para su uso (grupos de menos de cinco, seguridad, etc.). Durante las primeras tres semanas surge espontáneamente un juego colaborativo de construcción de rampas y caminos, que permite a los niños y niñas producir y mejorar sistemas físicos, comparando sus expectativas con aquello que observan experimentalmente, y modificando el sistema diseñado mediante prueba y error, refinando así sus propias ideas y modelos. Se comentan, a continuación, los registros llevados a cabo en esta fase.

Al inicio, los niños comienzan observando y describiendo (H1) los materiales, sus propiedades, características y límites (por ejemplo, «Está muy alta»). Apilan los tacos para testar (H7) las posibilidades que ofrecen estos. Usan las rampas más largas (H2) y todos los tacos, teniendo la «necesidad» de utilizar todo el material hasta agotarlo. Así, al inicio crean rampas simples, con bajadas o subidas leves, siempre rectas y bastante largas. Los tacos se ubican siempre al inicio del sistema, como soporte a la rampa principal, como queriendo asegurar su estabilidad. Poco después, en cambio, sus estructuras parecen pasar al otro extremo; crean rampas largas y casi verticales seguidas de rectas horizontales y «protegen» las vías mediante tacos a los lados para que la canica no se salga del circuito. Exploran los límites físicos del sistema donde llevar a cabo su juego con estructuras muy largas o altas (fotos en la figura 4, A y B).

En la tercera semana comienzan a usar las rampas cortas. Empiezan a construir sistemas más heterogéneos y a optimizar el uso de tacos; los sistemas son más sofisticados mediante un menor uso de materiales. Crean caídas consecutivas y comparan (H4) sistemas idénticos en paralelo entre ellos (véase figura 4C, valles). En general, todos son capaces de experimentar (H7) de forma autónoma, cambiando el número de tacos para modificar la inclinación de la rampa y así obtener mayor o menor velocidad. Son capaces de plantearse pequeños retos, de predecir (H6) el comportamiento de la bola (por ejemplo, «Por aquí va a subir y va a bajar la canica») y de comunicar (H3) con sus palabras el comportamiento de la canica (a veces hablan para sí mismos verbalizando estas ideas). En esta fase el alumnado clasifica (H2) con un criterio claro, identificando y escogiendo el material según sus cualidades e intereses (por ejemplo, «Voy a coger la rampa más larga»). Asimismo, cuando termina la sesión, clasifican (H2) el material por tamaño y lo guardan.

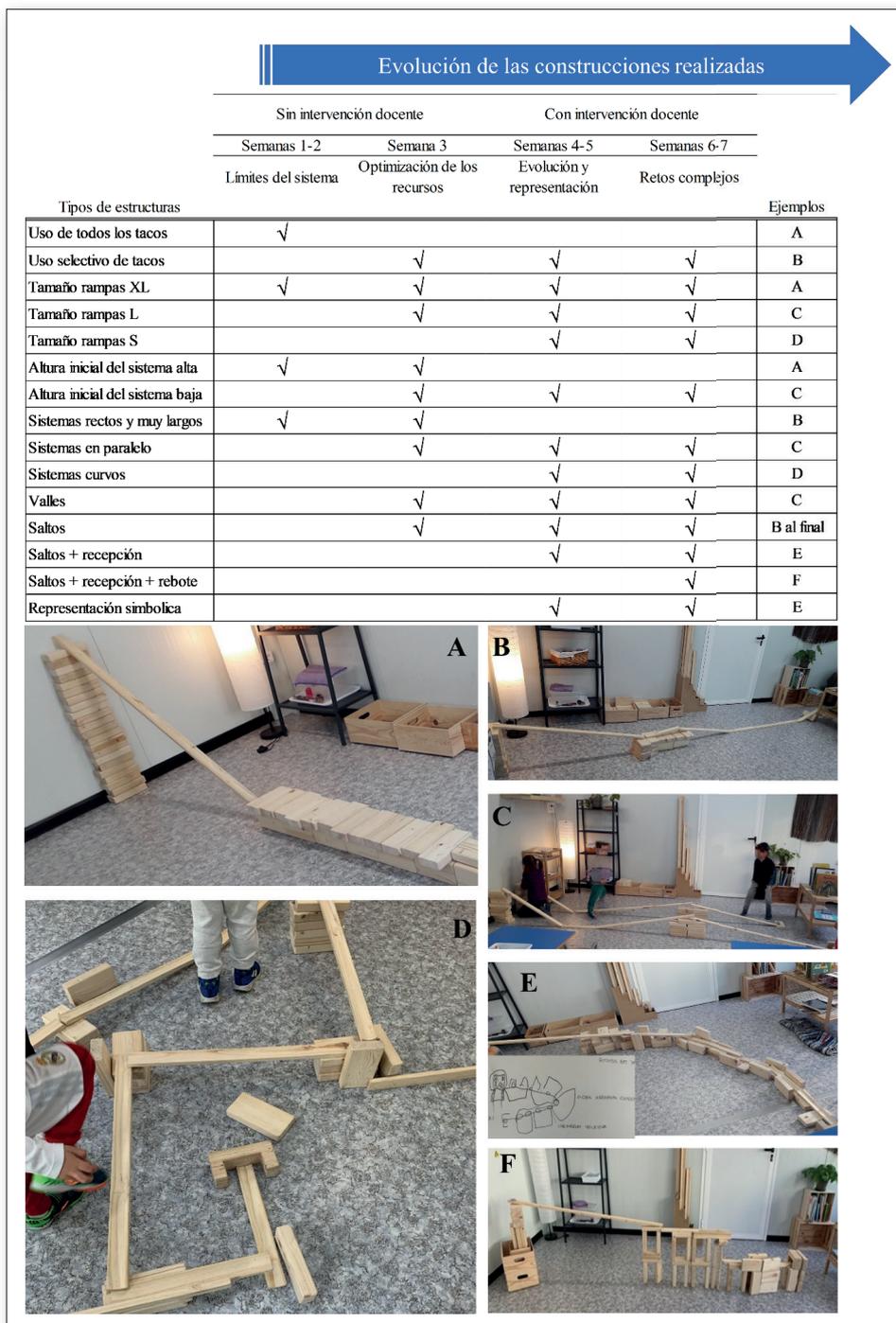


Fig. 4. Aparición de los diversos tipos de estructuras construidas a lo largo del tiempo.

El análisis de la actividad registrada en esta primera fase (figura 5 – fase 1) a partir de los criterios establecidos (véanse el apartado de «Metodología» y la figura 3) indica que hay habilidades que emergen en la mayoría los alumnos de forma natural (H2, H3, H7), mientras que otras lo hacen de un modo sutil en unos pocos alumnos del grupo estudiado (H1, H5, H6 y H8). Las observaciones realizadas

in situ por el observador no siempre pueden abarcar el conjunto de acciones del alumnado, aunque sí permiten ofrecer una aproximación semicuantitativa, así como información de carácter cualitativo de las habilidades científicas.

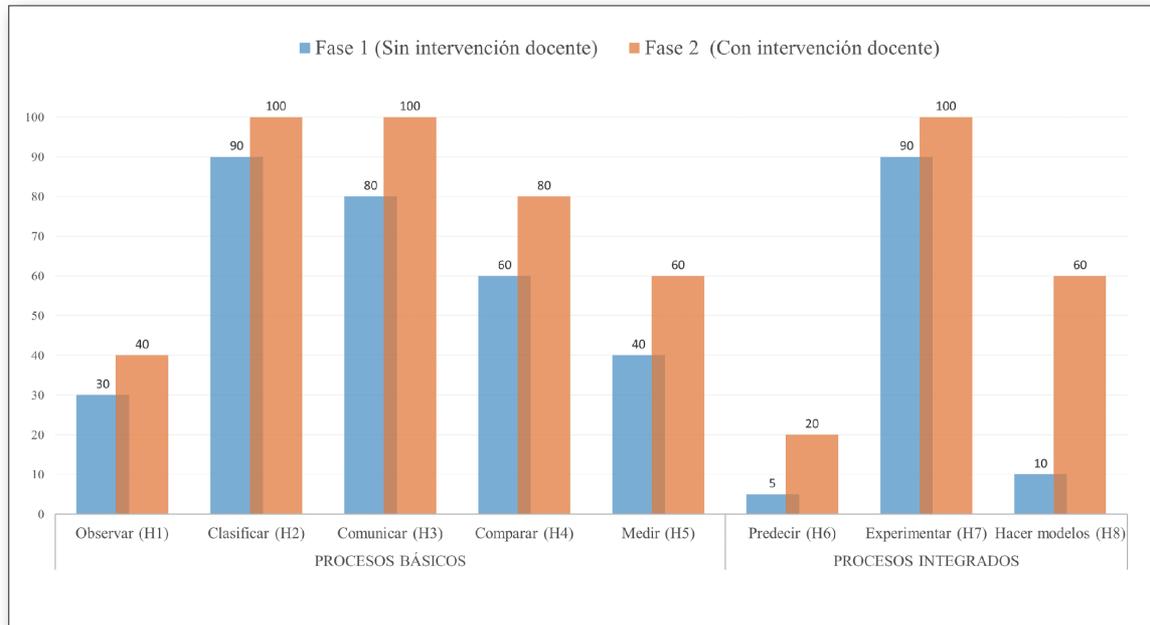


Fig. 5. Tipo de habilidades emergentes (H1-H8) y su frecuencia relativa de aparición para las fases 1 y 2 de la implementación.

Este primer diagnóstico permitió diseñar una mejor intervención de cara a la fase 2 de la implementación (tabla 1), donde se plantearon las siguientes mejoras:

1. Potenciar las habilidades menos frecuentes (observar, medir, predecir y crear modelos).
2. Introducir nuevos retos para potenciar las habilidades que aparecen con regularidad, pero poco desarrolladas (medir, clasificar sobre la base de otros criterios, comunicar de otras formas, por ejemplo, mediante dibujos, incluso experimentar con otras variables etc.).

Fase 2. Intervención docente en el ECLERC (semanas 4-7)

Actividad 3. Indagación en el ECLERC e intervención docente

Con el objetivo de promover la indagación y la emergencia de ciertas habilidades científicas, así como mejorar las construcciones, durante las últimas cuatro semanas se intervino mediante preguntas productivas (Martens, 1999) adaptadas a la propuesta y sus objetivos (véase figura 3). El uso de preguntas productivas surte el efecto deseado en la mayoría de los casos (figura 5 – fase 2), y el alumnado verbaliza muchas cuestiones que antes omitía. Sobre todo, se utilizaron preguntas para centrar la atención (¿Por dónde se sale la bola?), preguntas de comparación (¿Qué rampa va más rápido?), preguntas para plantear problemas (¿Cómo conseguirás meter la canica por esa puerta? –reto: construir curvas–), preguntas para medir (¿Cuántos tacos pondrás para que la bola llegue hasta ahí?) y preguntas de razonamiento (Me pregunto si funcionará si...). De este modo, el grado de complejidad de los sistemas construidos aumenta (véase figura 4).

En la cuarta semana comienzan a colocar tacos en horizontal o vertical y, de ese modo, ganan altura rápidamente, creando así puentes, caídas y desniveles en un mismo sistema. Asimismo, construyen series de curvas de 90° mediante el uso de tacos como pared para que la bola no se salga en las curvas. Los

sistemas empiezan a ser más complejos por el uso de rampas más cortas (figura 4D). En este momento comienzan a dibujar (H8) aquello que han construido y, además, recogen predicciones (H6) en términos cinemáticos (trayectoria y posición) sobre el hipotético comportamiento de la bola (figura 4E); es más, comunican verbalmente que se trata de una rotonda y describen el movimiento de la bola (H3).

En esta fase, una correcta intervención docente permite evaluar, por ejemplo, el razonamiento y capacidad predictiva del alumnado (tabla 2). En general las intervenciones docentes fueron ajustadas a la situación (diálogo 1); aunque a veces, por falta de entrenamiento, alguna intervención por parte del adulto provoca el desinterés del niño por la actividad, al proponer un reto no adecuado (diálogo 2).

Tabla 2.

Transcripciones de diálogos con ejemplos de intervenciones docentes ajustadas (1) y no ajustadas (2)

<i>Transcripción de diálogo 1 Ejemplo de una intervención docente ajustada</i>	<i>Análisis</i>
Niño: <i>¡Ya viene!</i>	Comunican en términos cinemáticos (H3)
Niña: <i>No ha llegado.</i>	Comunican en términos cinemáticos (H3)
Maestra: <i>Leire, se ha parado la canica. ¿Qué necesita tu canica para no pararse?</i>	Pregunta de razonamiento
Niña: <i>Más velocidad.</i>	Predice (H6)
Maestra: <i>Tu canica necesita más velocidad. ¿Cómo puedes darle más velocidad?</i>	Pregunta de acción
Niña: <i>Necesita más inclinación.</i>	Predice (H6) y expresa su modelo (H8) al proponer cambios sobre el sistema antes de soltar la bola
Maestra: <i>¡Ah! Necesita más inclinación. ¿Dónde vas a poner más inclinación?</i>	Pregunta para centrar la atención
Niña: <i>Al principio.</i>	
Maestra 2: <i>Vale, vamos a probarlo.</i>	
<i>Transcripción de diálogo 2 Ejemplo de una intervención docente no ajustada</i>	<i>Análisis</i>
Maestra: <i>Urko, mira, si cambiamos esto, vamos a verlo, va a ir mejor tu rampa.</i>	Reto demasiado complejo e inapropiado
Niño:	No responde
Maestra: <i>Escucha</i>	El niño se va

En la semana 6-7 los sistemas diseñados son muy sofisticados e implican una pericia y precisión considerables. Se emplean todo tipo de rampas y contienen diversos tipos de estructuras (rampas, saltos, túneles, cambios de sentido, etc.) que responden a retos muy complejos (p. ej., se proyectan saltos parabólicos entre diferentes pisos y recepciones en pistas de dirección contraria; véase figura 4F). En general, son capaces de establecer relaciones de causa-efecto mediante el control de distintas variables a la vez (por ejemplo, la altura de los tacos, la pendiente, la velocidad de la bola y su movimiento). El grado de implicación del alumnado en la propuesta es alto y este no desiste en sus proyectos y, si un día no lo consiguen, al día siguiente siguen con el mismo proyecto de circuito. Las predicciones (H6) realizadas se refinan, («si le doy más inclinación, tendré más velocidad. Por tanto, no parará»). La intervención de la maestra provoca que los pequeños verbalicen sus estimaciones y mediciones (H5) (p. ej. el número de tacos para una determinada inclinación, el necesario para obtener X saltos, etc.), y realizan mediciones tanto espaciales como temporales (H5) haciendo uso de un metro, de un hilo de lana y de un reloj de arena. En general, son capaces de observar la estructura de una rampa, reconocer que funcionará (o no) tal y como está construida y realizar los cambios necesarios antes de soltar una canica, prueba de que el niño ha construido un modelo mental del sistema (H8).

Actividad 4. Prueba individual y grupal mediante la charla científica

Finalmente, una vez cerrado el ECLERC, y a través de una prueba diseñada *ad hoc* basada en una propuesta de evaluación formativa (Keeley, 2013), se evaluó y se puso en común la capacidad predictiva del alumnado y, en definitiva, la sofisticación del modelo de rampa que cada alumno desarrolló a lo largo del itinerario formativo. La sesión (90 min) consta de una prueba individual y otra grupal en la que se utilizan la charla científica y sus diversas estrategias dialógicas: revocar, reproducir las ideas de los demás compañeros, comparar modelos, promover la participación adicional de los estudiantes, pedir a los estudiantes que expliquen su razonamiento y utilizar el tiempo de espera (Keeley, 2016).

Prueba de evaluación individual

Individualmente se les ofreció una hoja a todos los alumnos (n = 20) con una representación de una rampa (figura 6B) y varias pegatinas para responder a la pregunta «¿Dónde ponemos la canica para que llegue al final?». Cada uno colocó una pegatina, salvo dos alumnas que pegaron dos sobre su papel. En general, la mayoría contestaron correctamente (figura 6A), con respuestas plausibles. Nótese que cualquier punto entre C (34,7 % de pegatinas) y D (8,7 %) sería obviamente correcto; aunque ubicar la bola en el punto A (43,5 %) o cerca de A también podría tener éxito, no así ubicarla en B (0,4 %). Las pegatinas se ubicaron en los puntos descritos (A, B, C o D), ninguna entre ellos y dos fuera del sistema (0,7 %). Una vez recogidas las respuestas, algunos niños necesitaron describir verbalmente en términos cinemáticos (H3) su predicción (H6) (por ejemplo, «la bola bajará, subirá y volverá a bajar» o «aquí rápido, despacio, rápido»).

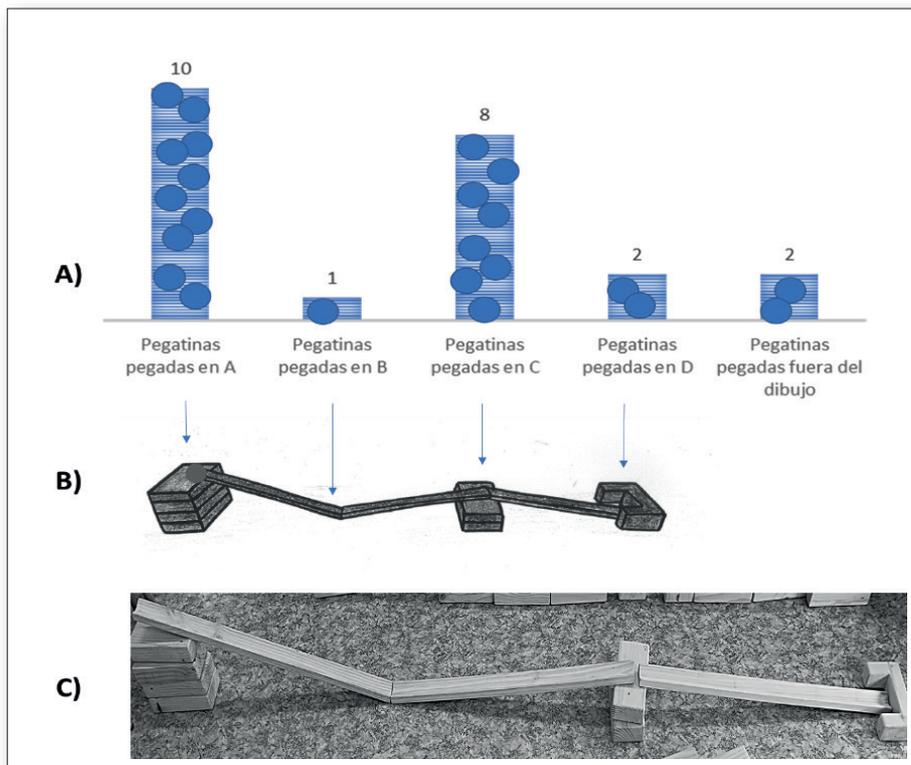


Fig. 6. A) Número de respuestas –pegatinas pegadas– sobre el dibujo de la rampa. B) Dibujo de la rampa sobre la que contestaron las niñas. C) Construcción realizada espontáneamente a partir del dibujo proporcionado.

Prueba de evaluación grupal mediante la charla científica

A continuación, sentados en círculo y con la misma imagen delante sobre una cartulina (figura 7B), se realizó la misma pregunta: *¿De dónde vamos a tirar la canica para que entre en la portería?* El objetivo es que argumenten dónde y por qué han puesto cada uno la pegatina, que escuchen los razonamientos de sus compañeros, que contrasten sus modelos, verbalicen sus predicciones y, finalmente, si se diera la ocasión, que la comprueben experimentalmente. Esta actividad grupal transcurre rápidamente (30 min) y es difícil captar todas las aportaciones y matices del alumnado (la observadora principal, una docente y un investigador estuvieron presentes y anotando).

Inicialmente, y de manera espontánea, algunas niñas insistieron en su deseo de representar (H8) el sistema de rampas de forma real, construyéndolo a partir del dibujo bidimensional proporcionado. Se les permitió hacerlo, con la condición de no probar el modelo con la canica hasta acabar la charla, y lo realizaron correctamente (figura 6C). Posteriormente, los niños y niñas comienzan describiendo (H3) sobre la cartulina o sobre el sistema real cuál podría ser el recorrido de la bola, su comportamiento y trayectoria, que de alguna forma predicen (H6). Hay alumnos que contestan brevemente no estar de acuerdo, no participan de manera muy activa al principio, parecen evaluar sus ideas iniciales y compararlas con aquellos que se pronuncian en sentido contrario al suyo. Normalmente, hablan en términos cinemáticos (H3), no de fuerzas (por ejemplo, «Yo por aquí porque va a ir así»). Dos alumnas utilizaron términos mecánicos para superar el punto C («la bola necesitará empuje para pasar por aquí»). En general, las predicciones realizadas (H6) son correctas (lanzar la bola de A o C), aunque afloran discrepancias, sobre todo con lanzar la bola desde el punto A, ya que muchos piensan que no será suficiente (en torno a un tercio de la clase).

En los primeros minutos la docente casi no interviene, ya que el alumnado se autorregula adecuadamente (tabla 3). Posteriormente, la maestra hace uso de las estrategias dialógicas para animar al alumnado que todavía no ha participado a expresarse: «¿Qué te parece lo que ha dicho Pablo, María?», «¿Iker, tú también piensas eso?», «¿Roberto dice que por aquí va rápido, es así?», «¿Alguien quiere decir algo más?», etc. Comparando esta charla con la charla inicial o la individual se observa, en líneas generales, un vocabulario más amplio, un mayor nivel expresivo y una mayor seguridad para argumentar sobre el funcionamiento de los sistemas construidos. Antes de perder la atención de los alumnos, se decide comprobar experimentalmente. Varios alumnos ultiman los retoques finales de la estructura antes de tirar la bola (H8). Como la mayoría de los votos recayeron en el punto A, la primera bola se lanzó desde ahí: «¡Gooool!». Las caras de los niños se llenan de satisfacción al ver sus expectativas cumplidas, aunque todavía, y a la luz de las evidencias, haya algunos que no desean revisar su modelo (Niño: «Pero se podía parar aquí»). La maestra deja entonces que los niños experimenten y lancen la bola desde otros puntos mientras el juego continúa.

Tabla 3.
Extracto de charla científica frente al modelo construido

<i>Transcripción de un diálogo</i>	<i>Análisis</i>
Niño A: <i>No va a pasar porque hay un agujero grande.</i>	Observa (Agujero = valle; punto B, H1) y predice (H6)
Niño B: <i>Va así Urko, siuuuuu.</i>	Describe el comportamiento de la bola, verbal y gestualmente (H3)
Niña: <i>No, ha caído así.</i>	Predice en sentido contrario (H6) y lo expresa en tiempo verbal presente (H3)

<i>Transcripción de un diálogo</i>	<i>Análisis</i>
Niño A: <i>Yo he pensado que Leire iba a poner cinco bloques y dos ahí y la portería esa grande ahí. Cinco bloques ahí y cinco bloques ahí, sube por ahí. Hay que tener cuidado porque a veces las canicas van así, se paran o rebotan.</i>	Este niño describe (H3) el comportamiento general de las canicas a partir de su experiencia, y además experimenta (H7) mentalmente y predice (H6) que el sistema ya construido necesitará una mayor altura inicial (H8).
Niño C: <i>Yo no he visto que haya marcado un gol.</i>	Expresa su disconformidad y predice en sentido contrario (H6). Es escéptico y, tal vez, ya está clamando por una comprobación experimental.
Niña: <i>Ni yo. Si hay empuje, esa la primera le empuja a la segunda, la segunda a la tercera y esa mete gol.</i>	Hace suyas las palabras de Leo. Piensa que cada pegatina es una bola –ella puso tres– y chocan entre ellas. Comunica (H3) en términos más mecánicos que cinemáticos.
Niño B: <i>Por aquí rápido, por aquí despacio y por aquí rápido.</i>	Describe (H3) y predice (H6) adecuadamente el comportamiento de la bola

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Fruto de la colaboración escuela-universidad, este trabajo recoge el diseño, la implementación y la evaluación de una propuesta didáctica de larga duración en EI sobre sistemas físicos (rampas y caminos) con fases de libre experimentación (fase 1 – 20 días) y experimentación guiada (fase 2 – 30 días). Se han evaluado las destrezas científicas emergentes y las construcciones llevadas a cabo a lo largo de la implementación, así como el efecto de la intervención docente.

En líneas generales, los resultados indican una clara evolución estructural en los sistemas construidos, ya sea por la complejidad en los retos recogidos, o por la carga representativa de las propias estructuras. Llegar a ese nivel de complejidad requiere conocer las propiedades, posibilidades y límites de los materiales y una pericia y precisión remarcable (Cohen y Emmons, 2017). Si bien inicialmente los niños y niñas construyen sistemas rectos y simples, a medida que el docente propone nuevos retos mediante preguntas productivas, estos responden y dan inicio a proyectos más complejos donde incluyen curvas, saltos, recepciones, etc. En línea con estudios previos (Kamii, 2015), el alumnado ha sido capaz de resolver problemas e investigar de manera activa a través del juego, relacionando diversas variables al mismo tiempo, tales como la altura de los tacos y la pendiente, la velocidad de la bola y el salto parabólico posterior. En este proceso son vitales las preguntas utilizadas por el docente para ayudar al infante a *i*) focalizar la atención en el reto o problema principal, *ii*) comparar estructuras, o *iii*) proponer una acción concreta, como tirar la bola por otro lado. Este andamiaje permite sostener la atención y acción del niño en el tiempo y profundizar en el juego (Guarrella et al., 2022b). Al igual que en otras propuestas, en este trabajo la participación docente mediante un andamiaje verbal –como hacer preguntas abiertas, plantear problemas, hacer afirmaciones y pensar en posibilidades en voz alta– también han aumentado la complejidad de las estructuras realizadas por los niños (Cohen y Emmons, 2017).

Con respecto a las habilidades científicas (H1-H8), cabe destacar que todas afloran de manera natural durante el juego sin intervención. Guarrella et al. (2022b) indican que la exploración científica en el contexto de la educación infantil debería centrarse en el desarrollo de las habilidades científicas, ya que permiten un andamiaje del pensamiento, el análisis y el razonamiento científico a través de la exploración lúdica y la intervención docente en estos espacios de libre elección. Sin embargo, en la fase de experimentación libre, solo algunas habilidades (como clasificar, comunicar, experimentar) son desarrolladas por la mayoría del alumnado, mientras que otras como medir, predecir o hacer modelos, en cambio, son minoritarias. En este sentido, la intervención docente en las siguientes semanas mediante preguntas productivas elevó el número de habilidades registradas. Si bien surge aquí el interrogante

sobre si los alumnos serían capaces de desarrollar estas habilidades y estructuras similares en propuestas sin andamiaje y más extensas en el tiempo, diferentes estudios avalan la necesidad de un andamiaje docente ajustado. A este respecto, y en línea con los resultados obtenidos por Bargiela et al. (2022), en este estudio la formulación de preguntas por parte de la docente también resultó fundamental para activar destrezas y disposiciones de pensamiento crítico en el alumnado que no parecen emerger de manera espontánea. Del mismo modo, otros trabajos también indican que la orientación del docente puede favorecer que los niños y niñas realicen comprobaciones y, por tanto, desarrollen nuevas habilidades científicas (Mateo y Sáez-Bondía, 2022). Por lo tanto, los resultados aportados en este estudio apuntan a la necesidad de andamiaje docente en el desarrollo de las destrezas científicas en el aula de EI.

Obviamente, estudios en contextos reales y a largo plazo como el aquí presentado tienen una serie de limitaciones metodológicas inherentes. En ciertos momentos resultó difícil recabar todas las acciones ejecutadas por los niños dada la velocidad a la que estas suceden. Así, la observadora tuvo que elegir en algunos casos qué situaciones recoger y cuáles descartar. Abordar ese análisis hubiera necesitado de herramientas más exhaustivas como grabaciones en vídeo. Aun así, la herramienta de evaluación propuesta resulta práctica para un uso cotidiano en el aula de EI y aporta evidencias en forma de registros.

Dentro de la fase de experimentación guiada por el docente, además de las preguntas productivas, en este trabajo también se ha utilizado una prueba de evaluación diseñada *ad hoc* fundamentada en la charla científica (Keeley, 2016). Esta herramienta ha permitido trabajar específicamente varias habilidades científicas como la predicción, la comparación y la modelización, donde la capacidad para guiar la charla científica por parte de las docentes resulta esencial. Esta charla tiene un efecto catalítico y promueve la participación de la mayoría de los alumnos, pues ayuda a expresar sus modelos explicativos. Los diálogos recogidos en estas charlas finales muestran un mayor dominio del vocabulario específico y una mejor capacidad para argumentar sobre la base de sus experiencias. Propuestas escalonadas de exploración libre o exploración guiada junto con sesiones de charlas científicas ya han sido recogidas anteriormente por Chalufour y Worth (2004), donde se aboga por ampliar el uso de este tipo de estrategias dialógicas en el aula de EI para el desarrollo de habilidades científicas clave.

Finalmente, cabe recalcar que la colaboración escuela-universidad ha resultado ser una estrategia *win-win*, donde docentes y alumnado de ambas instituciones han cogenerado recursos y propuestas para la mejora del proceso de enseñanza-aprendizaje. Con todo, el presente estudio pone de manifiesto que la utilización de espacios y materiales accesibles en entornos de libre elección ofrecen al alumnado oportunidades de juego y aprendizaje significativas. Además, un uso adecuado de las estrategias dialógicas y herramientas de evaluación permiten a los docentes realizar un seguimiento pormenorizado del desarrollo gradual de las habilidades científicas en el aula de EI.

REFERENCIAS

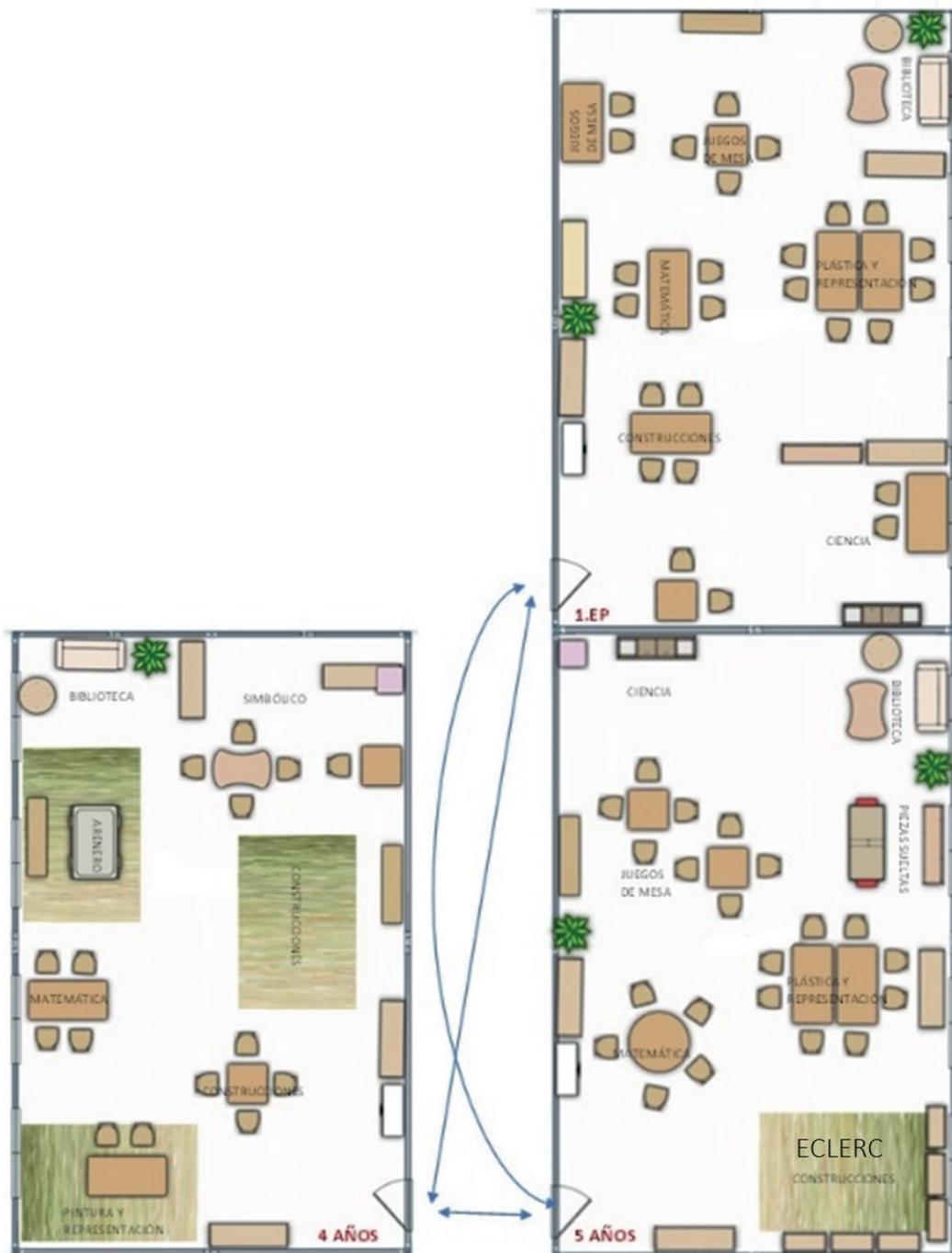
- Alsina, N. G. (2010). Rampas para movernos y para pensar. *Aula de infantil*, (57), 19-23. <http://hdl.handle.net/11162/24608>
- Anguera, M. T. (2003). La observación en la Educación Infantil. En J. L. Gallego Ortega y E. Fernández de Haro (Dirs.), *Enciclopedia de Educación Infantil* (Vol. I, pp. 861-884). Aljibe.
- Bargiela, I. M., Anaya, P. B. y Puig, B. (2022). Las preguntas para la indagación y activación de pensamiento crítico en educación infantil. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 40(3), 11-28. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5470>
- BOE, *Boletín Oficial del Estado* (2022). Real Decreto 95/2022, de 1 de febrero, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Infantil.

- Chalufour, I. y Worth, K. (2004). *Building Structures with Young Children. Trainer's Guide*. Redleaf Press.
- Cohen, L. E. y Emmons, J. (2017). Block play: spatial language with preschool and school-aged children. *Early Child Development and Care*, 187(5-6), 967-977.
<https://doi.org/10.1080/03004430.2016.1223064>
- Counsell, S., Escalada, L., Geiken, R., Sander, M., Uhlenberg, J., Van Meeteren, B., ... y Zan, B. (2016). *STEM learning with young children: Inquiry teaching with ramps and pathways*. Teachers College Press.
- Cruz-Guzmán, M., Puig, M. y García-Carmona, A. (2020). ¿Qué tipos de actividades diseñan e implementan en el aula futuros docentes de Educación Infantil cuando enseñan ciencia mediante rincones de trabajo? *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 38(1), 27-45.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2698>
- Davis, E. A. (2015). Scaffolding learning. *Encyclopedia of Science Education*, 21(2), 362-364.
https://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0_206
- Fragkiadaki, G., Fleeer, M. y Rai, P. (2022). Science Concept Formation During Infancy, Toddlerhood, and Early Childhood: Developing a Scientific Motive Over Time. *Research in Science Education*, 1-20.
<https://doi.org/10.1007/s11165-022-10053-x>
- Guarrella, C., Cohrssen, C. y van Driel, J. (2022a). The Quality of Teacher-Child Interactions during the Enactment of Playful Science Games in Preschool. *Early Education and Development*, 33(4), 634-654.
<https://doi.org/10.1080/10409289.2021.1900993>
- Guarrella, C., van Driel, J. y Cohrssen, C. (2022b). Science Education in Early Childhood Education—Are We Approaching a Cure for the State of Chronic Illness? *Research in Science Education*, 1-9.
<https://doi.org/10.1007/s11165-022-10087-1>
- Haldón Lahilla, J., Pedreira Álvarez, M. y Lemkow Tovas, G. (2022). Propuesta de análisis de la intervención de la persona adulta en un espacio de ciencia de libre elección. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5505>
- Hapgood, S., Czerniak, C. M., Breneman, K., Clements, D. H., Duschl, R. A., Fleeer, M., ... y Van Meeteren, B. (2020). The importance of early STEM education. En *Handbook of Research on STEM Education* (pp. 87-100). Routledge.
- Hast, M. y Howe, C. (2013). Towards a complete commonsense theory of motion: The interaction of dimensions in children's predictions of natural object motion. *International Journal of Science Education*, 35(10), 1649-1662.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2011.604685>
- Jirout J. y Zimmerman C. (2015) Development of science process skills in the early childhood years. En Cabe Trundle, K. y Saçkes, M. (Eds.), *Research in Early Childhood Science Education* (pp. 143-165). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-9505-0_7
- Jirout, J. J. (2020). Supporting early scientific thinking through curiosity. *Frontiers in Psychology*, 11, 1717. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01717>
- Kamii, C. (2015). Physical-Knowledge Activities for the Development of Logico-mathematical Knowledge. En *Research in early childhood science education* (pp. 185-209). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-94-017-9505-0_9

- Keeley, P. (2013). *Uncovering student ideas in science: 25 new formative assessment probes for Grades K-2*. National Science Teachers Association.
- Keeley, P. (2016). Talk Moves. *Science and Children*, 53(8), 24.
- Klahr, D., Zimmerman, C. y Jirout, J. (2011). Educational interventions to advance children's scientific thinking. *Science*, 333(6045), 971-975.
<https://doi.org/10.1126/science.1204528>
- Marín, I. (2009). Jugar, una necesidad y un derecho. *Aloma: revista de psicología, ciències de l'educació i de l'esport Blanquerna*, 25, 233-249.
- Martens, M. L. (1999). Productive questions: Tools for supporting constructivist learning. *Science and Children*, 36(8), 24
- Martin, D. J., Jean-Sigur, R. y Schmidt, E. (2005). Process-oriented inquiry a constructivist approach to early childhood science education: teaching teachers to do science. *Journal of Elementary Science Education*, 17(2), 13.
<https://doi.org/10.1007/BF03174678>
- Marton, F. y Booth, S. (1997). *Learning and awareness*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Mateo, E. y Sáez-Bondía, M. J. (2022). Experimentar con minerales en Educación Infantil: evaluación de un espacio de Ciencia de libre elección. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(2), 2801-2801.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i2.2801
- Matsuda, F. (2001). Development of concepts of interrelationships among duration, distance, and speed. *International Journal of Behavioral Development*, 25, 466-480. DOI: 10.1080/016502501316934905
- Monteira, S. F., Jiménez Aleixandre, M. P. y Martins, I. (2017). Construcción de modelos y apropiación de recursos comunicativos en el aula de infantil (3-4 años). *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), 4273-4280.
- Osterhaus, C., Brandone, A. C., Vosniadou, S. y Nicolopoulou, A. (2021). The Emergence and Development of Scientific Thinking During the Early Years: Basic Processes and Supportive Contexts. *Frontiers in Psychology*, 12, 387.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.629384>
- Pedreira, M. (2018). Intervenir, no interferir: el adulto y los procesos de aprendizaje. *Aula de Infantil*, 96, 9-13.
- Pedreira, M. y Márquez, C. (2017). Espacios de Ciencia de libre elección: posibilidades y límites. *Enseñanza de las Ciencias e Infancia. Problemáticas y avances de teoría y campo desde Iberoamérica*, 151-169.
- Pedreira, M. y Márquez, C. (2019). Experience, Explication, Evolution: Processes of learning in a free-choice science museum activity for children up to 6 years of age. *Journal of Emergent Science*, 17(19), 19-31.
- Prat, M., Anglès-Virgili, N., Geis, À. y Mañós, R. V. (2021). Diseño de un instrumento observacional de base neurocientífica para el análisis del juego libre infantil: ObPlay 9-36m. *Bordón: Revista de pedagogía*, 73(3), 115-129.
- Ravanis, K. (2017). Early Childhood Science Education: state of the art and perspectives. *Journal of Baltic Science Education*, 16(3), 284-288.
- Sanmartí, N. et al. (coord.) (2022). *Tesor de recursos* (página web). <https://tresorderecursos.com/>
- Sukkar, H. y Chapman, D. (2014). Teaching in play-based contexts. Springer. *Encyclopedia of Science Education*, 1-1.
https://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0_267
- Willard, T. (2020). *The NSTA Atlas of the Three Dimensions*. NSTA Press.

ANEXO 1.

Mapa de las tres aulas contiguas donde se lleva a cabo el movimiento autónomo por diversos espacios de aprendizaje, y en el que se incluye un espacio de ciencia (el ECLERC)



A Didactic Proposal on Ramps in Early Childhood Education: the Importance of Teacher Intervention in the Development of Scientific Skills and Constructions

Daniel Zuazagoitia
Universidad del País Vasco, UPV/
EHU. Departamento de Didáctica
de la Matemática y de las Ciencias
Experimentales y Sociales
daniel.zuazagoitia@ehu.es
<https://orcid.org/0000-0001-9954-7855>

Silvia España-Diez
Centro de Educación Infantil y Primaria
Aldaialde. Red pública del País Vasco.
silvia.espana@aldaialdeikastetxea.es

Leire Ruiz de Azua
Universidad del País Vasco, UPV/EHU.
Departamento de Didáctica
de la Matemática y de las Ciencias
Experimentales y Sociales
leireruz98@gmail.com

Montse López-Puente
Centro de Educación Infantil y Primaria
Aldaialde. Red pública del País Vasco.
montse.lopez@aldaialdeikastetxea.es

Josu Sanz
Universidad del País Vasco, UPV/EHU.
Departamento de Didáctica
de la Matemática y de las Ciencias
Experimentales y Sociales
josu.sanz@ehu.es
<https://orcid.org/0000-0002-1211-1598>

Aritz Ruiz-González
Universidad del País Vasco, UPV/
EHU. Departamento de Didáctica
de la Matemática y de las Ciencias
Experimentales y Sociales
aritz.ruiz@ehu.es
<https://orcid.org/0000-0001-7409-4634>

Today there is a broad consensus in prioritising scientific practices in the construction of scientific knowledge, especially from an early age (Guarrella et al., 2022b). Thus, in recent years, early childhood education has been gaining its own space and voice within science education, with lines of work that have highlighted the potential of science in early childhood education so as to work on scientific practices such as argumentation, inquiry and modelling (Mateo & Sáez-Bondía, 2022; Monteiro et al., 2017). In this way, basic skills such as observation, classification, or making comparisons or inferences can be brought into play (Pedreira & Márquez, 2019; Counsell et al., 2016).

Although many of these activities can be carried out autonomously, when accompanied by an adult, learners can perform more complex tasks (e. g. hypothesising, identifying and controlling variables or designing experiments, collecting and analysing data, as well as using data to decide and make predictions about other problems; as seen in Jirout & Zimmerman, 2015 and Martin & Schmidt 2005), which makes their learning more effective and efficient (Davis, 2015).

This study presents, resulting from the collaboration between school and university, the design, the implementation, and the evaluation of a didactic intervention of a socio-constructivist and dialogical nature on interactions in physical systems (ramps and pathways) in early childhood education. The didactic proposal which was designed consists of two phases and four different activities and was implemented in a group ($n = 20$) of a classroom for pre-school children (5-6 years old) in a free choice context based on play and autonomous movement. During its implementation, the emerging scientific skills, the complexity of the constructions made, as well as the effect of the teaching intervention on learning were evaluated. This study builds on Counsell's (2016) didactic approach to ramps and pathways and includes Martens' (1999) productive questions and Keeley's (2016) various dialogical strategies to provide evidence of children's ability and the significance of the teaching role.

In general terms, the results indicate a clear structural evolution in the systems constructed, both in terms of the complexity of the challenges and the representative load of the structures themselves. Although initially the children build straight and simple systems, as the teacher proposes new challenges through productive questions, they respond and start more complex projects including curves, jumps, receptions, etc. In this process, the questions used by the teacher to help the child are vital to *i*) focus attention on the main challenge or problem, *ii*) compare structures, and/or *iii*) propose a concrete action such as throwing the ball to the other side. With regards to the scientific skills (H1-H8), it is worth noting that all of them emerge naturally during play without any intervention. However, only some skills (e. g. classifying, communicating, experimenting) are developed by most students, while others (e. g. measuring, predicting, modelling) are thus developed by a minority. In this sense, the teaching intervention in the following weeks by means of productive questions increased the number of skills recorded. In this respect, and in line with the results obtained by Bargiela et al. (2022), in this study the formulation of questions by the teacher was also fundamental to activate critical thinking skills and dispositions in students that do not seem to emerge spontaneously.



Concepciones del alumnado sobre ingeniería y sus conexiones con las matemáticas y las ciencias

Students' Conceptions of Engineering and its Connections with Mathematics and Science

Jefferson Rodrigues-Silva

Departamento de Ingeniería Mecánica. Instituto Federal de Minas Gerais, Arcos, Minas Gerais, Brasil
jeffe.rodri@gmail.com

Marcela Silva-Hormazábal

Departamento de Especialidades Pedagógicas, Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Los Lagos, Chile
marcela.silva@uach.cl

Ángel Alsina

Departamento de Didácticas Específicas, Universidad de Girona, Girona, Cataluña, España
angel.alsina@udg.edu

RESUMEN • Considerando la incorporación progresiva de la competencia STEM en el currículo de educación primaria, se exploran las concepciones del alumnado sobre la ingeniería. Para ello, se ha aplicado el instrumento validado Draw an Engineer Test (mDAET) a 18 estudiantes españoles de 10 a 11 años. Los datos obtenidos a partir de una metodología mixta (por un lado, estadística descriptiva y pruebas no paramétricas, y, por otro, análisis de contenido) muestran que el alumnado participante presenta nociones estereotipadas de la ingeniería como actividades manuales, desarrolladas en ambientes de trabajo de campo y de forma individual. Además, identifican un uso simplista de las matemáticas y no visualizan el uso de las ciencias en ingeniería. Se defiende que es necesario el desarrollo profesional docente para abordar estas concepciones y, así, avanzar hacia la educación interdisciplinar STEM o STEAM.

PALABRAS CLAVE: Concepciones sobre la ingeniería; Educación matemática; Educación científica; STEAM; Educación primaria.

ABSTRACT • Considering the progressive incorporation of the STEM competence in the primary education curriculum in Spain, students' conceptions of engineering are explored. For this purpose, we conducted the validated instrument Draw an Engineer Test (mDAET) to 18 Spanish students aged 10 to 11. The data obtained from a mixed methodology –on the one hand, descriptive statistics and non-parametric tests; on the other, content analysis– show that the participating students present stereotypical notions of engineering as manual activities developed in fieldwork environments and individually. Furthermore, they identify a simplistic use of mathematics and fail to recognise the role of science in engineering. Teacher professional development is argued to be necessary to address these conceptions and thus move towards interdisciplinary STEM or STEAM education.

KEYWORDS: Conceptions of engineering; Mathematics education; Science education; STEAM; Primary education.

Recepción: julio 2022 • Aceptación: mayo 2023 • Publicación: noviembre 2023

Rodrigues-Silva, J. y Alsina, Á. (2023). Concepciones del alumnado sobre ingeniería y sus conexiones con las matemáticas y las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(3), 33-51.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5753>

INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, diversas investigaciones han utilizado el test Dibuje a una Persona Ingeniera (Draw and Engineer Test o DAET) (Knight y Cunningham, 2004) para explorar las concepciones de niños y niñas sobre el área y la profesión de la ingeniería. Estos estudios han sido desarrollados en países como Estados Unidos (Capobianco et al., 2011; Matusovich et al., 2021; Rivale et al., 2020), Turquía (Ata-Aktürk y Demircan, 2021; Ergun y Balcin, 2019), México (López et al., 2013) y China (Chou y Chen, 2017).

Los resultados de estos estudios han evidenciado que el alumnado de estos países posee concepciones equivocadas y estereotipadas sobre la ingeniería (Chou y Chen, 2017; Diefes-Dux y Capobianco, 2011; Ergun y Balcin, 2019). En general, vinculan la ingeniería con actividades manuales de mantenimiento y construcción, más que con acciones intelectuales de diseño de procesos y productos para la solución de problemas o necesidades (Capobianco et al., 2011).

Sobre cómo se desarrolla la ingeniería, frecuentemente imaginan a las personas ingenieras en trabajos de campo y actuando de manera individual (Ata-Aktürk y Demircan, 2021; Ergun y Balcin, 2019; Fralick et al., 2009). Además, presentan dificultades para entender la interdisciplinariedad entre la ingeniería y otras áreas, como las matemáticas y las ciencias (Thomas et al., 2020, 2016). Otro resultado recurrente en estas investigaciones es la identificación del sesgo de género, ya que tanto los niños como las niñas representan a las personas ingenieras mayoritariamente como a hombres (Chou y Chen, 2017; Ergun y Balcin, 2019; Fralick et al., 2009).

Los estudios sobre las concepciones del alumnado acerca de la ingeniería están motivados por el creciente interés de esta área del conocimiento en las etapas preuniversitarias (Capobianco et al., 2011; Moore et al., 2014). Al respecto, destacan los enfoques educativos STEM (interdisciplinariedad entre ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas) y STEAM (adicionalmente, considerando también las artes o humanidades) (Marín-Marín et al., 2021; Rodrigues-Silva y Alsina, 2023a). Entre otras transformaciones curriculares, estos enfoques educativos impulsan la inserción de la ingeniería en el currículo y su práctica desde la educación infantil (Cabello et al., 2021; Rodrigues-Silva y Alsina, 2023b), siendo STEAM más amplio respecto a aspectos artísticos y humanísticos (Guyotte, 2020). España, por ejemplo, ha incluido la competencia STEM en el currículo de educación primaria para fomentar «la comprensión del mundo utilizando los métodos científicos, el pensamiento y representación matemáticos, la tecnología y los métodos de la ingeniería para transformar el entorno de forma comprometida, responsable y sostenible» (MEFP, 2022, p. 21).

Por un lado, desde la perspectiva de STEM y STEAM, el contacto temprano con la ingeniería es defendido como una forma de proporcionar contextos auténticos que integran otras áreas del conocimiento (Moore et al., 2014; Yakman y Lee, 2012), al igual que como estrategia para fomentar el interés de las chicas en la ingeniería (Sengupta-Irving y Vossoughi, 2019; Stephenson et al., 2021). En este contexto, se considera el objetivo de desarrollo sostenible (ODS) referente a la disminución de la brecha de género existente en las carreras técnicas (Rodrigues-Silva y Alsina, 2023b; United Nations, 2015). Por otro lado, se ha documentado que actividades STEM o STEAM mal diseñadas y gestionadas conducen o refuerzan concepciones equivocadas o estereotipadas sobre la ingeniería (Fleer, 2021; Matusovich et al., 2021). A modo de ejemplo, en el estudio de Fleer (2021) se evidencia que, en una actividad de construcción de puentes, las niñas evitaron usar materiales y herramientas propias del área de ingeniería, ya que estaban estigmatizadas como algo propio de niños. En este sentido, diversas investigaciones señalan que estas concepciones estereotipadas dificultan la interdisciplinariedad y perpetúan los sesgos de género en la ingeniería (Fleer, 2021; Matusovich et al., 2021).

Para abordar esta problemática, Moore et al. (2014) proponen un modelo de enseñanza de la ingeniería a nivel preuniversitario en el que se exploran conocimientos y habilidades de ingeniería mientras

se desarrollan concepciones precisas sobre esta área y profesión. Considerando estos antecedentes, junto con la reciente inclusión de las competencias STEM en el currículo español (MEFP, 2022), se justifica explorar las concepciones que el alumnado español tiene sobre la ingeniería.

A partir de estos antecedentes, es posible plantear las hipótesis de que el alumnado de educación primaria de España, en línea con los resultados de investigaciones realizadas en otros países, concibe la ingeniería como una profesión centrada en actividades manuales, realizadas desde un ambiente de trabajo de campo, de forma individual, con poca aplicación de conocimientos interdisciplinares (matemáticas y ciencias) y destinada a hombres. Partiendo de estas hipótesis, se ha diseñado un estudio cuyo objetivo es, tal y como se presenta en este artículo, explorar las concepciones del alumnado de educación primaria de España acerca de la ingeniería en torno a cinco variables: 1) actividad, 2) lugar de trabajo, 3) forma de trabajo, 4) aplicación de conocimientos interdisciplinares (matemáticas y ciencias) y 5) género.

MARCO TEÓRICO

Los enfoques centrados en la interdisciplinariedad como STEM y STEAM integran la ingeniería en las distintas etapas escolares (Webb y LoFaro, 2020). Al respecto, Moore et al. (2014) proponen un modelo con indicadores claves de enseñanza de calidad de la ingeniería a lo largo de la escolaridad preuniversitaria. Siguiendo este modelo, aparte de los bloques de contenidos y las habilidades de ingeniería (como el diseño en este ámbito), se destaca la necesidad de explorar y desarrollar las concepciones del alumnado sobre la profesión y el área de ingeniería.

Esta agenda de investigación es pertinente una vez que se ha observado que las actividades STEM y STEAM que no consideran las concepciones sobre la ingeniería pueden producir resultados indeseables sobre ella (Fleer, 2021; Matusovich et al., 2021). Matusovich et al. (2021), por ejemplo, usaron el DAET antes y después de actividades de mantenimiento de linternas y de discusiones sobre coches y construcciones. Mediante el análisis de los dibujos del alumnado, los autores verificaron un aumento en la percepción de la ingeniería como una actividad manual (arreglar y construir), mientras que hubo una disminución de la concepción de la ingeniería desde procesos cognitivos como crear y diseñar. Además, observaron una reducción de respuestas que relacionasen la ingeniería con la resolución de problemas y con el uso interdisciplinar de conocimientos de otras áreas como las matemáticas y las ciencias. En esta misma línea, tal y como se ha indicado anteriormente, una investigación sobre una propuesta STEM de construcción de puentes en educación infantil constató que las niñas evitaban el «área de ingeniería» donde se encontraban los materiales y herramientas necesarios para la actividad. La autora concluyó que la actividad refuerza en las niñas la concepción de que la ingeniería no es algo para ellas (Fleer, 2021).

En consecuencia, el desarrollo de actividades didácticas exige claridad sobre las concepciones que el alumnado tiene sobre la ingeniería (Moore et al., 2014). En este sentido, Knight y Cunningham (2004) adaptaron para la ingeniería el test propuesto originalmente por Chambers (1983): Dibuje a un Científico (Draw a Scientist Test o DAST), hasta entonces usado para explorar las concepciones que se tienen sobre los científicos.

Mediante el Draw an Engineer Test (DAET) se solicita a los participantes de las investigaciones que dibujen a «personas que hacen ingeniería durante su trabajo» y, seguidamente, responden a ítems de aclaración sobre el dibujo (Knight y Cunningham, 2004). De acuerdo con Capobianco et al. (2011), este instrumento se basa, principalmente, en la teoría del pensamiento figurativo (Piaget y Inhelder, 1971) en la que se argumenta que los dibujos (significante) representan sistemas personales de imágenes mentales sobre la ocupación de la ingeniería (significado).

En las investigaciones que han aplicado el DAET se identifican algunos temas o categorías recurrentes acerca de las concepciones del alumnado en torno al profesional y al área de la ingeniería. Por ejemplo, respecto a la actividad en sí (Knight y Cunningham, 2004; Matusovich et al., 2021), al lugar y la forma de trabajo (Ata-Aktürk y Demircan, 2021; Ergun y Balcin, 2019; Fralick et al., 2009), a la aplicación de conocimientos interdisciplinarios (Thomas et al., 2020, 2016) y a la representación de género (Chou y Chen, 2017; López et al., 2013), razón por la cual estos temas recurrentes configuran las hipótesis planteadas y las variables de este estudio.

En cuanto a la actividad de la ingeniería, se ha observado que el alumnado suele imaginar esta disciplina como una profesión de manualidad (Capobianco et al., 2011; Ladachart et al., 2020). Ata-Aktürk y Demircan (2021), por ejemplo, advirtieron que la mayor parte del alumnado representó a personas que físicamente ejecutan actividades de producción de artefactos (construcciones civiles y máquinas). En contrapartida, solo un 5 % de ellos representó a profesionales de ingeniería desarrollando actividades de diseño. También a partir del DAET, Carr y Diefes-Dux (2012) identificaron que el alumnado estadounidense de educación primaria suele confundir a las personas ingenieras con mecánicos de automóviles, obreros de construcción civil u operadores de máquinas. Estos autores hicieron una segunda aplicación del instrumento en una muestra de 173 participantes para verificar el efecto de prácticas pedagógicas centradas en la ingeniería, en la que se evidenció un aumento de 5 a 80 en la cantidad de estudiantes que concebían la ingeniería como una actividad de diseño.

El lugar de trabajo es otro tópico frecuentemente observado en los estudios que ha aplicado el DAET. Chou y Chen (2017), por ejemplo, observaron que el 73 % del alumnado dibujó a los profesionales de la ingeniería trabajando en ambientes externos. De un modo similar, Ata-Aktürk y Demircan (2021) verificaron que, en el 87 % de los dibujos en los que se pudo diferenciar el lugar de trabajo, este se configuraba como ambientes propios del trabajo de campo (en el exterior o en el subterráneo). De manera similar, otras investigaciones evidenciaron la predominancia de la representación del lugar en el que se lleva a cabo la profesión de ingeniería como trabajo de campo (Ergun y Balcin, 2019; Fralick et al., 2009).

En relación con la forma de trabajo, diversas investigaciones apuntan que más del 70 % del alumnado representó a la persona ingeniera trabajando de manera individual (Ata-Aktürk y Demircan, 2021; Ergun y Balcin, 2019; Fralick et al., 2009). Este resultado es observado con cierta cautela, ya que puede estar influenciado por la instrucción del DAET, que solicita al participante dibujar a una persona realizando actividades de ingeniería. Sin embargo, a pesar de este posible sesgo, algunos estudios evidencian la existencia de una minoría del alumnado que representa a la persona ingeniera trabajando en colaboración con otras (Ata-Aktürk y Demircan, 2021).

Thomas et al. (2020, 2016) crearon una versión del DAET que indaga la integración de conocimientos entre la ingeniería y otras áreas, en particular las matemáticas y las ciencias. El análisis sobre la interdisciplinariedad es particularmente interesante en el contexto de la educación STEM o STEAM, pero también se hace pertinente como complemento a la exploración de la actividad de ingeniería (manual o intelectual). La escasa concepción que se tiene acerca de la integración de áreas de conocimiento con la ingeniería puede relacionarse con la falta de reconocimiento del trabajo intelectual que conlleva esta disciplina. En este sentido, Matusovich et al. (2021) han puesto de manifiesto que la implementación de propuestas pedagógicas de mantenimiento y discusiones sobre construcciones han resultado en un aumento de la concepción de la ingeniería como actividad manual, junto con una disminución de la percepción sobre el papel de la matemática y la ciencia en la ingeniería.

Por último, algunas investigaciones han demostrado la existencia de un sesgo de género en la imagen que el alumnado tiene sobre la persona que es ingeniera. Por un lado, algunos autores han considerado rasgos como la vestimenta, la longitud del pelo, la forma del cuerpo o el uso de maquillaje como elementos identificadores de género (López et al., 2013; Matusovich et al., 2021). Por otro

lado, otros estudiosos de esta cuestión han usado estrategias como solicitar un nombre para la persona dibujada (Ergun y Balcin, 2019) o directamente preguntando al alumnado sobre el género que tuvo la intención de representar (Capobianco et al., 2011). Los resultados respecto a este tópico indican que, cuando se comparan niños y niñas, estas últimas suelen representar proporcionalmente más a mujeres ingenieras (Capobianco et al., 2011). Sin embargo, tanto niños como niñas dibujan más a la persona que desempeña labores de ingeniería como a un hombre (Chou y Chen, 2017; Ergun y Balcin, 2019; Fralick et al., 2009). Fralick et al. (2009), por ejemplo, observaron que un 87 % de los participantes (niños y niñas) habían representado a ingenieros hombres. Capobianco et al. (2011) evidenciaron que el alumnado, desde muy joven, ya muestra un sesgo de género en su concepción de la ingeniería. En concreto, estos autores observaron que, en el primer curso de primaria, la cantidad de dibujos representando a hombres era el doble que el de mujeres. Además, concluyeron que el estereotipo de género se intensifica en los años siguientes si no se desarrollan estrategias dedicadas a revertir esta tendencia.

METODOLOGÍA

Se ha desarrollado un estudio exploratorio de tipo descriptivo, lo cual se recomienda para temas aún pocos estudiados (McMillan y Schumacher, 2005). Para llevar a cabo la investigación, se ha adoptado una metodología mixta donde se complementan los abordajes cualitativo y cuantitativo para proporcionar un entendimiento más amplio y profundizado del objeto de estudio (Creswell y Plano Clark, 2017).

Hipótesis

A partir de los tópicos identificados en la literatura, ha sido posible establecer cinco hipótesis de estudio. En concreto, se plantea que el alumnado español de una clase de quinto año de educación primaria concibe que la ingeniería:

- H1: se centra en actividades manuales;
- H2: se desarrolla desde un ambiente de trabajo de campo;
- H3: se desarrolla de forma individual;
- H4: utiliza pocos conocimientos interdisciplinares (matemáticas y ciencias);
- H5: se destina a hombres.

Muestra

La muestra está compuesta por 18 estudiantes de quinto curso de educación primaria (10-11 años): 6 niñas y 12 niños, con un promedio de edad de 10 años y 5 meses (desviación estándar de 6 meses). En cuanto a la selección de los participantes en el estudio, ha sido intencionada según la facilidad de acceso. El alumnado participa voluntariamente en el estudio y, además, cuentan con la autorización de sus progenitores o tutores, mediante la firma de un consentimiento informado. Para la garantía de anonimato, el alumnado ha sido codificado (EST01 a EST18).

La escuela seleccionada es pública y está ubicada en un entorno social y cultural medio de Girona (España), una ciudad de 100.000 habitantes. Esta escuela indica, en su página web, que el proyecto educativo institucional tiene su foco en la educación artística, la ciencia experimental, la enseñanza plurilingüe y la integración de las tecnologías de manera transversal.

La dirección de la escuela indicó que, según pruebas aplicadas institucionalmente, el nivel medio de la clase respecto a la comprensión lectora es un 6 sobre 10, mientras que el nivel medio en la prueba

de matemáticas (que engloba la resolución de problemas, el razonamiento lógico, la capacidad de conectar ideas en otros contextos, la comunicación y la representación) es un 7 sobre 10.

Instrumento de recogida de datos

Como instrumento de recogida de datos se ha utilizado la traducción al español del *modified Draw an Engineer Test* o mDAET de Thomas et al. (2020). Este instrumento tiene una primera hoja con dos instrucciones: «Dibuje a una persona que hace ingeniería durante su trabajo» y «Añada un globo de diálogo al dibujo explicando qué está diciendo o pensando esta persona». En esta parte, hay un recuadro en blanco para que se realice el dibujo.

Cuando el dibujo está finalizado, se entrega una segunda hoja en la que se plantean ítems de aclaración sobre el dibujo:

- Describe el trabajo de la ingeniería.
- ¿Dónde está trabajando esta persona?
- ¿Cómo está usando esta persona las matemáticas?
- ¿Cómo está usando esta persona las ciencias?
- En tu dibujo representaste: a) mujeres, b) hombres, c) hombres y mujeres, d) ningún género.

Análisis de datos

En la tabla 1, considerando las hipótesis planteadas, se listan en el mismo orden las variables de estudio en torno a las concepciones acerca de la ingeniería con una breve explicación. Para establecer los niveles de cada variable y la descripción de cada nivel, se ha refinado la rúbrica de análisis del mDAET (Thomas et al., 2016), que inicialmente estaba focalizada en las variables ordinales *actividad* y *conocimientos interdisciplinarios*. En nuestro caso, la variable *conocimientos interdisciplinarios* ha sido doblemente abordada, primero respecto a las ciencias y luego respecto a las matemáticas. Las variables *lugar de trabajo*, *forma de trabajo* y *género* son de tipo categóricas y han sido analizadas según los niveles obtenidos de la literatura (Ergun y Balcin, 2019; Fralick et al., 2009) y adaptados conforme se explica a continuación.

Tabla 1.
Concepciones sobre la profesión y la persona ingeniera

<i>Variable</i>	<i>Nivel</i>	<i>Descripción</i>
<i>Actividad:</i> Comprensión sobre el tipo de trabajo de ingeniería.	0 - Actividad equivocada	La actividad pertenece a otras profesiones.
	1 - Actividad estereotipada	La actividad se relaciona con la ingeniería, pero desde tareas manuales.
	2 - Campos de la ingeniería o diseño	La actividad pertenece a algún campo específico de la ingeniería o está asociada a tareas de diseño, pero sin indicarla como solución a un problema o necesidad.
	3 - Diseño para solucionar problemas	La actividad implica una tarea intelectual, como el diseño para la solución de problemas o necesidades.
<i>Lugar de trabajo:</i> Comprensión sobre el lugar de trabajo de la ingeniería.	De despacho	El ambiente está más relacionado con un despacho o laboratorio (interno).
	De campo	El ambiente está más relacionado con el trabajo de campo (externo), como una construcción civil o el área de producción de una fábrica.

<i>Variable</i>	<i>Nivel</i>	<i>Descripción</i>
<i>Forma de trabajo:</i> Compresión de la ingeniería como una actividad social.	Individual	Dibujan a una persona.
	Colectiva	Dibujan a más personas.
<i>Conocimientos interdisciplinares:</i> Comprensión sobre la interdisciplinariedad de la ingeniería con las matemáticas o las ciencias.	0 - No hace referencia	No hacen alusión al uso de la disciplina junto a la ingeniería, o bien indican que no se aplica.
	1 - Referencia simplista o descontextualizada	Mencionan habilidades de nivel básico, o bien indican conceptos sin contextualizar con la ingeniería.
	2 - Referencia contextualizada a la ingeniería	Asocian y justifican el uso de la disciplina dentro de un contexto de la ingeniería.
<i>Género:</i> Imagen sobre el género de la persona que desempeña tareas de ingeniería.	Mujeres	Se considera directamente la respuesta del alumnado en el ítem de aclaración sobre los géneros representados en el dibujo.
	Hombres	
	Ambos	
	Ningún género	

*La variable *conocimientos interdisciplinares* se aborda de dos maneras, primero respecto a las ciencias y luego respecto a las matemáticas.

Se resalta que el análisis ha considerado la naturaleza cualitativa de los datos obtenidos a partir del instrumento mDAET. Así, se ha realizado un análisis cualitativo de las respuestas de manera integrada: dibujo, globo de texto e ítems de aclaración. Se ha procedido con una primera lectura de familiarización, seguida de lecturas en profundidad y múltiples comparaciones de los datos. Este análisis cualitativo complementa el abordaje cuantitativo con evidencias e informaciones relevantes además de ayudar a refinar los niveles de las variables.

La variable *lugar de trabajo*, por ejemplo, ha supuesto algunas dificultades de análisis. Inicialmente, se han considerado los niveles interior y exterior, de acuerdo con otros autores (Ata-Aktürk y Demircan, 2021; Ergun y Balçin, 2019; Fralick et al., 2009). Sin embargo, esto ha generado dudas y desacuerdos en varias ocasiones: un taller de coche, por ejemplo, podría ser interpretado como un ambiente interior o exterior; asimismo, hubo confusión para interpretar si una persona se encuentra en la línea de producción de una fábrica. Frente a esta dificultad, se prefirió definir el ambiente respecto a si se trataba más bien de un trabajo de despacho o de campo. De esta manera, esta variable ayuda a determinar si el ambiente representado está relacionado con el desarrollo de actividades intelectuales o manuales.

Una vez cuantificada la frecuencia de los niveles de las variables, estas fueron analizadas con estadística descriptiva y una prueba de bondad de ajuste de chi cuadrado para verificar posibles diferencias de frecuencia entre los niveles. Para eso, se ha adoptado un nivel de significancia de 0,05 para el testeo de hipótesis.

Seguidamente, se han aplicado pruebas de Wilcoxon-Mann-Whitney de dos colas y un nivel de significancia de 0,05 para comparar posibles diferencias entre niños y niñas en relación con la concepción sobre la *actividad y conocimientos interdisciplinares* (matemáticas y ciencias). En este caso, la prueba no paramétrica es más adecuada para variables ordinales (Lawson et al., 2019; Wilcoxon, 1945). Además, las áreas de matemáticas y ciencias fueron tomadas como dos condiciones distintas para la misma variable *conocimientos interdisciplinares*. De esta manera, se realiza una prueba Wilcoxon Signed Rank de dos colas y bajo un nivel de significancia de 0,05 para comparar la diferencia entre las dos condiciones (Lawson et al., 2019): el uso de las matemáticas y el uso de las ciencias en la ingeniería.

En este punto, es preciso aclarar que no se ha usado la rúbrica del mDAET para analizar la variable *género*. Este instrumento establece esta variable también como ordinal, indicando grados de estereotipo de género (Thomas et al., 2016). No obstante, se ha considerado que, en el contexto del test, un estereotipo de género no puede ser establecido a partir de un individuo y una única producción, sino desde un análisis de tendencias del conjunto de individuos o de múltiples producciones de un individuo. Se resalta también la no aplicación de estereotipos como el tipo de vestimenta, el uso de pendientes o el maquillaje para identificar los géneros representados. En este caso, la variable *género* fue cuantificada directamente según las categorías de género que el alumnado seleccionó en el ítem específico de aclaración sobre los dibujos.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados siguiendo el orden de las hipótesis o variables. Además, se complementa el análisis con ejemplos de evidencias cualitativas de las distintas variables y niveles.

La actividad, la forma y el lugar de trabajo de la ingeniería

En la figura 1 se presenta la distribución de frecuencia para los niveles de la variable *actividad*. Para este análisis, se ha aplicado una prueba de bondad de ajuste de chi cuadrado. El test indica que las diferencias de frecuencia entre los niveles son significativas ($\chi^2_{(3)} = 9,56; p = ,023$). Esto no expresa que todos los niveles son diferentes entre sí, sino que manifiesta que al menos un nivel se diferencia lo suficiente de los demás para que el resultado no sea considerado, con una confiabilidad del 95 %, un mero efecto del azar. De esta forma, se puede observar que el nivel de las actividades estereotipadas (nivel 1) se destaca con elevada frecuencia (10) en relación con los demás niveles.

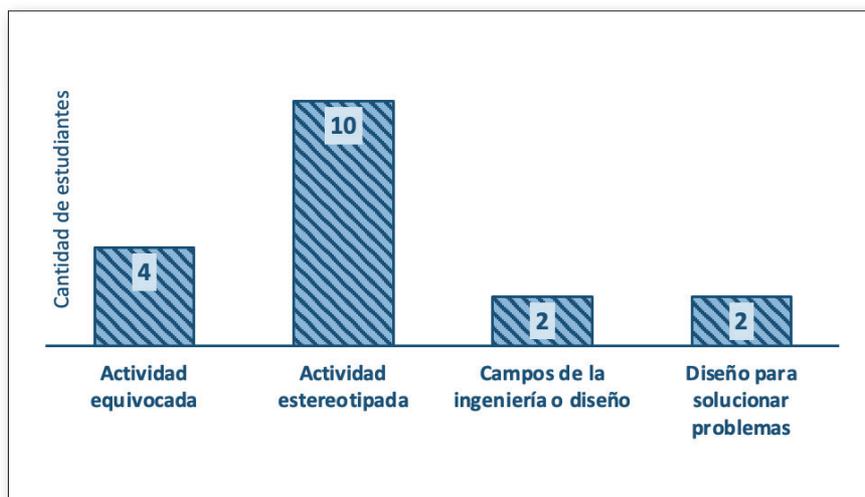


Fig. 1. Comprensión de la actividad de la ingeniería.

Además, se observa que cuatro de los participantes indicaron actividades equivocadas. Estos resultados apuntan a que la mayoría del alumnado tiene algún conocimiento relacionado con la ingeniería. Al mismo tiempo, se constata que pocos tienen un conocimiento avanzado sobre la actividad de la ingeniería, ya que únicamente dos de ellos perciben esta rama como una actividad de diseño y vinculada a la solución de problemas y de necesidades.

Asimismo, la aplicación de la prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney de dos colas ha revelado que no hay evidencias desde una confiabilidad de 95 % para diferenciar la comprensión de la actividad de la ingeniería entre niños y niñas ($U = 28$; $p = ,41$). Esto permite expresar que el alumnado posiblemente presenta un grado similar de comprensión sobre la actividad de ingeniería independientemente de su sexo.

Con respecto a la actividad equivocada (nivel 0), algunos estudiantes comprenden la ingeniería como profesiones y oficios tales como bomberos, jardineros, médicos o enfermeros. Para evidenciar este dato, en la figura 2 se aprecian tres representaciones de ideas equivocadas sobre la actividad de la ingeniería. En la primera imagen se observa a un bombero y un globo de diálogo que muestra un edificio en llamas (EST05); en la imagen del medio se representa a un jardinero que dice «me gusta mucho mi trabajo» (EST06) y en la última imagen hay un médico que afirma «estoy haciendo medicina» (EST08).



Fig. 2. Comprensión de la ingeniería como actividades equivocadas.

En relación con la actividad estereotipada (nivel 1), se evidencia la representación de objetos asociados al universo de la ingeniería como herramientas de construcción o mantenimiento: martillo, llaves, tornillos, tuercas. Al mismo tiempo, se observa la conceptualización de la persona que hace ingeniería desde el estereotipo de tareas manuales, más próximas a actividades de obreros de construcciones o mecánicos de automóviles, por ejemplo.

Teniendo en consideración los campos de la ingeniería o del diseño (nivel 2), se evidencia que dos estudiantes alcanzan esta valoración. A modo de ejemplo, un alumno reconoce la existencia de diversos campos de la ingeniería: «hay muchos tipos de ingeniería. Hay nuclear, atómica...» (EST04). Aún respecto a este nivel, como se observa en la imagen izquierda de la figura 3, una niña dibujó a una mujer delante de una tostadora que dice «He [h]echo una tostadora» (EST01). Aisladamente, el dibujo podría más bien indicar una concepción de la ingeniería relacionada con la manualidad y refiriéndose a la construcción de un objeto único (artesanía o *crafting*). Sin embargo, como se puede apreciar en la imagen derecha de esta misma figura, la respuesta al ítem de aclaración sobre el trabajo de ingeniería –«[p]ues de inventar cosas» (EST01)– evidencia la idea de creación o diseño del artefacto. Eso sí, la actividad de diseño representada no está acompañada de elementos que la vinculen a la solución de problemas o necesidades.

En la figura 5, presentamos juntas las variables *forma* y *lugar de trabajo*. Respecto a la forma de trabajo, 16 estudiantes representaron a una persona trabajando de manera individual, mientras que únicamente dos participantes dibujaron a más personas, de forma colectiva. Una prueba de bondad de ajuste de chi cuadrado evidencia que esta diferencia es significativa ($\chi^2_{(1)} = 10,9$; $p = ,001$).

A la derecha de la misma figura, se aprecia que cinco escolares dibujaron lugares de trabajo que pudieron ser identificados como un despacho, en contraste a 12 de ellos, que se clasifican más bien como un ambiente de trabajo de campo (exterior/ejecución). Aunque cualitativamente esta diferencia parece ser grande, considerando el tamaño de la muestra y solo dos niveles de comparación, la prueba de bondad de ajuste de chi cuadrado no ha indicado una diferencia estadísticamente significativa para esta variable ($\chi^2_{(1)} = 2,88$; $p = ,090$). Además, se aclara que en una respuesta se ha representado a una persona que posiciona un cubo preguntándose sobre la necesidad de ponerle un tornillo. Ni el dibujo ni los ítems de aclaración aportaron informaciones que pudiesen identificar el lugar en el que se desarrolla esta acción.

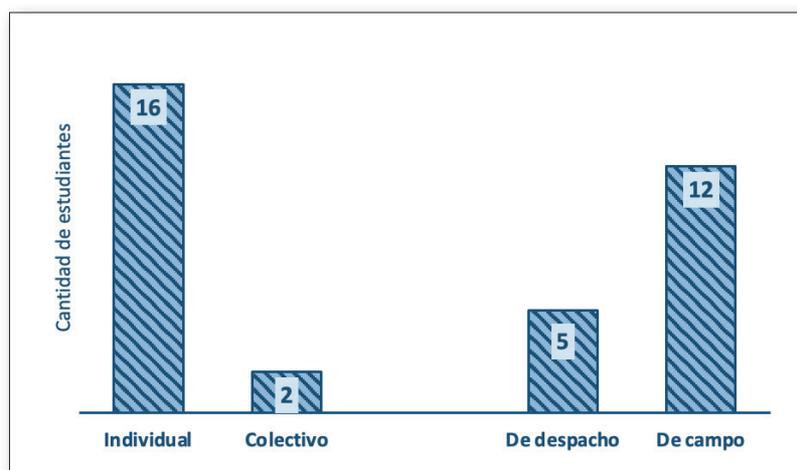


Fig. 5. Percepción sobre la forma de trabajo (individual o colectivo) y el lugar de trabajo (de despacho o de campo).

Conocimientos interdisciplinares

La variable *conocimientos interdisciplinares* ha sido analizada según dos condiciones: el uso de las matemáticas y el uso de las ciencias en la ingeniería. En la figura 6, se presenta la distribución de frecuencia de los niveles de esa variable para la condición de uso de las matemáticas. Una prueba de bondad de ajuste de chi cuadrado indica que las diferencias entre los niveles de comprensión sobre el uso de las matemáticas son significativas ($\chi^2_{(2)} = 12,3$; $p = ,002$). De nuevo, esto revela que al menos uno de los niveles sí se diferencia de los demás. Sin embargo, el test U de Wilcoxon-Mann-Whitney de dos colas no indica pruebas suficientes para afirmar con una confiabilidad de 95 % diferencias entre niños y niñas en cuanto a esta variable y condición ($U = 33$; $p = 0,72$). Esto nos permite confirmar que la mayoría de los participantes, 13 en total, hicieron una referencia simplista o descontextualizada del uso de las matemáticas en la ingeniería (nivel 1). Mientras tanto, solo dos estudiantes presentaron una referencia de esa disciplina de manera contextualizada con respecto a la ingeniería (nivel 2).

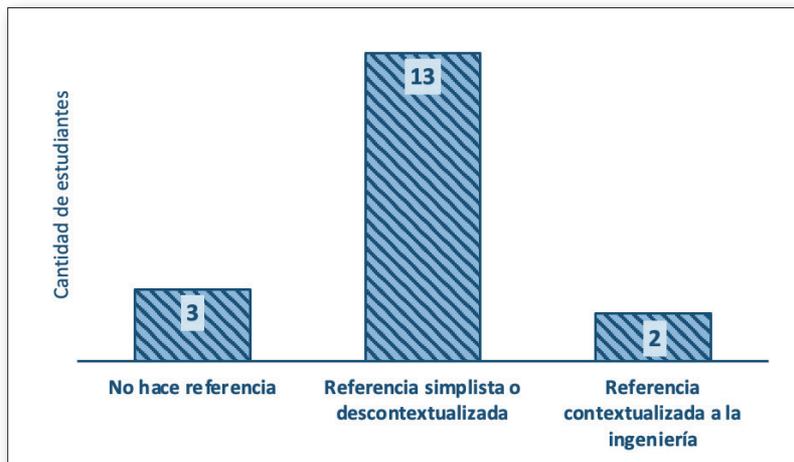


Fig. 6. Conocimientos interdisciplinarios: uso de las matemáticas en la ingeniería.

Las respuestas del alumnado en los ítems de aclaración evidencian el nivel de referencia simplista o descontextualizada respecto al uso de la matemática (nivel 1). Mencionan habilidades matemáticas básicas como contar, medir la longitud, la masa, calcular cantidades, ubicar y unir. Por ejemplo, algunos estudiantes indican que en su dibujo la persona «está usando la matemática para medir...» (EST01), «para calcular cuánto tiempo le queda para apagar el incendio» (EST05), «para saber cómo arreglar el coche» (EST11) y «vender, las matemáticas son necesarias para vender» (EST13). Por el contrario, solo uno de los estudiantes identifica que la matemática se usa para solucionar un problema que ayuda a la sociedad: «Está haciendo un cálculo de qué errores podría haber en una misión espacial... hacer cálculos para que nadie salga herido» (EST18).

En la figura 7 se presenta la distribución de frecuencia de niveles de la variable *conocimientos interdisciplinarios* para la condición de uso de las ciencias en la ingeniería. Una prueba de bondad de ajuste de chi cuadrado indica que las diferencias entre los niveles de esta variable son significativas ($\chi^2_{(2)} = 12,0$; $p = ,002$). Posteriormente, la prueba U de Wilcoxon-Mann-Whitney de dos colas no evidenció, desde una confiabilidad del 95 %, diferencias entre niños y niñas respecto a esta condición ($U = 27$; $p = 0,30$). De esta forma, se puede afirmar, pero sin distinción de sexo, que más estudiantes (12) no hicieron ninguna referencia al uso de las ciencias por parte de la persona que desempeña tareas de ingeniería (nivel 0). Apenas seis participantes alcanzan el nivel de referencias simplistas o descontextualizadas (nivel 1) y ningún estudiante logra realizar una referencia de la ciencia contextualizada a la ingeniería (nivel 2).

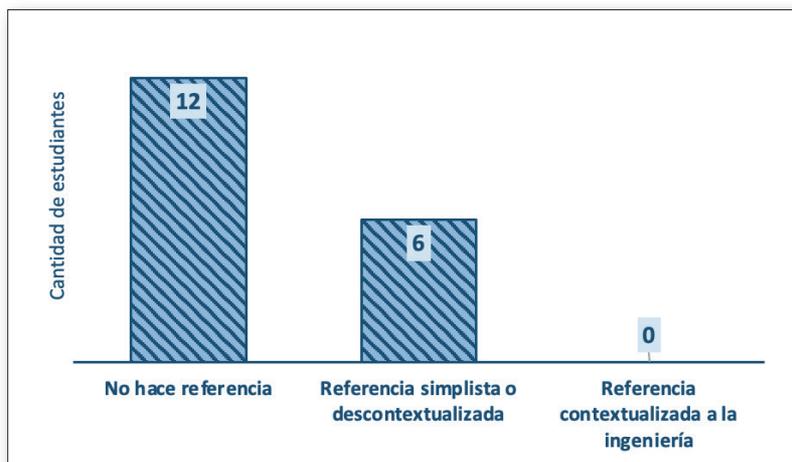


Fig. 7. Conocimientos interdisciplinares: uso de las ciencias en la ingeniería.

Por último, se ha aplicado la prueba Wilcoxon Signed Rank entre las dos condiciones de la variable *conocimientos interdisciplinares*: matemática y ciencias. Se ha verificado que existe una diferencia estadísticamente significativa entre ellas ($Z = -2,52$; $p = ,012$). Este hallazgo corrobora que la mayoría de los niños y niñas de esta investigación mostraron más percepción de la aplicación de la matemática que de las ciencias en la ingeniería. De un modo general, el alumnado presenta una baja percepción del uso de conocimientos interdisciplinares en la ingeniería (matemáticas y ciencias).

Género

En la figura 8 se observa que la representación de género ha sido bastante equilibrada entre las categorías mujeres, hombres y ningún género. De hecho, una prueba de bondad de ajuste de chi cuadrado no indica ninguna diferencia de frecuencia entre estas categorías ($\chi^2_{(2)} = 1,33$; $p = ,51$). Este resultado cuantitativo significa que no es posible concluir que haya algún sesgo de género a partir de un análisis general de la clase. La cantidad de dibujos representando a hombres (8) fue muy similar a la de mujeres (6), por ejemplo.

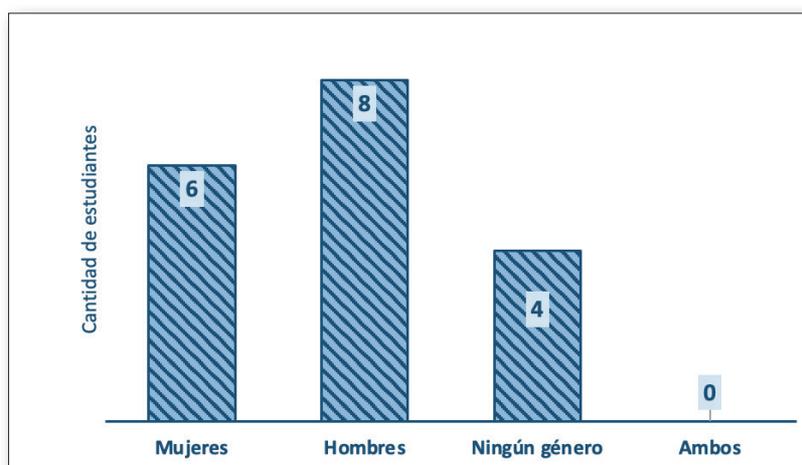


Fig. 8. Representación de género.

A continuación, se compara la dimensión de la representación de género según el sexo de los estudiantes. Como se puede observar en la tabla 2, ninguna niña ha representado a hombres en sus dibujos. En cambio, aproximadamente el 70 % de los niños representaron a hombres en sus dibujos. A pesar de que es un resultado dispar entre niños y niñas, se aclara que no se ha aplicado una prueba de chi cuadrado para verificar si tal diferencia es estadísticamente significativa. Una prueba de chi cuadrado exigiría un recorte dicotómico (por ejemplo, desconsiderando la categoría ningún género) que reduciría demasiado la muestra (Lawson et al., 2019).

Tabla 2.
Distribución de la representación de género en los dibujos según el sexo de los participantes

	Representación de género			Total
	Mujer	Hombre	Ningún género	
Niña	4	0	2	6
Niño	2	8	2	12
Total	6	8	4	18

Paralelamente, es posible observar que los niños, pese a dibujar mayoritariamente a hombres, también realizan dibujos de mujeres o imágenes sin género. Por ejemplo, en la primera imagen de la figura 9, una niña dibuja a una ingeniera que trabaja en mecánica, donde se lee «es hora de trabajar de mecánica» (EST11); en la imagen central, un niño ha dibujado a mujeres que trabajan en la construcción, donde se lee «el toldo es un poco más grande» (EST17); en la última imagen, un niño representa a una persona identificada por él como sin género, y en el globo de texto expresa: «Está guay este trabajo, pero el director es muy severo... uf, cuánto dinero falta por contar» (EST14).



Fig. 9. Representación de mujeres en ingeniería y personas sin género.

CONSIDERACIONES FINALES

En este estudio se han explorado las concepciones de 18 estudiantes españoles de educación primaria (10-11 años) sobre la ingeniería. Para ello, primero se han identificado temas recurrentes de la literatura que permitieron plantear las hipótesis de que el alumnado de educación primaria de este país podría concebir la ingeniería como una profesión centrada en actividades manuales, en un ambiente de trabajo de campo, realizada de manera individual, con poca aplicación de conocimientos interdisciplinares

(matemáticas y ciencias) y destinada a hombres. A continuación, estas hipótesis se vieron reflejadas en cinco variables: 1) actividad, 2) lugar de trabajo, 3) forma de trabajo, 4) aplicación de conocimientos interdisciplinarios (matemáticas y ciencias) y 5) género.

Respecto a la variable *actividad de la ingeniería*, aproximadamente el 80 % del alumnado representa esta profesión desde actividades equivocadas o estereotipadas. De este modo, se ha confirmado la hipótesis de percepción de la ingeniería desde las actividades manuales. El análisis de los dibujos ha evidenciado, por ejemplo, que el alumnado suele representar a obreros de construcción y mecánicos de automóviles. Este resultado es similar a las conclusiones de investigaciones realizadas anteriormente (Capobianco et al., 2011; Carr y Diefes-Dux, 2012; Knight y Cunningham, 2004).

En relación con el *lugar de trabajo*, se ha observado que más del doble de los participantes han representado el lugar donde se desarrolla la ingeniería como un ambiente de trabajo de campo (12) en comparación con un ambiente de trabajo de despacho (5). Esta diferencia no es estadísticamente suficiente para confirmar esta hipótesis; sin embargo, la tendencia presentada es coherente con resultados obtenidos por otros autores (Ata-Aktürk y Demircan, 2021; Ergun y Balcin, 2019; Fralick et al., 2009).

Respecto a la variable *forma de trabajo*, se ha confirmado la hipótesis de que el alumnado concibe la ingeniería como un trabajo realizado individualmente. Aproximadamente, el 90 % de los dibujos representan a una sola persona. Este resultado igualmente está alineado con hallazgos reportados en la literatura (Ata-Aktürk y Demircan, 2021; Ergun y Balcin).

En este punto, es pertinente aclarar que las personas ingenieras suelen intercalar ambientes de trabajo de campo (en la fábrica, construcción) con trabajo de despacho (laboratorios de informática). La concepción de que este profesional se encuentra más a menudo en ambientes de trabajo de campo es fundamental porque corrobora la idea que se tiene de la ingeniería como ligada a actividades más manuales. De un modo similar, aunque menos frecuente, hay ingenieros e ingenieras que realizan actividades individualmente. Sin embargo, esta idea complementa la conclusión de la falta de entendimiento de la ingeniería como una actividad intelectual que demanda la participación de diversos profesionales para la actuación en proyectos complejos.

La siguiente hipótesis planteada se refiere a la dificultad que el alumnado tiene en visualizar la aplicación de *conocimientos interdisciplinarios* (matemáticas y ciencias) en la ingeniería. Esta hipótesis queda confirmada, ya que aproximadamente el 70 % del alumnado identifica el uso de las matemáticas en la ingeniería, pero de manera simplista o descontextualizada. Paralelamente, se ha verificado que dos tercios del alumnado no hacen referencia a la aplicación de las ciencias en la ingeniería. Al comparar las dos disciplinas, ha sido posible concluir que el uso de las ciencias fue estadísticamente menos evidente en la ingeniería que las matemáticas. Es pertinente resaltar que niñas y niños tuvieron concepciones similares respecto a la *actividad y conocimientos interdisciplinarios* sobre la ingeniería. En esta misma línea, Thomas et al. (2016) también identificaron que la mayoría de los dibujos analizados, independientemente del sexo del alumnado, presentaban representaciones simplistas o descontextualizadas del uso de las matemáticas y de las ciencias en la ingeniería.

Finalmente, se ha observado que las niñas han dibujado más frecuentemente a mujeres ingenieras, mientras que los niños han dibujado con más frecuencia a hombres. Al considerar el total de la muestra de este estudio, no se ha verificado la hipótesis inicial de un sesgo de género porque las diferencias entre las categorías de representaciones de género no son estadísticamente significativas. El relación con esta variable, se defiende la necesidad de trabajos futuros con muestras más amplias.

Se hace hincapié en la necesidad de abordar estas concepciones como punto de partida en la implementación de la ingeniería en la escuela (Moore et al., 2014). En particular, asumimos que solo de esta forma la interdisciplinariedad cobra sentido para el alumnado desde el contexto de la educación STEAM. En este orden de ideas, para un país como España, que ha incorporado el desarrollo de com-

petencias interdisciplinarias de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas en su currículo (MEFP, 2022), será necesario prestar atención a diversos aspectos. Por una parte, habrá que situar las concepciones del alumnado sobre la ingeniería como primer paso para el desarrollo del pensamiento en torno a la ingeniería y otras competencias STEAM. Por otra parte, se requiere avanzar en la formación del profesorado sobre la educación STEAM y en particular en la incorporación de la ingeniería en las primeras etapas escolares (Moore et al., 2014; Rodrigues-Silva y Alsina, 2022). Sobre este último punto, la literatura indica que el profesorado suele presentar desconocimiento y concepciones equivocadas sobre la ingeniería, muchas veces parecidas a las concepciones del alumnado (Ladachart et al., 2020; Vo y Hammack, 2022).

Una de las limitaciones de este estudio es que el tamaño de la muestra no permite generalizar los datos obtenidos a la población del alumnado de primaria de España. Sin embargo, ha permitido realizar una primera aproximación que pone de manifiesto las concepciones de un grupo de estudiantes de esta etapa educativa y, en consecuencia, señala algunos aspectos que deben seguir explorándose. De este modo, en el futuro será imprescindible diseñar estudios similares con muestras más amplias, además de investigar las concepciones que tiene el profesorado sobre esta área del conocimiento.

Asimismo, será necesario diseñar y validar programas de formación que permitan incluir el enfoque STEAM en la educación inicial y continua del profesorado español, como una estrategia para el logro de los objetivos de su nuevo currículo. Esta formación deberá contemplar el desarrollo de una concepción no estereotipada de la ingeniería por parte de dicho profesorado. Así, también será relevante avanzar en investigaciones que sitúen el panorama de la ingeniería temprana en la escuela, además de ofrecer propuestas didácticas en las que el profesorado visualice las conexiones de la ingeniería con las matemáticas y las ciencias y con otras áreas STEAM.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ata-Aktürk, A. y Demircan, H. Ö. (2021). Engineers and engineering through the eyes of preschoolers: a phenomenographic study of children's drawings. *European Early Childhood Education Research Journal*, 30(4), 1-20.
<https://doi.org/10.1080/1350293X.2021.1974067>
- Cabello, V. M., Martínez, M. L., Armijo, S. y Maldonado, L. (2021). Promoting STEAM learning in the early years: «Pequeños Científicos» Program. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 9(2), 33-62.
<https://doi.org/10.31129/LUMAT.9.2.1401>
- Capobianco, B. M., Diefes-dux, H. A., Mena, I. y Weller, J. (2011). What is an Engineer? Implications of Elementary School Student Conceptions for Engineering Education. *Journal of Engineering Education*, 100(2), 304-328.
<https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2011.tb00015.x>
- Carr, R. y Diefes-Dux, H. (2012). Change in Elementary Student Conceptions of Engineering Following an Intervention as Seen from the Draw-an-Engineer Test. *2012 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*.
<https://doi.org/10.18260/1-2--21057>
- Diefes-Dux, H. A. y Capobianco, B. M. (2011). Interpreting elementary students' advanced conceptions of engineering from the Draw-an-Engineer Test. *Frontiers in Education Conference (FIE)*.
<https://doi.org/10.1109/FIE.2011.6142936>
- Chambers, D. W. (1983). Stereotypic images of the scientist: The draw-a-scientist test. *Science Education*, 67(2), 255-265.
<https://doi.org/10.1002/SCE.3730670213>

- Chou, P. N. y Chen, W. F. (2017). Elementary school students' conceptions of engineers: A drawing analysis study in Taiwan. *International Journal of Engineering Education*, 33(1), 476-488.
- Creswell, J. W. y Plano Clark, V. L. (2017). Key concepts that inform mixed methods designs. En J. W. Creswell y V. L. Plano Clark (Eds.), *Designing and conducting mixed methods research* (pp. 51-99). Sage.
- Ergun, A. y Balcin, M. D. (2019). The Perception of Engineers by Middle School Students through Drawings. *Eurasian Journal of Educational Research*, 19(83), 1-28.
<https://doi.org/10.14689/ejer.2019.83.1>
- Fleer, M. (2021). When preschool girls engineer: Future imaginings of being and becoming an engineer. *Learning, Culture and Social Interaction*, 30(PB), 100372.
<https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2019.100372>
- Fralick, B., Kearns, J., Thompson, S. y Lyons, J. (2009). How Middle Schoolers Draw Engineers and Scientists. *Journal of Science Education and Technology*, 18(1), 60-73.
<https://doi.org/10.1007/s10956-008-9133-3>
- Guyotte, K. W. (2020). Toward a Philosophy of STEAM in the Anthropocene. *Educational Philosophy and Theory*, 52(7), 769-779.
<https://doi.org/10.1080/00131857.2019.1690989>
- Knight, M. y Cunningham, C. (2004). Draw an Engineer Test (DAET): Development of a tool to investigate students' ideas about engineers and engineering. *ASEE Annual Conference Proceedings*.
<https://doi.org/10.18260/1-2--12831>
- Ladachart, L., Phothong, W., Suaklay, N. y Ladachart, L. (2020). Thai Elementary Science Teachers' Images of «Engineer(s)» at Work. *Journal of Science Teacher Education*, 31(6), 631-653.
<https://doi.org/10.1080/1046560X.2020.1743563>
- Lawson, T. R., Faul, A. C. y Verbist, A. N. (2019). *Research and statistics for social workers*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315640495>
- López, C. C., Hernández, A. H., Lopez-Malo, A. y Palou, E. (2013). Eliciting Incoming Engineering Students' Images of Engineering and Engineers at Two Mexican Institutions. *2013 ASEE Annual Conference y Exposition Proceedings*.
<https://doi.org/10.18260/1-2--19489>
- Marín-Marín, J.-A., Moreno-Guerrero, A.-J., Dúo-Terrón, P. y López-Belmonte, J. (2021). STEAM in education: a bibliometric analysis of performance and co-words in Web of Science. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 41.
<https://doi.org/10.1186/s40594-021-00296-x>
- Matusovich, H. M., Gillen, A. L., Montfrans, V., Grohs, J., Paradise, T., Carrico, C., Lesko, H. L. y Gilbert, K. J. (2021). Student Outcomes from the Collective Design and Delivery of Culturally Relevant Engineering Outreach Curricula in Rural and Appalachian Middle School. *International Journal of Engineering Education*, 37(4), 884-899.
- McMillan, J. y Schumacher, S. (2005). *Introducción al diseño de investigación cualitativa*. Pearson.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional [MEFP] (2022). *Real Decreto 95/2022, de 1 de febrero, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Infantil*.
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2022-1654>
- Moore, T. J., Glancy, A. W., Tank, K. M., Kersten, J. A., Smith, K. A. y Stohlmann, M. S. (2014). A Framework for Quality K-12 Engineering Education: Research and Development. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 4(1), 1-15.
<https://doi.org/10.7771/2157-9288.1069>
- Piaget, J. y Inhelder, B. (1971). Mental Imagery in the Child: A Study of the Development of Imaginal Representation. *British Journal of Educational Studies*, 19(3), 343-344.

- <https://doi.org/10.2307/3120455>
- Rivale, S., Yowell, J., Aiken, J., Adhikary, S., Knight, D. y Sullivan, J. (2020). Elementary Students' Perceptions of Engineers. *2011 ASEE Annual Conference y Exposition Proceedings*. <https://doi.org/10.18260/1-2--17833>
- Rodrigues-Silva, J. y Alsina, Á. (2022). Effects of a practical teacher-training program on STEAM activity planning. *Revista Tempos e Espaços Em Educação*, 15(34), e17993. <https://doi.org/10.20952/revtee.v15i34.17993>
- Rodrigues-Silva, J. y Alsina, Á. (2023b). STEM/STEAM in Early Childhood Education for Sustainability (ECEfS): A Systematic Review. *Sustainability*, 15(4), 3721. <https://doi.org/10.3390/su15043721>
- Rodrigues-Silva, J. y Alsina, Á. (2023a). Conceptualising and framing STEAM education: What is (and what is not) this educational approach? *Texto Livre*, 16, e44946. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1983-3652.2023.44946>
- Sengupta-Irving, T. y Vossoughi, S. (2019). Not in their name: re-interpreting discourses of STEM learning through the subjective experiences of minoritized girls. *Race Ethnicity and Education*, 22(4), 479-501. <https://doi.org/10.1080/13613324.2019.1592835>
- Stephenson, T., Fleeer, M. y Fragkiadaki, G. (2022). Increasing Girls' STEM Engagement in Early Childhood: Conditions Created by the Conceptual PlayWorld Model. *Research in Science Education*, 52(4), 1243-1260. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10003-z>
- Thomas, J., Colston, N., Ley, T., DeVore-Wedding, B., Hawley, L., Utley, J. y Ivey, T. (2016). Fundamental Research: Developing a Rubric to Assess Children's Drawings of an Engineer at Work. *2016 ASEE Annual Conference y Exposition Proceedings*. <https://doi.org/10.18260/p.26985>
- Thomas, J., Hawley, L. R. y DeVore-Wedding, B. (2020). Expanded understanding of student conceptions of engineers: Validation of the modified draw-an-engineer test (mDAET) scoring rubric. *School Science and Mathematics*, 120(7), 391-401. <https://doi.org/10.1111/ssm.12434>
- United Nations (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/9814>.
- Vo, T. y Hammack, R. (2022). Developing and Empirically Grounding the Draw-An-Engineering-Teacher Test (DAETT). *Journal of Science Teacher Education*, 33(3), 262-281. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2021.1912272>
- Webb, D. L. y LoFaro, K. P. (2020). Sources of engineering teaching self-efficacy in a STEAM methods course for elementary preservice teachers. *School Science and Mathematics*, 120(4), 209-219. <https://doi.org/10.1111/ssm.12403>
- Wilcoxon, F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6), 80-83. <https://doi.org/10.2307/3001968>
- Yakman, G. y Lee, H. (2012). Exploring the Exemplary STEAM Education in the U. S. as a Practical Educational Framework for Korea Georgette. *Korea Association*, 32(6), 1072-1086.

Students' Conceptions of Engineering and its Connections with Mathematics and Science

Jefferson Rodrigues-Silva

Departamento de Ingeniería Mecánica. Instituto Federal de Minas Gerais, Arcos, Minas Gerais, Brasil
jeffe.rodri@gmail.com

Marcela Silva-Hormazábal

Departamento de Especialidades Pedagógicas, Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Los Lagos, Chile
marcela.silva@uach.cl

Ángel Alsina

Departamento de Didácticas Específicas, Universidad de Girona, Girona, Cataluña, España
angel.alsina@udg.edu

The literature evidences that children from countries such as the United States, Turkey, Mexico, and China hold stereotypical conceptions of engineering. Generally, they conceive engineering as manual work conducted in field environments, carried out individually, with limited application of interdisciplinary knowledge (mathematics and science), and pursued by men. In the meantime, Spain has recently included STEM competencies (referring to the interdisciplinary teaching of science, technology, engineering and mathematics) in its primary education curriculum, although students' conceptions of engineering are underexplored in this country. Accordingly, we sought to explore Spanish students' conceptions of engineering in primary school.

For this purpose, we identified recurrent themes in the literature that allowed to make hypotheses reflected in five variables: 1) activity, 2) place of work, 3) working setting, 4) application of interdisciplinary knowledge (mathematics and science) and 5) gender. Subsequently, we enrolled on mixed-method research applying the validated instrument Draw an Engineer Test (mDAET) to 18 students from the fifth year of primary school (10-11 years old) in Spain. Data were first analysed qualitatively by integrally considering the drawings, the text balloons and clarification items responses. This qualitative analysis was essential to refine the levels of the variables and provide qualitative evidence. Secondly, we quantified the frequency of the variable levels and ran different non-parametric statistical tests (considering the reliability of 95 %) to compare differences within those levels and between girls and boys.

The results showed that approximately 80 % of the pupils have a stereotypical conception of engineering as a manual activity ($p = .023$), 70 % of them picture the engineering workplace as outdoors ($p = .090$), and 90 % of the students imagine the engineer working individually ($p = .001$). Furthermore, they have difficulty in perceiving the interdisciplinary connections of mathematics and science with engineering; 70 % of students identify the use of mathematics in engineering in a simplistic or decontextualised way ($p = .002$), and approximately 70 % of the students observed in this research dismiss the use of science in engineering ($p = .002$). This difference between the application of mathematics and science in engineering proved to be statistically significant ($p = .012$).

Overall, associations with gender were reasonably balanced, with no significant differences between female, male, and no gender categories ($p = .51$). Although girls drew female engineers more frequently and boys did so with male engineers, data was insufficient to determine gender differences. Moreover, we found no significant difference between boys' and girls' conceptions of engineering regarding any variable. In this sense, enlarging the sample in future studies will be necessary to check for gender differences.

In conclusion, most of the hypotheses have been confirmed. The participants presented stereotypical conceptions of engineering, viewing it primarily as manual activities conducted in fieldwork environments and individually. Additionally, they exhibit a limited understanding of the role of mathematics and fail to recognise the integration of science in engineering. For a country such as Spain –which has incorporated interdisciplinary STEM competencies in its curriculum recently–, designing and validating teacher training programmes centred on STEM or STEAM (also considering arts or humanities) education becomes crucial. Our results point towards the necessity to advance in investigations regarding the introduction of early engineering and to provide didactic examples that help teachers visualise the connections between engineering, mathematics, science, and other STEAM areas. Moreover, those training and didactic proposals should aim to challenge and overcome the stereotypical conceptions of engineering.



Cambios en la percepción de la ciencia derivados de la pandemia de la COVID-19

Changes in the Perception of Science after the COVID-19 Pandemic

Carolina Blanco Fontao, Javier del Pino
Departamento de Didáctica General, Específicas y Teoría de la Educación, Universidad de León (León, España)
cblaf@unileon.es, javier.delpino@unileon.es

Fernando J. Pereira
Departamento de Química y Física Aplicada, Universidad de León (León, España)
fjperg@unileon.es

Ana Rosa Arias-Gago
Departamento de Didáctica General, Específicas y Teoría de la Educación, Universidad de León (León, España)
ana.arias@unileon.es

RESUMEN · La pandemia de la COVID-19 ha cambiado drásticamente la posición de la ciencia en la sociedad para ocupar un papel protagonista. Este hecho ha podido modificar la percepción que los adolescentes tienen de ella, así como su comprensión de la construcción del conocimiento científico y su implicación en la toma de decisiones relacionadas con temas sociocientíficos. El presente trabajo explora los cambios en estos parámetros a partir de un estudio cuantitativo en el que se administra un cuestionario *ad hoc* a alumnos que han finalizado el primer ciclo de la ESO. Los resultados muestran un aumento de la confianza en la ciencia. Además, se ha observado que estas circunstancias han contribuido a una mejora en la comprensión de la generación de conocimiento científico en este colectivo junto con un incremento en la actitud reflexiva sobre cuestiones científicas relacionadas con la sociedad.

PALABRAS CLAVE: Alfabetización científica; COVID-19; Percepción de la ciencia; Cuestiones sociocientíficas; Enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

ABSTRACT · The COVID-19 pandemic has drastically changed the position of science in society, taking a primary role. This fact may have modified the teenagers' perception of science, as well as their understanding of the construction of scientific knowledge and their involvement in decision-making processes related to socio-scientific issues in their daily life. The present work explores the changes in these parameters based on a quantitative study consisting in the administration of an *ad hoc* questionnaire to students who have completed the first cycle of ESO. The results show an increase in their confidence in science. Furthermore, it has been observed that these circumstances have contributed to the improvement in the understanding of scientific knowledge in this group together with an increase in their reflective attitude towards scientific issues related to society.

KEYWORDS: Scientific literacy; COVID-19; Perception of science; Socio-scientific issues; Science teaching and learning.

Recepción: julio 2022 • Aceptación: mayo 2023 • Publicación: noviembre 2023

INTRODUCCIÓN

En estos tiempos en los que la ciencia está cobrando un gran protagonismo en la sociedad como herramienta fundamental para superar los retos a los que se enfrentan los seres humanos, se ha hecho más necesaria la adquisición por parte de la ciudadanía de ciertos niveles de alfabetización científica (Portillo-Blanco et al., 2022). La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) define la alfabetización científica como «la capacidad de involucrarse con temas relacionados con la ciencia y con las ideas de la ciencia, como un ciudadano reflexivo» (OCDE, 2015). Esta definición sugiere que un individuo científicamente alfabetizado podría buscar la información necesaria para comprender los conocimientos científicos mínimos y desarrollar un pensamiento global, capaz de entender los problemas, las opciones, los riesgos y las consecuencias de dichos avances, además de adquirir un espíritu crítico para poder cuestionarlos.

Sin embargo, esta necesidad representa uno de los retos más complejos para la humanidad, ya que el conocimiento científico crece de manera exponencial, tanto a escala mundial como en el contexto nacional (Abad-García et al., 2015; Alcaide et al., 2012; Bordons et al., 2016), lo que contribuye a que la brecha entre ciencia y sociedad siga creciendo. La última encuesta de Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología, realizada en el año 2022 por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), reflejó que solamente un 14,2 % de la población manifiesta de manera espontánea interés por temas de ciencia y tecnología (FECYT, 2020).

El nivel de alfabetización científica depende de muchos factores, entre ellos el nivel de confianza en ella. Esta confianza, en lo que respecta a la ciencia, puede describirse como la percepción de los científicos como creíbles, inclinados a decir la verdad y a compartir los intereses del público. La confianza es un constructo complejo que incluye dimensiones afectivas y cognitivas. Así, está fuertemente influenciada por las percepciones emocionales y puede tener, por sí misma, un gran impacto en la percepción de la gente, especialmente en temas científicos emocionalmente cargados (Dunn y Schweitzer, 2005).

De este modo, el nivel de implicación en la toma de decisiones relacionadas con la ciencia por parte de la sociedad viene condicionada, en gran medida, por la confianza que se tiene en ella, que, a su vez, depende de los niveles alcanzados de alfabetización científica.

En este sentido, la percepción de la ciencia por parte de la sociedad con anterioridad a la pandemia ha venido determinada por niveles bajos de confianza, a pesar de que a lo largo de este siglo se ha observado un incremento del interés por ella (Acevedo, 2005; Pérez y de Pro, 2018). Esta percepción, observada en la población general, se puede extrapolar a la población adolescente, donde varios estudios confirman el escaso interés general en la ciencia, así como en su comunicación (Truffa, 2012; Vázquez y Manassero, 2009; Gil, 2012; Pérez y de Pro, 2018). En esta línea, estudios previos han puesto de manifiesto que la confianza en la ciencia viene determinada, en gran medida, por la etapa de las enseñanzas obligatorias, ya que no se han observado diferencias en esta confianza entre estudiantes universitarios de la rama científica y estudiantes de educación secundaria (Krüger et al., 2022).

El modelo actual de enseñanza de las ciencias está caracterizado por una transmisión de sus contenidos desconectados (Cabezas, 2021), en la que el alumnado no identifica la influencia del entorno en el desarrollo de la ciencia (Reverte et al., 2022), lo que impide desvelar las múltiples interacciones existentes en procesos que son sociocientíficamente controvertidos, complejos y dinámicos. De este modo, en el ámbito específico de la enseñanza de las ciencias, los libros de texto suelen mostrar la ciencia como una acumulación de hechos, frecuentemente sin tener en cuenta el contexto histórico y social, y que centran la atención en los productos más que en los procesos (Ibáñez-Ibáñez et al., 2019).

En este mundo globalizado, en el que se están produciendo importantes cambios, las denominadas cuestiones socialmente vivas cobran una gran importancia en los contextos de aprendizaje (España y Prieto, 2010), tanto de conocimientos como de procedimientos, actitudes y valores. Esta importancia

proviene de la evidencia científica avalada por los planteamientos de estos últimos años del proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, considerando que esta debe centrarse en problemas del entorno cercano del alumnado (Gilbert, 2006), lo que permite mostrar claramente la relevancia de lo que se enseña para fomentar el interés de los estudiantes. Así, diversos estudios han comprobado que la enseñanza basada en las cuestiones socialmente vivas tiene un impacto positivo en el aprendizaje del contenido científico (Herman, 2015; Simonneaux, 2020).

Dentro de estas cuestiones socialmente vivas, pero relacionados con los ámbitos científicos, podemos incluir los problemas sociocientíficos. Se ha demostrado que su tratamiento en la enseñanza de las ciencias favorece la comprensión de la naturaleza de la ciencia (Zeidler et al., 2002) y la capacidad de argumentación y análisis del alumnado (Zeidler et al., 2013). Por ello, el proceso de enseñanza-aprendizaje basado en este tipo de cuestiones cercanas a la realidad del alumno (Ezquerria et al., 2022; Jiménez-Liso et al. 2010) ha demostrado ser una manera efectiva de incluir el conocimiento científico dentro de un contexto social complejo (Zeidler, 2014; Hancock et al., 2019; Portillo-Blanco et al., 2022).

Sin embargo, el tratamiento educativo de temas sociocientíficos complejos no está exento de dificultades, en un quehacer educativo demasiado condicionado por fines y contenidos curriculares en los que no se incorporan cuestiones claves de la realidad contemporánea y en los que sigue primando la práctica y la evaluación educativa a través de pruebas escritas de carácter disciplinar (Facal y Arias, 2011; García-Vinuesa et al., 2022).

En este sentido, desde el año 2020, debido a la situación de emergencia sanitaria derivada de la COVID-19, estamos viviendo un período extraordinario en el que la ciencia está tomando un gran protagonismo en la sociedad como herramienta fundamental para superar los retos a los que se enfrentan los seres humanos. Esta pandemia ha puesto el foco de atención en la ciencia de una manera sin precedentes, pudiéndose tratar como una cuestión socialmente viva en el momento histórico actual. Este escenario, sin embargo, ha evidenciado la falta de alfabetización científica por parte de la ciudadanía (Erduran, 2020) en un momento en el que precisamente se ha hecho más necesaria que nunca (Portillo-Blanco et al., 2022).

El impacto suscitado por la aparición de esta nueva enfermedad provocó que se publicaran innumerables informaciones en todos los medios de comunicación (prensa, televisión, radio, redes sociales...) (Moscadelli et al., 2020). Muchas de estas noticias, sin embargo, demostraron ser falsas (*fake news*), lo que provocó una pandemia paralela de desinformación, denominada *infodemia* por la OMS (Chaple, 2020), y que en muchos casos no ha pretendido sino formar estados de opinión que pudieran influir en las decisiones políticas. Muchas de estas noticias se referían a contenidos de tipo científico, tanto sobre el origen de la COVID-19 como sobre aspectos relacionados con su prevención o tratamiento, enardeciendo una infodemia científica que ha ido evolucionando hacia la creación de *fake news* de gran calidad, bien presentadas, con una gran difusión y que ofrecen respuestas sencillas y certezas allí donde el discurso comunicativo oficial parece dubitativo o contradictorio (López-Borrrul, 2020). Se caracterizan, por tanto, por presentar producciones repletas de datos, algunos falsos, otros verdaderos pero descontextualizados, que para un ciudadano estándar resultan difíciles de desmontar.

Además, esta situación ha puesto en manos de los ciudadanos la elección de multitud de comportamientos relacionados con la ciencia. Así, desde el inicio de la pandemia, en muchas partes del mundo se han tomado medidas sociales excepcionales para prevenir la propagación de la enfermedad en la población, que pusieron de manifiesto a escala mundial la enorme presencia que tiene la ciencia en la vida cotidiana y que una alfabetización científica más amplia repercute de forma directa en el conocimiento y comprensión sobre las medidas de prevención (Gallè et al., 2020; Puspitasari et al., 2020), lo que, por consiguiente, aumenta la efectividad de dichas medidas. Por lo tanto, un mayor nivel de alfabetización científica implica un aumento de confianza en la ciencia, y esto podría servir de indica-

dor para predecir cómo la población percibe la crisis sanitaria y cómo acepta las medidas preventivas (Bromme et al., 2022).

Esta alfabetización se desarrolla, en gran medida, en la enseñanza reglada a través de las asignaturas relacionadas con las ciencias experimentales, por lo que el periodo de escolarización obligatorio puede influir significativamente en su adquisición independientemente de que la formación posterior de los estudiantes sea científica o no. Los centros educativos son de los principales vínculos que relacionan a los adolescentes con la ciencia, aunque su percepción esté influenciada por otros aspectos como, por ejemplo, los medios de comunicación (Truffa, 2012) o las redes sociales (Rial et al., 2014). Aunque estas últimas son un instrumento muy utilizado para informarse, un estudio realizado durante la pandemia concluyó que aún no han superado a los medios tradicionales consultados por los adolescentes en referencia a los aspectos científicos (Blanco Fontao et al., 2022).

Por ello, este periodo de crisis sanitaria ha podido ser una oportunidad para implementar, desde las aulas, actividades que promuevan la reflexión, la argumentación y la discusión con el propósito de abordar contextos cercanos al alumnado, así como para cambiar la percepción que los alumnos tienen sobre la ciencia y mejorar su comprensión.

Por estas razones, en el presente trabajo se plantea, como objetivo general, estudiar los cambios provocados por la crisis sanitaria derivada de la COVID-19 sobre la confianza en la ciencia al finalizar el primer ciclo de la Educación Secundaria Obligatoria. Para lograr este objetivo general, se definen los siguientes objetivos específicos:

- Objetivo 1: Analizar el cambio de percepción de la ciencia derivado de la crisis sanitaria de la COVID-19.
- Objetivo 2: Estudiar el nivel de comprensión que se tiene acerca de la generación del conocimiento científico provocado por las circunstancias de la pandemia.
- Objetivo 3: Valorar el nivel de implicación en la toma de decisiones relacionadas con la ciencia y con el coronavirus.
- Objetivo 4: Estudiar las diferencias observadas en estos parámetros por especialidad de estudio y por género.

MATERIAL Y MÉTODOS

Participantes objeto de estudio y muestra

La población objeto de estudio fue el alumnado de 4.º de la ESO en el primer mes del curso académico 2021/2022 en la provincia de León. Se seleccionó este nivel debido a que, a partir ese momento (finales de 3.º de la ESO), las asignaturas relacionadas con las ciencias experimentales dejan de ser obligatorias en el currículo educativo del sistema de educación español, por lo que hemos considerado este como un momento clave para la alfabetización científica derivada de la educación reglada del alumnado. Esta población se compone de un total de 3.366 alumnos, de los cuales el 51,3 % fueron hombres y el 48,7 % mujeres (Consejería de Educación de Castilla y León, 2022).

De esta población se obtuvo una muestra de 254 participantes mediante la realización de un muestreo intencional por conveniencia por parte de los profesores de educación secundaria que impartían 4.º de la ESO en ese momento (Colás et al., 2009). De esta muestra, 102 estudiantes fueron hombres (40,1 %) y 152 mujeres (59,8 %). De ellos, 202 de los estudiantes se habían decantado en ese curso por las ciencias, mientras que 52 habían optado por las letras, entendiéndose por alumnos de «ciencias» los que optan por las matemáticas académicas y, por tanto, cursan las asignaturas de Física y Química y Biología y Geología y por alumnos de «letras» los que optan por las matemáticas aplicadas que no cursan disciplinas de ciencias experimentales. La diferencia entre el porcentaje de ambos grupos es

representativa de las proporciones reales de elección del alumnado, ya que en las estadísticas oficiales el porcentaje de alumnos que eligieron las matemáticas aplicadas durante el curso escolar en el que se realizó el presente estudio fue de 21,4 %, y el de nuestra muestra representa el 20,4 %; del mismo modo, los alumnos que se decantaron por las matemáticas académicas, y por tanto por las materias de ciencias experimentales, supusieron un 78,5 % y el de la muestra del estudio un 79,5 % (MEFP, 2022).

Instrumento: características y aplicación

Para efectuar este estudio se siguió un diseño cuantitativo no experimental de tipo descriptivo-comparativo de corte transversal. Para ello, se utilizó como herramienta de investigación un cuestionario *ad hoc* compuesto por un total de 10 cuestiones, que se presentan en las tablas 1, 2 y 3. En todas ellas se utilizó la modalidad de respuesta escala de Likert, dividida en cuatro niveles de respuesta (totalmente de acuerdo (4), de acuerdo (3), en desacuerdo (2) y totalmente en desacuerdo (1)). Para la redacción de los ítems del cuestionario se realizó una tormenta de ideas con un grupo de expertos en enseñanza y aprendizaje de las ciencias experimentales (dos profesores universitarios pertenecientes al área de Didáctica de las Ciencias Experimentales y una profesora de Didáctica General, y dos profesores de educación secundaria, uno de la especialidad de Física y Química y otra de Biología y Geología). Se seleccionaron las preguntas y se diseñó un borrador del cuestionario.

Posteriormente se realizó una prueba piloto con un doble objetivo: por un lado, determinar la necesidad de modificar, añadir o eliminar preguntas y, por otro, detectar posibles fallos o limitaciones. Finalmente, se revisó el cuestionario que, una vez reformulado, se distribuyó a través de la Consejería de Educación de Castilla y León a los docentes de educación secundaria que en ese momento impartieran el curso de 4.º de la ESO en la provincia de León, los cuales lo dirigieron a sus alumnos a través de las plataformas digitales corporativas durante el primer mes de clase del curso 2021/2022.

Para comprobar la fiabilidad del instrumento se calculó el alfa de Cronbach, que fue de 0,709. Los valores superiores a 0,60 se consideran aceptables, y por encima de 0,70 son buenos, por lo que el nivel de confianza en este estudio se considera bueno (Tirado et al., 2013).

El cuestionario fue validado a través del procedimiento denominado método Delphi, en el que el panel de expertos valoró la relevancia, pertinencia y univocidad de cada ítem en dos rondas. En la primera propusieron modificaciones cuando los ítems no se ajustaban a los criterios citados en la primera ronda. En la segunda, se estableció como criterio de exclusión la discordancia de criterios de tres o más expertos (el número de ítems iniciales fue de 16, quedando finalmente los 10 expuestos en los resultados). Para comprobar su validez, tras la recogida de datos se efectuó un análisis factorial exploratorio (AFE). Para ello, primeramente, se calculó la medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), cuyo valor fue de 0,682. Este valor indica, por estar por encima de 0,5, que el conjunto de los datos es adecuado para la realización del análisis factorial. Posteriormente se procedió a la aplicación del análisis factorial mediante la prueba de esfericidad de Bartlett, donde el valor de p fue significativo ($p < 0,0001$), por lo que el cuestionario se puede tomar como válido. A fin de analizar el constructo desarrollado a través de los diferentes ítems y dimensiones, se realizó el AFE por el método de rotación ortogonal, así como la prueba Varimax, por medio de la cual se extrajeron tres factores (o dimensiones) correspondientes a las tres categorías del estudio (Morales et al., 2013; Gallegos et al., 2015). Las primeras tres preguntas están vinculadas a la categoría «percepción de la ciencia a través de la pandemia de la COVID-19». La segunda categoría consta de las cuestiones 4, 5, 6 y 7, que versan sobre «la comprensión de la construcción del conocimiento científico», y la última categoría está constituida por las preguntas 8, 9 y 10 para estudiar «la implicación en la toma de decisiones de los adolescentes en temas relacionados con la ciencia».

Análisis de datos

Los datos recogidos a través del cuestionario fueron tratados con la versión 26 del software informático SPSS (IBM), implementándose en un primer momento los estadísticos descriptivos mediante el cálculo de porcentajes de respuesta y aplicando el cálculo de frecuencias relativas a cada uno de los bloques en los que se divide el cuestionario. A continuación, se compararon las variables independientes del estudio, concretamente el género (mujeres frente a hombres) y el perfil del alumnado (ciencias frente a letras), empleando, para ello, la prueba U Mann-Whitney (Dietrichson, 2019; Martínez-García et al., 2020) para datos no paramétricos de muestras independientes, con el objetivo de comparar el nivel de significancia en función de ellas. Para esta comparativa se tomaron como referencia los valores asignados en las respuestas de la escala Likert descritos en el subapartado anterior. Los niveles de significancia que se tomaron de referencia en el presente estudio corresponden con valores de $p \leq 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Percepción de la ciencia después de la pandemia

Los resultados del estudio se muestran a continuación. Así, en la tabla 1 se pueden apreciar los porcentajes de respuesta obtenidos en las preguntas del cuestionario referidas a la percepción de la ciencia después de la pandemia de la COVID-19 (preguntas 1-3).

En la primera cuestión se alude a si ha cambiado su percepción de la ciencia y los científicos debido al SARS-CoV-2. En las respuestas obtenidas se observa que la gran mayoría de los alumnos está de acuerdo (64,4 %) o totalmente de acuerdo (18,5 %), mientras que solamente un 14,6 % y un 2,4 % están en desacuerdo o totalmente en desacuerdo, respectivamente. Ese cambio en la percepción de la ciencia debido al coronavirus (pregunta 2) se ha traducido en un aumento de la confianza en ella por parte de los alumnos (18,1 % totalmente de acuerdo y 58,7 % de acuerdo), mientras que las respuestas contrarias representan un total de 23,3 %. Estos resultados están en concordancia con estudios llevados a cabo en otros países (Reeskens et al., 2020; Algan et al., 2021; Bromme et al., 2022), que señalan que la sociedad ha percibido la ciencia durante este periodo como una herramienta útil para avanzar en el conocimiento y para resolver los retos a los que se enfrenta la humanidad. Por lo que se puede observar, en nuestra población de estudio estos resultados se replican.

Los adolescentes opinan que la crisis sanitaria actual ha acercado la labor de los científicos a la sociedad (pregunta 3), puesto que el 96,8 % de ellos están de acuerdo o muy de acuerdo. Esta percepción se puede explicar, en parte, por el hecho de que las medidas sanitarias impuestas por los gobiernos han condicionado directamente su modo de vida desde 2020, por lo que han podido relacionar más directamente los avances científicos con las medidas sociales. Asimismo, la implicación mediática que los científicos han exhibido durante esta crisis, al estar presentes de forma habitual en los medios de comunicación (televisión, radio, redes sociales, etc.), ha podido acercar su trabajo a la ciudadanía y, de este modo, han llegado también a los adolescentes (Diviu-Miñarro y Cortiñas-Rovira, 2020; Rodríguez, 2020).

Tabla 1.
Percepción de la ciencia después de la COVID-19

		<i>Totalmente de acuerdo</i>	<i>De acuerdo</i>	<i>En desacuerdo</i>	<i>Totalmente en desacuerdo</i>
1	Durante la crisis del coronavirus, mi percepción de la ciencia y los científicos ha cambiado.	18,5	64,4	14,6	2,4
2	Actualmente tengo más confianza en la ciencia que antes del coronavirus.	18,1	58,7	21,3	2,0
3	La crisis del coronavirus ha acercado la labor de los científicos a la sociedad	48,8	46,1	5,1	0,0

Resultados mostrados en porcentaje de respuesta.

Comprensión de la construcción del conocimiento científico

En la tabla 2 se recogen los resultados de la pregunta relacionada con la comprensión que se tiene de la construcción del conocimiento científico aplicado a la crisis sanitaria, correspondiente a la categoría 2 del estudio.

De este modo, se puede observar que el 88,6 % (resultado de la suma de las respuestas de acuerdo y totalmente de acuerdo) confía en que la ciencia puede solucionar la mayor parte de los retos a los que se enfrenta la humanidad (pregunta 4). Este resultado, a nuestro parecer, resulta bastante esperanzador, aunque sea consecuencia de una crisis sanitaria, ya que pone de manifiesto la importancia de la ciencia para la sociedad en general (Bromme et al., 2022) y los alumnos de educación secundaria en particular. La construcción del conocimiento científico es, probablemente, el contenido más presente en los currículos de las materias de ciencias experimentales, ya que conforma el bloque A (Las destrezas científicas básicas) de todos los niveles educativos en las asignaturas de Biología y Geología y de Física y Química en la Educación Secundaria Obligatoria y se encuentra enmarcado en la LOMLOE a través de los decretos de las comunidades autónomas (BOCYL, 2022) y en el resto de los bloques de forma transversal. A pesar de ello, en la mayoría de las ocasiones los alumnos no la comprenden en profundidad, y se evidencia muchas veces un aprendizaje memorístico y no significativo de sus etapas, por lo que los alumnos no son capaces de extrapolar estos conceptos a situaciones reales.

En este sentido, en relación con el cambio en las medidas de actuación tomadas por parte del Gobierno durante la pandemia, como ha podido ser la obligatoriedad del uso de las mascarillas o los cambios en los horarios de los toques de queda (pregunta 5), el 87,0 % de los estudiantes se mostraron totalmente de acuerdo (46,1 %) o de acuerdo (40,9 %) en que fueron debidas al progreso en el conocimiento científico sobre los mecanismos de actuación del virus, mientras que solamente el 13,0 % estuvieron en desacuerdo (10,6 %) o totalmente en desacuerdo (2,4 %). Así, el escenario pandémico ha influido a favor de la ciencia como una disciplina dinámica, que se va adaptando y revisando continuamente en función de los nuevos hallazgos o cambios de paradigma detectados.

La contextualización de la ciencia a través de cuestiones sociocientíficas es una estrategia evidenciada en la literatura científica, que aumenta la comprensión y la motivación de los alumnos (Cruz-Lorite y Acebal, 2020; España y Prieto, 2010; Perrenoud, 2012). De este modo, utilizar los escenarios derivados de la crisis sanitaria derivada de la COVID-19 para trasladar la ciencia a contextos reales parece una herramienta útil para mejorar la comprensión de la generación del conocimiento científico, así como los cambios de paradigma relacionados con los avances alcanzados.

En cuanto a la reflexión que realizan los adolescentes sobre la idoneidad de las medidas tomadas por los Gobiernos respecto al virus (pregunta 6), se observó un porcentaje alto de estudiantes que sí valo-

raron positivamente estas medidas (80,7 %, dato obtenido de la suma de las respuestas totalmente de acuerdo y de acuerdo), mientras que el 19,3 % lo hicieron negativamente. Se ha observado un patrón de respuesta similar en la pregunta 7, donde el 83,0 % de los alumnos se mostraron de acuerdo o totalmente de acuerdo en haber pensado la posibilidad de otras alternativas con respecto a las decisiones que fueron tomadas por las autoridades, mientras que el 14,2 % se mostró en desacuerdo y el 2,3 % restante, totalmente en desacuerdo.

Estos resultados sugieren una capacidad reflexiva bastante elevada por parte del alumnado, ya que han sido capaces de valorar si las medidas impuestas fueron las correctas o podrían haber sido otras, con lo que muestran, en este aspecto, capacidad crítica con el contexto pandémico.

Tabla 2.
Comprensión de los mecanismos de generación del conocimiento científico

		<i>Totalmente de acuerdo</i>	<i>De acuerdo</i>	<i>En desacuerdo</i>	<i>Totalmente en desacuerdo</i>
4	Creo que la ciencia puede solucionar la mayor parte de los retos a los que se enfrenta la humanidad	40,6	48,0	11,1	0,4
5	Cuando ha habido un cambio del protocolo que seguir en las medidas sanitarias (por ejemplo, el uso de mascarillas o el cambio en las edades de vacunación con las diferentes vacunas presentes en el mercado) este ha sido consecuencia del progreso de los avances científicos.	46,1	40,9	10,6	2,4
6	He valorado la idoneidad de las medidas tomadas por los gobiernos respecto al coronavirus.	31,1	49,6	15,4	3,9
7	Como ciudadano he pensado en la posibilidad de otras alternativas a las decisiones tomadas por los políticos.	40,9	42,1	14,2	2,8

Resultados mostrados en porcentaje de respuesta.

Implicación en la toma de decisiones relacionadas con la ciencia

En cuanto a las preguntas concernientes a la implicación en la toma de decisiones respecto a la ciencia (tabla 3), cuando se alude a la relación entre ciencia y sociedad, la gran mayoría de los adolescentes piensa que están muy vinculadas (se mostraron de acuerdo un 55,5 % y totalmente de acuerdo, un 31,9 %), mientras que solo estuvieron en desacuerdo un 11,4 % y totalmente en desacuerdo un 1,2 % (pregunta 8).

La mayoría de los adolescentes (73,3 %, dato obtenido de la suma de las respuestas totalmente de acuerdo y de acuerdo) cree que puede involucrarse en temas relacionados con la ciencia, mientras que el 26,7 % no muestra esta posición (pregunta 9). Cuando la cuestión se refiere directamente al coronavirus, estos porcentajes disminuyen de manera claramente apreciable, el 18,1 % se mostró totalmente de acuerdo, el 31,5 % de acuerdo, el 27,7 % en desacuerdo y el 23,2 % totalmente en desacuerdo, disminuyendo, de este modo, la implicación directa en decisiones relacionadas con la ciencia en un contexto real como el que muestra la actual pandemia (pregunta 10).

De este modo, los adolescentes sí que creen que pueden involucrarse en decisiones relacionadas con la ciencia, pero cuando se les expone un contexto real, como en este caso la crisis del coronavirus, los porcentajes disminuyen drásticamente. Esto sugiere una lejanía entre los contenidos puramente científicos y su aplicación a su entorno cercano. De ello se puede concluir que el aprendizaje de la

ciencia está descontextualizado con la realidad del alumno, lo que puede derivar en un aprendizaje no significativo, ya que los estudiantes no saben extrapolar los conocimientos trabajados en el aula a contextos reales (Granados, 2020).

Tabla 3.
Implicación en la toma de decisiones relacionadas con la ciencia

		<i>Totalmente de acuerdo</i>	<i>De acuerdo</i>	<i>En desacuerdo</i>	<i>Totalmente en desacuerdo</i>
8	Pienso que la ciencia y la sociedad están muy relacionadas.	31,9	55,5	11,4	1,2
9	Como ciudadano creo que puedo involucrarme en la toma de decisiones de temas relacionados con la ciencia.	27,2	46,1	23,2	3,5
10	Como ciudadano, me he involucrado en la toma de decisiones respecto al coronavirus.	18,1	31,5	27,2	23,2

Resultados mostrados en porcentaje de respuesta.

VARIABLES INDEPENDIENTES DEL OBJETO DE ESTUDIO (ESPECIALIDAD Y GÉNERO)

En la tabla 4 se puede observar el nivel de significancia (p), al comparar los grupos de estudio en función de la especialidad de los alumnos, en lo que se entiende por grupo de ciencias al alumnado que ha optado en 4.º de la ESO por las matemáticas académicas, y que, por tanto, cursa las materias de ciencias experimentales (Física y Química y Biología y Geología), y, por el grupo de letras, el que incluye a los alumnos que han optado en ese mismo curso por la opción de matemáticas aplicadas y no cursan las materias de ciencias experimentales. Además, también se puede observar la variable del género (mujeres u hombres). Cuando comparamos la especialidad de los alumnos, se han observado diferencias significativas en dos de las cuestiones planteadas ($p \leq 0,05$). De este modo, en la pregunta 3 los alumnos de letras (promedio 3,22 de los valores asociados a la escala Likert descritos en el apartado de material y métodos) se mostraron más en desacuerdo en que la crisis sanitaria ha acercado la labor de los científicos a la sociedad que los alumnos de ciencias (promedio 3,49).

La otra cuestión donde se observaron diferencias significativas en función de la especialidad de los alumnos fue la pregunta 9. En ella, los alumnos de ciencias creen que pueden involucrarse en mayor medida como ciudadanos en la toma de decisiones relacionadas con la ciencia (2,99 valor promedio) que los alumnos de letras (2,86 valor promedio).

Estos aspectos se podrían deber al menor interés en los temas científicos por parte del alumnado de letras, lo que conlleva a una menor comprensión de estos (Alonso y Manassero, 1996), por lo que consideran que la ciencia es un ámbito más lejano a su entorno.

En el caso del género, las únicas diferencias significativas observadas en todo el trabajo se obtuvieron en la pregunta 2 ($p \leq 0,05$), en la que las mujeres fueron menos favorables a aumentar su confianza en la ciencia a raíz de la crisis sanitaria, presentando valores medios de 2,86 frente a 3,02 de los hombres; estos últimos, de hecho, vieron un mayor incremento en la confianza en la ciencia durante la pandemia. Estos resultados coinciden con los obtenidos por la FECYT en su informe sobre la percepción social de la ciencia, realizado durante el periodo de restricciones pandémicas (de abril a junio de 2020) (FECYT, 2020).

Las diferencias de género en actitudes frente a la ciencia han sido evidenciadas tradicionalmente (Manassero y Vázquez, 2003). Sin embargo, algunas investigaciones recientes han puesto de manifiesto una reducción en estas diferencias, pues existen trabajos en los que no se han observado diferencias en función del género en cuanto a cuestiones científicas (Prieto-Patiño y Maldonado, 2008). Esto podría explicarse teniendo en cuenta que, dentro de las ciencias experimentales, existen especialidades preferentes en la elección del género femenino (relacionadas con profesiones dedicadas al cuidado de la población, como pueden ser las sanitarias) y especialidades preferentes al género masculino (relacionadas con ramas más tecnológicas, como ingeniería, física...) (Alonso y Manassero, 2009). Estas preferencias podrían depender de la especialización dentro de las ciencias, aspecto que no se trata en este trabajo debido a la edad de los alumnos, pero que sí que podría explicar las pocas diferencias observadas en este estudio.

Tabla 4.
Estudio de las diferencias entre la especialidad de los alumnos (ciencias o letras) y el género (mujeres u hombres)

	<i>Ciencias o letras</i>	<i>Nivel de significancia</i>	<i>Mujeres u hombres</i>	<i>Nivel de significancia</i>
Pregunta 1	0,434	ns	0,653	ns
Pregunta 2	0,433	ns	0,018	*
Pregunta 3	0,004	*	0,137	ns
Pregunta 4	0,884	ns	0,053	ns
Pregunta 5	0,260	ns	0,259	ns
Pregunta 6	0,620	ns	0,355	ns
Pregunta 7	0,104	ns	0,492	ns
Pregunta 8	0,239	ns	0,751	ns
Pregunta 9	0,050	*	0,960	ns
Pregunta 10	0,776	ns	0,096	ns

CONCLUSIONES

A partir de los resultados, y en función del objetivo general planteado en el presente estudio, se ha observado que la crisis sanitaria derivada de la COVID-19 ha cambiado la percepción de la ciencia por parte de los adolescentes.

Este cambio en la percepción se basa, de manera general, en un aumento en la confianza en la ciencia por parte de este colectivo (objetivo 1).

En relación con el objetivo 2, se ha podido observar que los estudiantes fueron capaces de relacionar los cambios en las restricciones pandémicas con los avances científicos que se iban realizando. Esta situación, por lo tanto, ha podido favorecer la contextualización de la ciencia en los entornos reales de los adolescentes, facilitando su comprensión de la construcción del conocimiento científico.

Al valorar el nivel de implicación en la toma de decisiones relacionadas con la ciencia y la COVID-19 (objetivo 3), la mayoría de los adolescentes del estudio considera que puede implicarse en la toma de decisiones de la ciencia relacionadas con la sociedad; sin embargo, en relación con el contexto pandémico, este porcentaje disminuye drásticamente. De este aspecto se puede concluir que una descontextualización de la ciencia en la realidad cercana del alumno puede acarrear aprendizajes no significativos de la ciencia. Por ello, una estrategia que puede resultar útil en las aulas de ciencias de educación secundaria por parte de los docentes puede ser la utilización de ejemplos pandémicos,

para implicarlos en la toma de decisiones relacionadas con la pandemia (uso de mascarilla, decisión de vacunarse, distanciamiento social, etc.). De esta manera se podría conseguir una contextualización de la ciencia por parte del alumnado y, consecuentemente, aprendizajes significativos en relación con esta.

En relación con las diferencias observadas entre las variables independientes valoradas en este estudio (especialidad y género) (objetivo 4), en la especialidad se ha observado una percepción más lejana de la ciencia en los alumnos de letras. Este aspecto puede explicarse por su menor interés en la ciencia. Por otra parte, si se pone el foco en el género, las diferencias observadas únicamente se muestran en el cambio producido por la pandemia de la confianza en la ciencia que, aunque aumentó en ambos géneros, lo hizo en menor grado en las mujeres.

En cuanto a la limitación observada en este estudio, se puede destacar el acceso al alumnado, que, al no realizarse de forma directa, sino a través de sus docentes, repercutió en la transmisión del cuestionario, aspecto que ha incidido en el tamaño muestral y en la posible generalización de los resultados.

Como prospectiva, continuando esta línea de investigación, se plantean varias actuaciones: por una parte, sería interesante realizar un estudio longitudinal para comprobar si estas percepciones sobre la ciencia perduran en el tiempo, ahora que la situación pandémica va remitiendo. Por otro lado, resultaría interesante estudiar si estos aspectos han sido similares en otros rangos de edad, aparte de los adolescentes. Además, en cuanto a la herramienta de investigación desarrollada, podría ser interesante incluir cuestiones abiertas para estudiar más a fondo aspectos como, por ejemplo, la comprensión de la construcción del conocimiento científico afectada por la crisis sanitaria o la implicación en la toma de decisiones con aspectos relacionados con la ciencia.

Para finalizar, nos posicionamos ante la necesidad de establecer políticas públicas a favor de la educación en ciencias, no solo como un recurso *in extremis* ante situaciones sobrevenidas, sino como una alternativa real y práctica para poder hacer frente a los retos globales –y altamente cambiantes– de hoy en día.

REFERENCIAS

- Abad-García, M. F., González-Teruel, A., Argento, J. y Rodríguez-Gairín, J. M. (2015). Características y visibilidad de las revistas españolas de ciencias de la salud en bases de datos. *Profesional de la Información*, 24(5), 537-550.
<https://doi.org/gj8crm>
- Acevedo, J. A. (2005). Proyecto ROSE: relevancia de la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(3), 440-447. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92020311>
- Alcaide, G. G., Zurián, J. C. V. y Benavent, R. A. (2012). Análisis del proceso de internacionalización de la investigación española en ciencia y tecnología (1980-2007). *Revista Española de Documentación Científica*, 35(1), 94-118.
<https://doi.org/g9hn>
- Algan, Y., Cohen, D., Davoine, E., Foucault, M. y Stantcheva, S. (2021). Trust in scientists in times of pandemic: Panel evidence from 12 countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(40), e2108576118.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2108576118>
- Alonso, Á. y Manassero, M. A. (1996). Factores determinantes de las actitudes relacionadas con la ciencia. *Revista Española de Pedagogía*, 54(203), 43-77. <https://shibbolethsp.jstor.org/start?entit yID=https%3A%2F%2Fwww.rediris.es%2Fsir%2Funileonidpydest=https://www.jstor.org/stable/23765694ysite=jstor>

- Alonso, A. V. y Manassero, M. A. (2009). Patrones actitudinales de la vocación científica y tecnológica en chicas y chicos de secundaria. *Revista Iberoamericana de Educación*, 50(4), 1-12. <https://rieoei.org/historico/deloslectores/2950Vazquez.pdf>
- Alonso, A. V. y Manassero, M. A. (2009). Expectativas sobre un trabajo futuro y vocaciones científicas en estudiantes de educación secundaria. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 11(1), 1-20. <http://redie.uabc.mx/vol11no1/contenido-vazquez4.html>
- Blanco Fontao, C., Blanco, B. y López, M. (2022). Estudio cuantitativo de la alfabetización científica adquirida por los estudiantes de secundaria a través del impacto de la Covid-19. En J. Cruz Ángeles (Coord.), *El uso de las tecnologías de la información y la comunicación en el aula universitaria como consecuencia del coronavirus* (pp. 659-676). Dykinson.
- BOCYL (2022). Decreto 39/2022, de 29 de septiembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León. <https://bocyl.jcyl.es/boletines/2022/09/30/pdf/BOCYL-D-30092022-3.pdf>
- Bordons, M., Morillo, F., Gómez Caridad, I., Moreno, L., Lorenzo, P., Aparicio, J. y González-Albo, B. (2016). *La actividad científica del CSIC a través de indicadores bibliométricos*. Centro de Ciencias Humanas y Sociales. <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/8605>
- Bromme, R., Mede, N. G., Thomm, E., Kremer, B. y Ziegler, R. (2022). An anchor in troubled times: Trust in science before and within the COVID-19 pandemic. *PloSone*, 17(2), e0262823. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262823>
- Cabezas, M. C. C. (2021). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias. *Convergencia Educativa*, 9, 30-44. <https://doi.org/10.29035/rce.9.30>
- Chaple, E. R. B. (2020). La información científica confiable y la COVID-19. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud (ACIMED)*, 31(3), 1-6.
- Colás, M. P., Buendía, L. y Hernández, F. (2009). *Competencias científicas para la realización de una tesis doctoral*. Davinci.
- Consejería de Educación de Castilla y León. (2022). *Estadística de la enseñanza no Universitaria de Castilla y León*. <https://www.educa.jcyl.es/es/estadistica/estadistica-ensenanza-no-universitaria-castilla-leon-cursos>
- Cruz-Lorite, I. M. y Acebal, M. D. C. (2020). Sesión sobre cuestiones socialmente vivas y cartografía de controversias. *Diseño y desarrollo de programaciones y actividades formativas. Biología y Geología*. Repositorio Universidad de Málaga. <https://hdl.handle.net/10630/19630>
- Dietrichson, A. (2019). *Pruebas no paramétricas. Métodos Cuantitativos*. Bookdown. <https://bookdown.org/dietrichson/metodos-cuantitativos/pruebas-no-param%C3%A9tricas.html>
- Diviu-Miñarro, C. y Cortiñas-Rovira, S. (2020). Cómo comunicar una pandemia a la sociedad: la visión de los profesionales. Estudio de caso de la Covid-19 en el sur de Europa. *El Profesional de La Información*, 29(5), 1-14. <https://doi.org/10.3145/epi.2020.sep.12>
- Dunn, J. R. y Schweitzer, M. E. (2005). Feeling and believing: the influence of emotion on trust. *Journal of Personality and Social Psychology*, 88(5), 736. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.88.5.736>
- Erduran, S. (2020). Science Education in the Era of a Pandemic. *Science and Education*, 29(2), 233-235. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00122-w>
- España, E. y Prieto, T. (2010). Problemas socio-científicos y enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Revista de Investigación en la Escuela*, 71, 17-24. <http://hdl.handle.net/11441/60210>

- Ezquerro, Á., Agen, F., Campillos, R., Beneitez, A. E., Fernández, B., González, F. A. y Sánchez, P. J. (2022). *Análisis e incorporación al aula de los resultados de la investigación sobre la ciencia presente en la sociedad*. Universidad Complutense de Madrid. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/72725/>
- Facal, R. L. y Arias, V. M. S. (2011). Los «conflictos sociales candentes» en el aula. *Iber: Didáctica de las ciencias sociales, geografía e historia*, (69), 8-20.
- FECYT. (2020). *10ª Encuesta de percepción social de la ciencia y la Tecnología 2020. Informe completo*. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología file:///C:/Users/Usuario/Desktop/percepcion_social_de_la_ciencia_y_la_tecnologia_2020_informe_completo_2.pdf
- Gallè, F., Sabella, E. A., Da Molin, G., De Giglio, O., Caggiano, G., Di Onofrio, V., Ferracuti, S., Montagna, M. T., Liguori, G., Battista, G. y Napoli, C. (2020). Understanding knowledge and behaviors related to CoViD-19 epidemic in Italian undergraduate students: the EPICO study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10), 3481. <https://doi.org/10.3390/ijerph17103481>
- Gallegos, S. L. V., Álvarez-González, B. y Costa, M. B. P. (2015). Los padres también cuentan. Validación del cuestionario «Conociendo a tu hijo, tu hija»: identificación de niño (a) s de 9 a 10 años con altas capacidades. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação*, 23, 795-820. <https://doi.org/10.1590/S0104-40362015000400001>
- García-Vinuesa, A., Garteza, P. Á. M., Gómez, J. A. C. y Bachiorri, A. (2022). El cambio climático en la educación secundaria: conocimientos, creencias y percepciones. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 40(2), 25-48. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3526>
- Gil, J. (2012). Actitudes del alumnado español hacia las ciencias en la evaluación PISA 2006. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 30(2), 131-152. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/254507>
- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of «context» in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976. <https://doi.org/10.1080/09500690600702470>
- Granados, L. Y. M. (2020). El aprendizaje significativo. Algunas consideraciones para su alcance en el Instituto Superior Tecnológico Almirante Illingworth. *Revista Científica Ciencia y Tecnología*, 20(27). <https://doi.org/10.47189/rcct.v20i27.378>
- Hancock, T. S., Friedrichsen, P. J., Kinslow, A. T. y Sadler, T. D. (2019). Selecting socio-scientific issues for teaching. *Science y Education*, 28(6), 639-667. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00065-x>
- Herman, B. C. (2015). The influence of global warming science views and sociocultural factors on willingness to mitigate global warming. *Science Education*, 99(1), 1-38. <https://doi.org/10.1002/sce.21136>
- Ibáñez-Ibáñez, M. M., del Carmen Romero-López, M. y Jiménez-Tejada, M. (2019). ¿Qué ciencia se presenta en los libros de texto de Educación Secundaria? *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 37(3), 49-71. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2668>
- Jiménez-Liso, M. R., Hernández-Villalobos, L. y Lapetina, J. (2010). Dificultades y propuestas para utilizar las noticias científicas de la prensa en el aula de ciencias. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 7(1), 107-126. <https://www.redalyc.org/pdf/920/92013011008.pdf>
- Krüger, J. T., Höffler, T. N. y Parchmann, I. (2022). Trust in science and scientists among secondary school students in two out-of-school learning activities. *International Journal of Science Education, Part B*, 12(2), 111-125. <https://doi.org/10.1080/21548455.2022.2045380>

- López-Borrull, A. (2020). Fake news e infodemia científica durante la Covid-19 ¿dos caras de la misma crisis informacional? *Anuario ThinkEPI*, 14. <https://doi.org/10.3145/thinkepi.2020.e14e07>
- Manassero, M. A. y Vázquez, Á. (2003). Los estudios de género y la enseñanza de las ciencias. *Revista de Educación*, 330, 251-280. <http://hdl.handle.net/11162/67210>
- Martínez-García, R., Caballo, M. B. y Varela, L. (2020). El ocio en el medio natural como promotor de la conexión emocional con la naturaleza. Un estudio en clave ambiental con adolescentes pontevedreses (Galicia-España). *Pensamiento Educativo: Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 57(2), 1-16. <https://doi.org/10.7764/PEL.57.2.2020.6>
- MEFP. (2022). *Estadísticas de la Educación*. Ministerio de Educación y Formación Profesional. http://estadisticas.mecd.gob.es/EducaJaxiPx/Datos.htm?path=/no-universitaria/alumnado/matriculado/2020-2021-rd/gen-eso/l0/&file=eso_01.px&type=pcaxis
- Morales, P. (2011). *El Análisis Factorial en la construcción e interpretación de tests, escalas y cuestionarios*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas, 80. <http://www.upcomillas.es/personal/peter/investigacion/AnalisisFactorial.pdf>
- Moscadelli, A., Albora, G., Biamonte, M. A., Giorgetti, D., Innocenzio, M., Paoli, S., Lorini, C., Bonanni, P. y Bonaccorsi, G. (2020). Fake news and Covid-19 in Italy: results of a quantitative observational study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 5850. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165850>
- OCDE. (2015). *The ABC of Gender Equality in Education: Aptitude, Behaviour, Confidence*. París: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264229945-en>
- Perrenoud, P. (2012). *Cuando la escuela pretende preparar para la vida* (Vol. 40). Graó.
- Pérez, A. y de Pro, A. (2018). Algunos datos sobre la visión de los niños y de las niñas sobre las ciencias y del trabajo científico. *iQual. Revista de Género e Igualdad*, (1), 18-31. <https://doi.org/10.6018/iQual.306091>
- Portillo-Blanco, A., Díez, J. R., Barrutia, O., Garmendia, M. y Guisasola, J. (2022). Diseño de una intervención educativa sobre la pandemia de la COVID-19 y las medidas de prevención. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(1), 1302-1302. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i1.1302
- Prieto-Patiño, L. y Maldonado, A. V. (2008). Actitudes hacia la ciencia en estudiantes de secundaria. *Psychologia. Avances de la disciplina*, 2(1), 133-160. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=297224999005>
- Puspitasari, I. M., Yusuf, L., Sinuraya, R. K., Abdulah, R. y Koyama, H. (2020). Knowledge, attitude, and practice during the COVID-19 pandemic: a review. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, 13, 727-733. <https://doi.org/10.2147/JMDH.S265527>
- Reverte, N., Calero, M. y Vilches, A. (2022). Evolución de la atención prestada a las interacciones CTSA en la educación científica. *VIII Seminário Ibero-americano CTS*. Repositorio Universitat de València.
- Reeskens, T., Muis, Q., Sieben, I., Vandecasteele, L., Luijckx, R. y Halman, L. (2020). Stability or change of public opinion and values during the coronavirus crisis? Exploring Dutch longitudinal panel data. *European Societies*, 23(sup1), S153-S171. <https://doi.org/10.1080/14616696.2020.1821075>
- Rial, A., Gómez, P., Varela, J. y Braña, T. (2014). Actitudes, percepciones y uso de internet y las redes sociales entre los adolescentes de la comunidad gallega. *Anales de Psicología*, 30(2), 642-655.

- Rodríguez, J. M. C. (2020). La importancia de la Alfabetización Mediática Informativa en el contexto pandémico: propuesta de actualización y nuevas preguntas. *Diálogos sobre educación*, (22). <https://doi.org/10.32870/dse.vi22.979>
- Simonneaux J. (2020). *Outils didactiques pour réaliser la démarche d'enquête sur une QSV: cartographier les controverses sur une QSV*. <https://qsv.ensfea.fr/boite-a-outils-pedagogiques/outils-pour-les-profs/cartographie-de-controverses/>
- Tirado, F., Santos, G. y Tejero-Díez, D. (2013). La motivación como estrategia educativa Un estudio en la enseñanza de la botánica. *Perfiles Educativos*, 35(139), 79-92. [https://doi.org/10.1016/S0185-2698\(13\)71810-5](https://doi.org/10.1016/S0185-2698(13)71810-5)
- Truffa, A. C. (2012). Percepciones de la ciencia y estereotipos de género: Un proyecto de investigación con adolescentes de educación secundaria. *Fundamentos en Humanidades*, 13(26), 87-98. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18429253006>
- Vázquez, Á. y Manassero, M. A. (2009). Expectativas sobre un trabajo futuro y vocaciones científicas en estudiantes de educación secundaria. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 11(1), 1-20. <http://redie.uabc.mx/vol11no1/contenido-vazquez4.html>
- Zeidler, D. L. (2014). Socioscientific issues as a curriculum emphasis. Theory, research, and practice. En *Handbook of Research on Science Education* (Vol. 2, pp. 697-726). Routledge.
- Zeidler, D. L., Herman, B. C., Ruzek, M., Linder, A. y Lin, S. S. (2013). Cross-cultural epistemological orientations to socioscientific issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(3), 251-283. <https://doi.org/10.1002/tea.21077>
- Zeidler, D. L., Walker, K. A., Ackett, W. A. y Simmons, M. L. (2002). Tangled up in views: Beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas. *Science Education*, 86(3), 343-367. <https://doi.org/10.1002/sce.10025>

Changes in the Perception of Science after the COVID-19 Pandemic

Carolina Blanco Fontao, Javier del Pino
Departamento de Didáctica General, Específicas
y Teoría de la Educación, Universidad de León (León, España)
cblaf@unileon.es, javier.delpino@unileon.es

Fernando J. Pereira
Departamento de Química y Física Aplicada,
Universidad de León (León, España)
fjperg@unileon.es

Ana Rosa Arias-Gago
Departamento de Didáctica General, Específicas
y Teoría de la Educación, Universidad de León (León, España)
ana.arias@unileon.es

The COVID-19 pandemic has had a significant impact on the role of science in society, making it a central figure. This fact could have modified the perception that adolescents have of science, as well as their understanding of the construction of scientific knowledge and their involvement in decision-making processes related to current socio-scientific issues. In a globalized world in which important changes are taking place, socio-scientific issues become very important in learning contexts. Indeed, it has been shown that teaching based on these socio-scientific problems has a positive impact on the learning of this discipline, on the understanding of the nature of science and on the students' capacity for argumentation and analysis. Thus, the teaching-learning process based on these types of questions and which is contextualized in a close reality has demonstrated to be an effective way of including scientific knowledge within a complex social context.

In this sense, this period of public health crisis could have been an opportunity to implement activities that promote reflection, argumentation and discussion with the purpose of addressing contexts close to the students and, therefore, to change the students' perception of science and improve their understanding of it.

The general objective of the present research work is to study the changes caused by the health crisis derived from COVID-19 that had an impact on the confidence in science at the end of the first cycle of Secondary Education. To achieve this, specific objectives were proposed, which include analyzing the change in the perception of science, studying the level of understanding of the generating scientific knowledge process, assessing the level of involvement in science-related decision-making, and paying attention to the differences observed in these parameters according to the students' field of study and gender.

The present work explores the changes in these parameters basing upon a descriptive-comparative cross-sectional non-experimental quantitative design. For this purpose, a validated questionnaire composed of a total of 10 Likert-type questions divided into 3 categories was used as a research tool: perception of science through the COVID-19 pandemic, understanding of the construction of scientific knowledge, and involvement in decision-making by adolescents in science-related issues. The study population was the 4th grade Secondary School students in the first month of the 2021/2022 academic year in the province of León (Spain). A sample of 254 participants was obtained from this population, whose data were analyzed with version 26 of the SPSS (IBM) computer software.

The results showed a change in the adolescents' perception of science that brought about an increased trust in science. Additionally, it was observed that students were able to associate changes in pandemic restrictions with scientific advances that were being made. On assessing the level of involvement in science and COVID-19 related decision making, most teenagers in the study felt that they can be involved in science-related decision making in society. However, with regards to the pandemic context, this percentage decreased drastically. In this sense, it can be concluded that the decontextualization of science in the teaching-learning process, that is removing science concepts from the closest student's reality, can result in non-significant learning of science. A more distant perception of science was also observed in the students of Mathematics applied to Social Sciences as compared to those of Science, which may derive from the formers' lower interest in this field. In terms of gender, the differences observed only concerned the change in confidence in science after the pandemic, which, although it increased in both genders, did so in a lower degree among females.



La enseñanza de contenidos científicos mediante una metodología basada en *escape room*

Teaching Scientific Content through a Methodology Based on Escape Room

Félix Yllana-Prieto, David González-Gómez, Jin Su Jeong
*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Matemáticas.
Facultad de Formación del Profesorado, Universidad de Extremadura (España)*
feyllanap@unex.es, dggomez@unex.es, jin@unex.es

RESUMEN • El aprendizaje de contenidos científicos puede generar cierto desinterés en el estudiantado. El empleo de metodologías docentes apropiadas y no desatender la dimensión afectiva pueden ayudar a revertir esta situación. En este estudio se presenta un *escape room* diseñado con el objeto de trabajar contenidos científicos con docentes en formación. Para comprobar su influencia en las dimensiones afectiva y cognitiva, se han analizado emociones, autoeficacia y actitudes, así como el aprendizaje de las y los participantes antes y después de la intervención en un estudio llevado a cabo durante dos cursos académicos. Los resultados muestran un incremento en las emociones positivas, autoeficacia y actitudes, así como en el aprendizaje de las y los participantes después de la intervención. A la luz de estos resultados, esta intervención tiene efectos positivos en las dimensiones afectiva y cognitiva.

PALABRAS CLAVE: Enseñanza de las ciencias; Gamificación; *Escape room*; Docentes en formación.

ABSTRACT • Learning scientific contents can generate some lack of interest among students. The use of appropriate teaching methodologies and paying attention to the affective dimension can help to reverse this situation. This study presents an escape room designed for trainee teachers to work on scientific contents. To check its influence on the affective and cognitive dimensions, emotions, self-efficacy, and attitudes were analyzed, as well as the participants' performance before and after the intervention in a study carried out over two academic years. The results show an increase in the participants' positive emotions, self-efficacy, attitudes, and performance after the intervention. Considering these results, this intervention has positive effects on both the affective and the cognitive dimensions.

KEYWORDS: Science education; Gamification; Escape room; Trainee teachers.

Recepción: enero 2023 • Aceptación: junio 2023 • Publicación: noviembre 2023

INTRODUCCIÓN

El creciente desinterés hacia el aprendizaje de contenidos científicos es una de las principales causas de preocupación dentro del ámbito de la enseñanza de las ciencias (Miller et al., 2018). Este desinterés por las disciplinas científicas, como señalan Vázquez y Manassero (2011), comienza a presentarse a una edad temprana, que desencadena en el estudiantado una imagen negativa hacia la ciencia. Posteriormente, esto se refleja en una disminución en la elección de carreras científico-técnicas. Entre las diferentes causas que pueden explicar este desinterés, cabe destacar aquellas generadas como consecuencia del uso de metodologías docentes poco apropiadas y tradicionalmente empleadas para la enseñanza de contenidos científicos (Hugerat, 2016). En concreto, la enseñanza de las ciencias se ha centrado, fundamentalmente, en el aprendizaje de contenidos teóricos, lo que, sumado a la mayor complejidad que pueden presentar estos contenidos, ha provocado el rechazo de una gran cantidad de estudiantes hacia las disciplinas científicas (Tobin, 2010). Por otro lado, según Tracey (2002), el interés hacia la ciencia disminuye a medida que aumenta la edad del alumnado, con lo que se alcanza un interés mínimo a los dieciocho años, que es cuando el alumnado debe elegir una carrera académica universitaria, en el caso de no haber elegido previamente una carrera de formación profesional. Otro de los factores que influyen en el interés del estudiantado hacia la ciencia es el itinerario o modalidad de estudios en la trayectoria escolar. Cabe destacar que la mayoría de las maestras y maestros en formación acceden a la universidad cursando modalidades no científicas, por lo que no tienen ninguna vocación científica y muestran poca simpatía por estas disciplinas, además de sentirse incapacitados para su enseñanza (González-Gómez et al., 2018). Ante este desafío, es importante tener en cuenta las motivaciones del estudiantado y generar interés por las disciplinas científicas desde edades tempranas, ya que estas preferencias persisten hasta la edad adulta (Jack y Lin, 2017). Así, metodologías docentes apropiadas, como las estrategias de aprendizaje activo, ayudan a incrementar el interés del estudiantado, especialmente en disciplinas científicas (Hernández-Serrano y Muñoz-Rodríguez, 2020).

Teniendo en cuenta lo anteriormente indicado, es esencial actuar desde las primeras etapas educativas. Respecto a las estrategias docentes que se pueden emplear para la enseñanza de contenidos científicos, ha quedado demostrado que las metodologías docentes en las que exista una mayor implicación del alumnado se muestran más efectivas que los enfoques alejados de la vida cotidiana, utilizados tradicionalmente para la enseñanza de las ciencias (Lombardi et al., 2021). En este sentido, es imprescindible que las y los docentes cuenten con una adecuada formación en ciencias, ya que estos serán los encargados de transmitir al estudiantado el interés por las disciplinas científicas (Fernández et al., 2002). Cabe destacar que, tradicionalmente, la mayoría del profesorado en formación proviene de itinerarios preuniversitarios no científicos, concretamente de modalidades como Humanidades, Ciencias Sociales o Arte. El alumnado con este perfil suele mostrar cierto rechazo o apatía hacia los contenidos científicos (Pronovost et al., 2016) y, por este motivo, el fomento del interés por la ciencia es esencial cuando se trata de docentes en formación (González-Gómez et al., 2018). Debido a la importancia de la formación científica en futuros docentes, este trabajo se centra en explorar el modo de fomentar el interés y el correcto aprendizaje de contenidos científicos en una muestra de docentes en formación.

El interés que muestra el estudiantado hacia la ciencia está influenciado por la dimensión afectiva que se genera durante el proceso de enseñanza y aprendizaje de estos contenidos (Anzelin et al., 2020). Por ello, y de acuerdo con Dávila et al. (2016), es necesario formar a docentes que estén capacitados para afrontar el proceso de enseñanza y aprendizaje no solo desde el punto de vista cognitivo, sino también desde el punto de vista emocional, ya que, a lo largo de su recorrido académico, va a generar emociones hacia las ciencias, que serán positivas o negativas según perciba éxitos o fracasos. Por tanto, es fundamental tener en cuenta esta dimensión afectiva en la formación inicial de docentes, donde la generación de emociones positivas conlleva que se sientan competentes y capacitados para la enseñanza

de las ciencias, ya que de ellas y ellos depende generar interés por las ciencias a generaciones futuras (Jeong et al., 2019a). En esta línea, Kazempour (2014) señala que comprender las experiencias negativas y las dificultades con las ciencias de las maestras y maestros en formación permite entender mejor su baja autoeficacia y su actitud negativa hacia la enseñanza de las ciencias. Diferentes estudios (Aydogan et al., 2015; Solbes, 2011) señalan que el rechazo emocional del estudiantado es una de las principales causas de su fracaso en asignaturas científicas, debido a que muchos sienten emociones negativas, como miedo, nerviosismo o preocupación. Durante el proceso de enseñanza y aprendizaje, las emociones, tanto en el estudiantado en general como en las futuras figuras docentes en particular, juegan un papel fundamental para el razonamiento, es decir, ayudan a escoger la opción más apropiada en un determinado momento (Otero, 2006). Además, las emociones en la educación están ligadas estrechamente al aprendizaje, es decir, existe una influencia recíproca entre la dimensión afectiva y la cognitiva (Eldar y Niv, 2015).

Las emociones durante el proceso de enseñanza y aprendizaje de docentes en formación influyen, a su vez, en otros componentes de esta dimensión afectiva, como son la autoeficacia, las actitudes y el propio aprendizaje de contenidos. El concepto de autoeficacia está estrechamente relacionado con las emociones en la educación y es clave en el desarrollo de las maestras y maestros en formación (Kazempour, 2014). Según Bandura (2009), la autoeficacia es la percepción subjetiva que tiene una persona sobre su nivel de competencia para ejecutar una determinada tarea o lograr ciertos resultados en el futuro, es decir, la creencia que tiene la propia persona de lo que puede o no puede hacer. Es importante considerar la autoeficacia durante la enseñanza de las ciencias, ya que esta se ha relacionado con la motivación, el rendimiento y el interés del alumnado (Brown et al., 2008; Jeong et al., 2019b). Otra de las principales causas de este desinterés puede deberse a actitudes negativas hacia la ciencia por parte del estudiantado (Osborne y Dillon, 2008). Así, facilitar actitudes positivas hacia las ciencias podría ser especialmente beneficioso para las y los docentes en formación, para que se sientan cualificados, interesados y competentes durante la futura enseñanza de asignaturas científicas (Jeong et al., 2019a). Con relación a los factores de la dimensión afectiva mencionados, Pekrun et al. (2011) observan que las emociones positivas que siente el estudiantado se relacionan positivamente con la autoeficacia, las actitudes y el aprendizaje. Del mismo modo, estas correlaciones se revierten en las emociones negativas.

La forma de transmitir e impartir determinados contenidos tiene importantes efectos en el desarrollo de la dimensión afectiva del alumnado (Hugerat, 2016). Por lo tanto, es fundamental emplear una metodología de instrucción que pueda favorecer el desarrollo de emociones positivas, así como mayores índices de autoeficacia y actitudes, ya que podría resultar beneficioso en el aprendizaje de contenidos científicos. Lombardi et al. (2021) indican que las metodologías activas, esto es, los métodos de instrucción que involucran al estudiante en el proceso de aprendizaje, pueden promover el rendimiento académico, el pensamiento crítico y las emociones positivas del estudiantado, especialmente hacia la ciencia.

En este sentido, la gamificación es una metodología docente que utiliza elementos y técnicas propias de los juegos con el fin de lograr una situación de aprendizaje en contextos no lúdicos (Deterding et al., 2011). Es común establecer sistemas de recompensas cuando se aplica esta metodología porque es importante que quien participa se sienta reconocido (Nicholson, 2015). Aquí, es necesario encontrar la forma correcta de motivar al alumnado, ya sea por motivación intrínseca (inherente a la persona, pues realiza un trabajo por su propio bien o interés) o por motivación extrínseca (externa a la persona, ya que lo realiza por una recompensa) (Prieto, 2020). La gamificación permite fomentar tanto la motivación extrínseca como la intrínseca, ambas importantes para conseguir resultados de aprendizaje (Apóstol et al., 2013). El sistema de recompensas no es incompatible con el aprendizaje significativo, ya que diseñar una actividad gamificadora en la que el estudiantado participa activamente puede conllevar resultados académicos y actitudinales positivos (Villalustre y del Moral, 2015). Algunos estudios señalan que la incorporación de metodologías y herramientas gamificadoras propicia una serie de beneficios en las dimensiones afectiva y cognitiva del estudiantado respecto a la enseñanza y aprendizaje de las ciencias

(Mullins y Sabherwal, 2020; Yllana-Prieto et al., 2021). Una de las herramientas más novedosas relacionadas con la gamificación es el *escape room* educativo. Este tipo de herramientas adaptadas y utilizadas para la enseñanza de determinados contenidos está en auge y su uso se ha disparado en los últimos años (Avargil et al., 2021). Sin embargo, solo existen algunos estudios que apoyen con resultados significativos su eficacia en las dimensiones afectiva y cognitiva en comparación con todos los trabajos disponibles en la bibliografía. En concreto, los *escape rooms* son juegos de acción en vivo donde las jugadoras y jugadores descubren pistas, resuelven acertijos y realizan tareas en una o más habitaciones con el fin de alcanzar una meta específica en una cantidad limitada de tiempo que les permitirá salir de la habitación (Nicholson, 2015). Aplicados en un ámbito educativo, los *escape rooms* pueden reforzar el aprendizaje de los contenidos, así como la motivación y las emociones (Gómez-Urquiza et al., 2019).

OBJETIVO, PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN E HIPÓTESIS

Este trabajo se marca como objetivo la evaluación y el análisis de la influencia que puede ejercer sobre las dimensiones afectiva y cognitiva del aprendizaje la implementación de un *escape room* diseñado para trabajar contenidos científicos con docentes en formación. El estudio se ha desarrollado durante dos cursos consecutivos en una asignatura de ciencias del grado de Educación Primaria. Teniendo en cuenta este objetivo, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué influencia tiene la propuesta metodológica diseñada para trabajar contenidos científicos en los niveles afectivo y cognitivo de las maestras y maestros en formación que participan? Para evaluar la dimensión afectiva se analizan las variables «emociones» y «autoeficacia y actitudes» del estudiantado. De acuerdo con diversos estudios (Susskind, 2005; Malinen et al., 2012), el análisis de las variables «autoeficacia» y «actitudes» se ha llevado a cabo en conjunto debido a la estrecha relación que existe entre estas variables, en ocasiones unificada como una única variable analizada mediante un solo cuestionario. Para evaluar la dimensión cognitiva se analiza la variable «aprendizaje de los contenidos».

Así, se han formulado tres hipótesis con el objetivo de responder a la pregunta de investigación planteada, cada una en relación con las diferentes variables citadas en el objetivo principal del trabajo:

- Hipótesis 1: Con la implementación de la intervención propuesta en este estudio las maestras y maestros en formación experimentan emociones positivas con mayor intensidad y emociones negativas con menor intensidad hacia la intervención.
- Hipótesis 2: Con la implementación de la intervención propuesta en este estudio las maestras y maestros en formación muestran una autoeficacia mayor y actitudes más positivas hacia la ciencia.
- Hipótesis 3: Con la implementación de la intervención propuesta en este estudio las maestras y maestros en formación obtienen mejores calificaciones en pruebas objetivas sobre los contenidos teóricos tratados.

METODOLOGÍA

Con el fin de evaluar la influencia de la intervención diseñada sobre las variables de estudio, en una muestra de docentes en formación se han analizado las respuestas obtenidas por medio de un cuestionario, antes y después de la intervención. Para ello se han comparado los datos recabados durante dos cursos académicos consecutivos mediante un enfoque metodológico cuantitativo.

Muestra de estudio y contextualización

Este estudio se ha desarrollado durante dos cursos académicos consecutivos con estudiantes del grado de Educación Primaria de la Universidad de Extremadura. Concretamente, en este estudio han participado un total de 120 docentes en formación, 65 en el curso 2020-2021 y 55 en el curso 2021-2022.

Así, la edad media de las y los participantes del estudio se situó en torno a los 20 años. Por otro lado, con relación al género, la muestra se distribuye en 78 mujeres (65 %) y 42 hombres (35 %). Con respecto a la formación preuniversitaria de las y los participantes, cabe destacar que la mayoría cursó bachillerato en su etapa preuniversitaria (solo 4 estudiantes del total cursaron formación profesional). Asimismo, más de la mitad de las personas participantes, concretamente el 55 % de la muestra, estudió una modalidad de bachillerato no científica (Humanidades, Ciencias Sociales o Artes) y el 45 % restante estudió un bachillerato científico-técnico (modalidades de Ciencias o Tecnología). La muestra tiene una calificación media de acceso a la universidad de 8,8 sobre un total de 14 puntos posibles.

El estudio descrito en este trabajo se desarrolló en el marco de la asignatura obligatoria denominada Didáctica de la Materia y la Energía, que, con un total de 6 créditos (150 horas), se imparte en el cuarto semestre del grado de Educación Primaria. Esta asignatura tiene como principal objetivo proporcionar al estudiantado diferentes estrategias metodológicas para trabajar los contenidos científicos en el aula de primaria. De manera específica, en la asignatura se trabaja el universo, la materia y su transformación y la energía.

Para este estudio, se ha diseñado e implementado una intervención encuadrada en los contenidos relativos al universo. Según la programación de la asignatura, los contenidos que se imparten durante este tema son: el universo y su tamaño, conceptos generales, el origen y evolución del universo, las diferentes estructuras fundamentales del universo, el sistema solar y el diseño de actividades para el aula de Educación Primaria.

Diseño de la intervención implementada

La propuesta metodológica planteada consiste en un *escape room* diseñado para trabajar los contenidos relativos al universo, que forman parte del programa de la materia donde se ha implementado. Este *escape room* se plantea como una intervención innovadora y original, y se realizó durante una sesión de laboratorio de 3 horas de duración. Se planteó como una actividad de refuerzo, ya que todos los contenidos que se incluyeron en la intervención fueron trabajados en una clase teórica con anterioridad a su realización por medio de una presentación de diapositivas durante el segundo tema de la asignatura. Durante la intervención, las y los participantes tuvieron que resolver los diferentes retos para desbloquear una serie de cofres cerrados con candados.

La intervención propuesta sigue un modelo lineal y consta de 6 retos que deben ser resueltos en orden para finalizar la intervención, tal y como se muestra en la figura 1. Cada reto fue diseñado con una dificultad creciente a medida que se avanzaba durante la actividad y teniendo en cuenta el nivel de conocimientos trabajados previamente en clase.

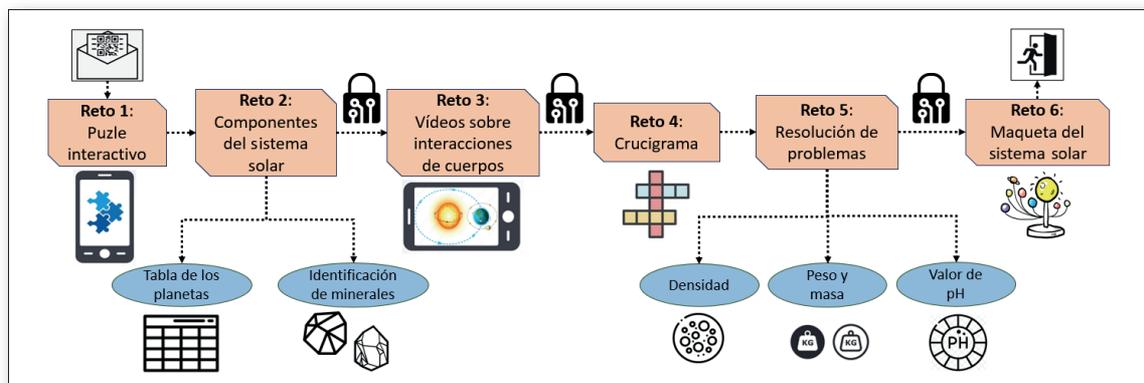


Fig. 1. Esquema de la intervención propuesta.

Antes de comenzar los diferentes retos, las y los estudiantes deben leer una carta que les escribe Stephen Hawking. En esta misiva, Hawking indica que está molesto por la falta de conocimientos que tiene la juventud sobre el universo que les rodea, y les propone la misión de resolver un conjunto de retos a través de la apertura de diferentes cofres para escapar del aula. Así, para abrir el primer cofre, el grupo de participantes necesita resolver los dos primeros retos. En el primero de ellos, el estudiantado deberá resolver una prueba tipo puzle interactivo *online* relativa a la posición del sistema Sol-Tierra-Luna en un eclipse lunar. Tras proporcionar la respuesta correcta al profesor, el grupo tiene acceso a la siguiente prueba. La segunda prueba consiste en un doble reto. Primero, la identificación del mineral cuarzo a partir de su definición entre nueve muestras de minerales comunes en la corteza terrestre (cada muestra asociada a un número del 1 al 9). En la segunda se lleva a cabo la búsqueda de información sobre el orden, el perímetro, la composición y los satélites de los diferentes planetas que componen el sistema solar. Los participantes deben rellenar una tabla con algunos huecos marcados en rojo, con los que formarán una operación matemática que les proporciona un número. Este número, junto al obtenido en el reto de identificación, les permite hallar la combinación del candado que abre el primer cofre. Para localizar la llave que abre el siguiente cofre, las y los estudiantes tienen que resolver el tercer reto, que consiste en la visualización de tres vídeos relativos a las estaciones, la fuerza de la marea y los distintos tipos de eclipse. Cada vídeo contiene una pregunta que permite deducir la clave de un candado digital. Cada candado digital proporciona fragmentos de un enlace que conduce a un mensaje de audio en el que la voz de Stephen Hawking menciona que la llave del candado está debajo de la mesa donde está trabajando cada pareja. Finalmente, para abrir el último cofre, el estudiantado debe completar el cuarto y quinto reto. En la cuarta prueba se debe resolver un crucigrama sobre definiciones generales relativas a cuerpos y elementos del sistema solar (tales como asteroides, planetas, satélites, nebulosas, estrellas y galaxias) y movimientos de la Tierra (como la nutación y la precesión). Algunas de las cuadrículas del crucigrama están marcadas, y con las letras en el interior de estas cuadrículas se puede formar un número. En el quinto reto, el grupo de estudiantes realizó diversos cálculos de masa, peso y densidad sobre los planetas Tierra, Marte, Saturno y Urano, así como la medición experimental del pH de sustancias cotidianas en el planeta Tierra. El correcto cálculo de estos ejercicios los lleva a obtener un número que, junto al obtenido en la cuarta prueba, abre el último candado. La sexta y última prueba consiste en elaborar una maqueta sencilla del sistema solar con materiales que encuentran en el último cofre (bolas de poliespán de distinto tamaño, alfileres, pequeñas piedras, y una lámina de corcho). De este modo se resuelve la misión propuesta por Stephen Hawking, tras el chequeo de la correcta realización de la maqueta por parte del personal docente a cargo de la actividad.

Instrumento

Con el objeto de analizar el efecto que ejerce la intervención diseñada en las variables de investigación propuestas en este estudio, se ha empleado como instrumento un cuestionario multisección.

Después de impartir todos los contenidos en clase de teoría y antes de realizar la intervención, informando a las y los participantes del carácter voluntario y anónimo de su participación, las maestras y maestros en formación cumplimentaron el cuestionario sobre las variables de estudio (pretest). De acuerdo con investigaciones previas (Martínez-Martí et al., 2010; Yllana-Prieto et al., 2021), quince días después de la intervención el grupo de participantes completó de nuevo el cuestionario (postest) para observar posibles cambios en los parámetros de las variables de estudio. El cuestionario también incluyó variables sociodemográficas como el género, la edad, el tipo de acceso a la universidad, el itinerario en la etapa preuniversitaria y la calificación de acceso a la universidad. Asimismo, se pidió que cada estudiante identificase su cuestionario con un código alfanumérico, que permitió realizar un estudio pareado de las variables. Todo el alumnado dio su consentimiento informado de acuerdo con lo establecido por el comité de bioética de la Universidad de Extremadura.

De manera precisa, en la primera sección del instrumento se preguntó al estudiantado sobre la intensidad con la que sentían diferentes emociones respecto a la intervención. En concreto, se valoraban 14 emociones, de las cuales 7 son emociones positivas (alegría, satisfacción, entusiasmo, diversión, confianza, esperanza y orgullo) y 7 emociones negativas (incertidumbre, nerviosismo, preocupación, frustración, aburrimiento, miedo y ansiedad) mediante una escala tipo Likert del 1 a 5 (intensidad de cada emoción sentida de 1 –nada– a 5 –mucho o intensamente–). Este cuestionario fue usado por otros autores (Jeong et al., 2016). En la segunda sección del cuestionario se analizó la autoeficacia y las actitudes hacia las ciencias que mostraban las maestras y maestros en formación. Se compone de 28 afirmaciones (ítems del 1 al 7 correspondientes a la autoeficacia, ítems del 8 al 28 correspondientes a las actitudes) en las cuales el estudiantado debe indicar si está de acuerdo o en desacuerdo mediante una escala Likert del 1 a 5 (grado de conformidad con cada afirmación de 1 –totalmente en desacuerdo– a 5 –totalmente de acuerdo–). Estas 28 afirmaciones han sido adaptadas a partir del instrumento sobre la eficacia de los profesores de ciencias (STEBI-B) validado por estudios como el de Slater et al. (2021). Por último, la tercera sección del cuestionario evaluó el aprendizaje de los contenidos teóricos. Para ello, esta sección se compone de un total de 20 cuestiones con cuatro posibles respuestas cada una. Esta sección ha sido diseñada por los autores de este estudio a partir de los contenidos específicos trabajados y de ítems empleados en otras investigaciones (Gazit et al., 2005; Yllana-Prieto et al., 2021). Posteriormente, las preguntas fueron revisadas por varios expertos en el campo de la didáctica de las ciencias experimentales.

Aunque cada una de las secciones del cuestionario ha tenido sus respectivos procesos de validación, se han calculado los coeficientes alfa de Cronbach y omega de McDonald para verificar la fiabilidad del instrumento en su conjunto.

Análisis de los datos

En primer lugar, se han estimado los coeficientes de fiabilidad del instrumento empleado. Concretamente se han calculado los coeficientes alfa de Cronbach y omega de McDonald para comprobar la consistencia interna del cuestionario. Los resultados obtenidos de este análisis se expresan en la tabla 1. Estos coeficientes tienen valores comprendidos entre 0 y 1, siendo 0,7 el valor mínimo para que el cuestionario se considere fiable (Ravinder y Saraswathi, 2020). En este caso, puede observarse que ambos coeficientes superan este valor en cada una de las secciones; por lo tanto, se considera un cuestionario fiable.

Tabla 1.
Coeficientes alfa de Cronbach y omega de McDonald

<i>Instrumento</i>	<i>Alfa de Cronbach</i>	<i>Omega de McDonald</i>
Emociones	0,836	0,861
Autoeficacia y actitudes	0,884	0,901
Aprendizaje	0,787	0,782

De manera previa al análisis cuantitativo de los resultados, se ha llevado a cabo una prueba de contraste para establecer si los datos obtenidos estaban normalmente distribuidos. Concretamente, tras aplicar la prueba de Kolmogorov-Smirnov se observa que los datos no se ajustan a una distribución normal ($p < 0,05$) y, en consecuencia, se han empleado pruebas no paramétricas para analizar las variables de estudio. Con el objeto de comparar las medias apareadas de cada estudiante antes y después de la intervención, se ha aplicado la prueba de rangos de Wilcoxon a cada grupo de variables de estudio. Para comparar los datos en función del curso académico se ha calculado la prueba U de Mann-

Whitney. Los datos se han analizado tanto en conjunto como por cada curso académico. Los diferentes análisis estadísticos mencionados se han calculado por medio del software Jamovi (versión 2.3.18).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con objeto de establecer la influencia que tuvo el empleo de la intervención diseñada en el aprendizaje de contenidos científicos en docentes en formación, se ha analizado tanto la dimensión afectiva como la cognitiva del aprendizaje antes y después de la intervención. Para ello, se han medido las emociones sentidas hacia la intervención, la autoeficacia y las actitudes hacia la ciencia, así como el aprendizaje de los contenidos teóricos antes y después de la intervención.

Influencia del *escape room* en las emociones

La figura 2 muestra la comparación de las emociones y la autoeficacia y las actitudes de las maestras y maestros en formación antes y después de implementar la intervención propuesta. Para resumir y tener una visión general del cambio en las emociones, y en la autoeficacia y las actitudes que han experimentado las y los docentes en formación después de realizar la intervención, se han analizado los ítems significativos de cada variable de manera conjunta. Esto puede hacerse debido a que los coeficientes de fiabilidad calculados son altos en cada una de estas partes del instrumento usado. Se ha creado una variable llamada «Emoción global» calculada según $E_g = \sum E_p - \sum E_n$. Por otro lado, también se ha creado una variable denominada «Autoeficacia y actitudes global» calculada como la suma de los ítems relativos a estas variables que proporcionaron diferencias significativas $AA_g = \sum I_{sig}$. Atendiendo a estas ecuaciones, los valores mínimos y máximos que pueden alcanzar estas variables son de -24 a 24 en «Emoción global» y de 10 a 50 en «Autoeficacia y actitudes global». Se han comparado las medias de estas variables antes y después de la intervención. Se observa en ambas variables un incremento significativamente positivo tras aplicar la prueba U de Mann-Whitney (valores en la variable Emoción global: $U = 5971, p = 0,02$; valores en la variable Autoeficacia y actitudes global: $U = 4946, p < 0,001$). En concreto, la media y mediana de la variable Emoción global son 9,36 y 11, respectivamente, antes de la intervención, y aumentan a 11,4 y 13 después de la intervención. Respecto a la variable Autoeficacia y actitudes global, la media y la mediana son 35,19 y 35 antes de la intervención, y aumentan a 38,5 y 38 después de la intervención.

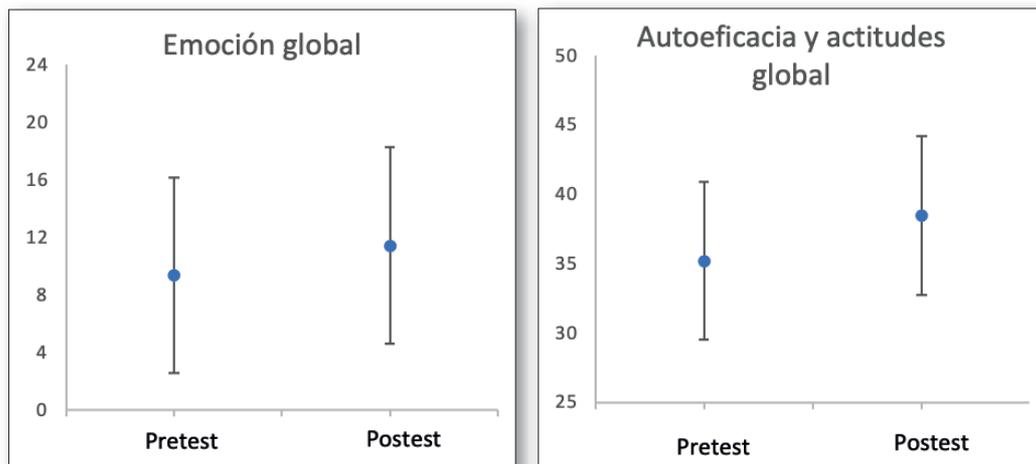


Fig. 2. Análisis global de las emociones y la autoeficacia y actitudes. Representación de las medias (punto) y las desviaciones estándar (línea vertical) de cada variable antes y después de la intervención.

Con el objeto de comprobar qué emociones han evolucionado significativamente se han comparado las medias para cada una de las emociones antes y después de la intervención. Se ha observado la existencia de diferencias estadísticamente significativas en todas las emociones analizadas, excepto en la esperanza y la preocupación. En la figura 3 se muestran los valores medios entre las emociones positivas y negativas con diferencias significativas ($p < 0,05$ tras hacer la prueba W de Wilcoxon) antes y después de implementar la intervención.

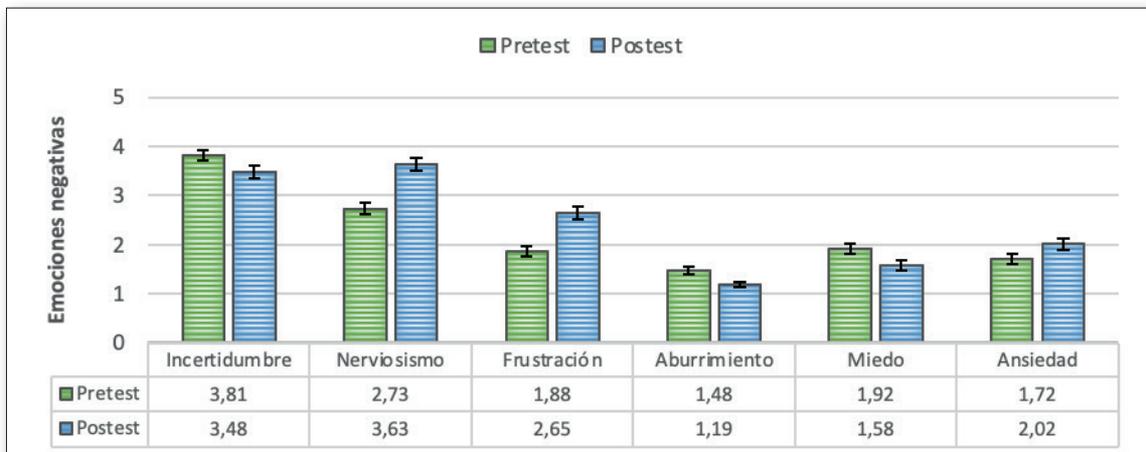
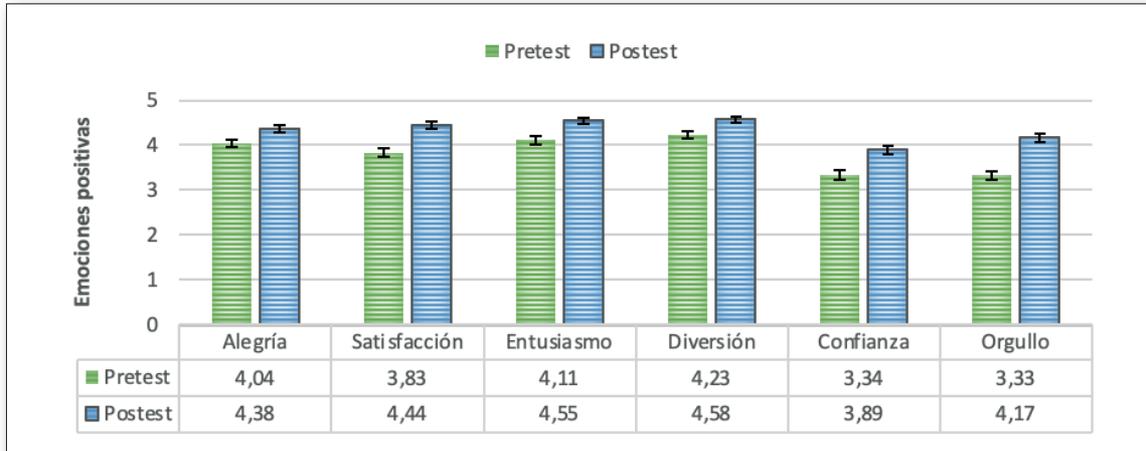


Fig. 3. Diferencia de medias significativas en las emociones positivas y negativas antes y después de la intervención.

Como puede apreciarse, se observa un incremento significativo en las emociones positivas tras realizar la intervención propuesta (alegría: $W = 539$, satisfacción $W = 555$, entusiasmo: $W = 340$, diversión: $W = 561$, confianza: $W = 857$, orgullo: $W = 561$; en todas $p < 0,001$). Con relación a las emociones negativas, se observa una disminución significativa de la intensidad con la que las maestras y maestros en formación sienten incertidumbre ($W = 1853$; $p = 0,02$), aburrimiento ($W = 553$; $p < 0,001$) y miedo ($W = 1052$; $p = 0,002$) después de la implementación de la intervención. A su vez, se aprecia un incremento significativo del nerviosismo ($W = 676$; $p < 0,001$), la frustración ($W = 666$; $p < 0,001$) y la ansiedad ($W = 561$; $p = 0,012$).

De acuerdo con los resultados obtenidos respecto a las diferencias en las emociones presentadas por el grupo de docentes en formación, se observan similitudes con otros estudios. Se muestra un incremento significativo de las emociones positivas analizadas después de que el alumnado completara la intervención propuesta. Estos resultados están en la línea de otros estudios en los que se implementan *escape rooms* educativos para trabajar contenidos científicos (Yllana-Prieto et al., 2021; Sánchez-Ruiz et al., 2022). Como apunta Fernández et al., (2002) el fomento de emociones positivas de las y los docentes en formación hacia contenidos de ciencias es esencial debido a que, posteriormente, estas maestras y maestros pueden transferir sus intereses y emociones a su alumnado. Respecto a las emociones negativas, se observa un descenso significativo de la incertidumbre, el aburrimiento y el miedo, pero un incremento en el nerviosismo, la frustración y la ansiedad después de implementar el *escape room*. Según diversos autores (Clauson et al., 2019; Schlegel et al., 2019; Reed y Ferdig, 2021), cuando se realiza un *escape room* es importante ser consciente de que pueden aparecer algunas emociones como la frustración, el nerviosismo o cambios en la ansiedad, pero esto es normal, ya que estas son habituales en este tipo de juegos, y sin ellas estas actividades perderían su componente lúdico. La frustración puede aparecer por diversos motivos, por ejemplo, por la dificultad de algún reto, el tiempo empleado en resolverlo o la falta de conocimientos por parte del participante. Es aquí donde el rol de la profesora o el profesor es clave para ayudar y guiar al estudiantado en su camino a resolver las pruebas más dificultosas (Nicholson, 2015).

Influencia del *escape room* en la autoeficacia y actitudes hacia la ciencia

Al igual que en investigaciones previas (Bergman y Morphey, 2015; Flores, 2015), se han analizado los ítems del instrumento usado para medir la autoeficacia y las actitudes de manera conjunta. De acuerdo con estos resultados (figura 2), existe un incremento estadísticamente significativo global de la autoeficacia y actitudes en las y los participantes después de completar el *escape room*. Además, se han observado diferencias significativas en 10 ítems individuales analizados tras aplicar la prueba de rangos de Wilcoxon. Enumerados del 1 al 28, los ítems con medias estadísticamente significativas antes y después de la intervención se definen en la tabla 2.

Tabla 2.

Definición de los ítems sobre autoeficacia y actitudes con diferencias estadísticamente significativas (estadístico W de Wilcoxon y *p-valor* especificado). AE: Autoeficacia, AC: Actitudes.

Ítem	<i>p-valor</i>	W de Wilcoxon	Definición
1 (AE)	< 0,001	411	Entiendo los conceptos científicos lo suficientemente bien para enseñar ciencias en los niveles educativos más bajos.
2 (AE)	< 0,001	340	Normalmente seré capaz de responder a las preguntas del alumnado sobre la ciencia.
9 (AC)	0,002	494	Es importante saber de ciencia para conseguir un buen trabajo.
10 (AC)	< 0,001	552	Conozco los pasos necesarios para enseñar de forma efectiva los conceptos científicos.
11 (AC)	0,014	745	Me gustan los retos que suponen las actividades científicas.
12 (AC)	0,035	828	Estoy cómodo/a en clase de ciencias.
22 (AC)	< 0,001	220	Estoy interesado/a en la gamificación como metodología didáctica.
24 (AC)	0,019	338	Estoy interesado/a en realizar un <i>escape room</i> sobre el universo.
26 (AC)	< 0,001	264	Prefiero un <i>escape room</i> a una sesión tradicional de laboratorio para dar contenidos científicos.
28 (AC)	< 0,001	496	Resolver problemas físicos o matemáticos me divierte.

Los resultados recabados mediante el pretest y el postest muestran un incremento significativo en estos 10 ítems (figura 4), lo que evidencia que las maestras y maestros en formación mostraron una autoeficacia más alta en los ítems 1 y 2, mejores actitudes hacia la ciencia en los ítems 9-12 y 28, y mejores actitudes hacia la metodología implementada en los ítems 22, 24 y 26 después de realizar la intervención propuesta. Estos cambios, sumados al incremento global, son suficientes para afirmar que existe una mejora suficiente de la autoeficacia y las actitudes del estudiantado (Flores, 2015). Como ha sido descrito en la literatura científica, fomentar una alta autoeficacia y mantener actitudes positivas hacia la ciencia está asociado a un mayor rendimiento y motivación en los contenidos que se tratan (Brown et al., 2008; Jeong et al., 2019b). A su vez, el *escape room* como metodología activa de enseñanza puede conducir al incremento de la autoeficacia y las actitudes de las y los participantes (Glavas y Stascik, 2017; Yllana-Prieto et al., 2021), lo cual es especialmente útil en asignaturas del ámbito científico-tecnológico.

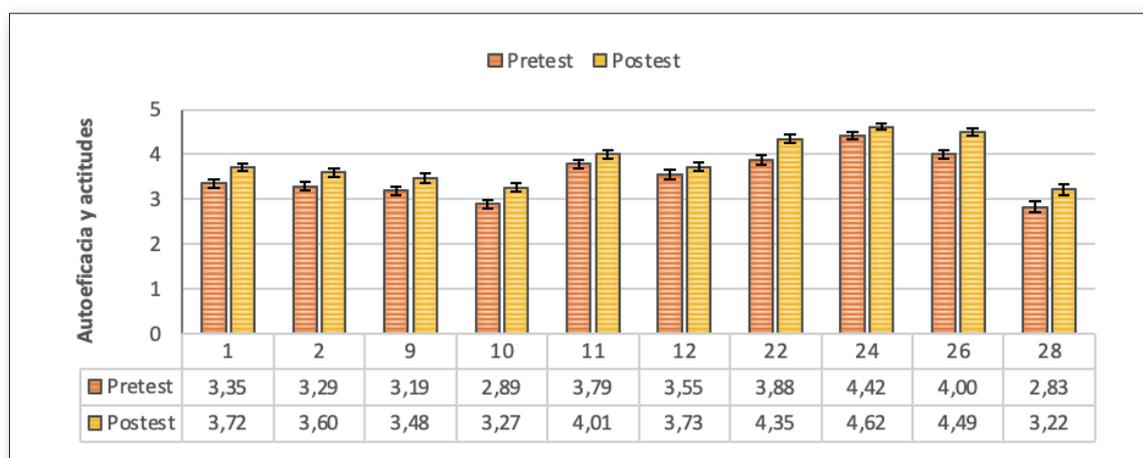


Fig. 4. Diferencias de medias significativas en los ítems de autoeficacia y actitudes hacia la ciencia antes y después de la intervención.

Influencia del *escape room* en el aprendizaje de los contenidos teóricos

Para evaluar el aprendizaje de las y los docentes en formación respecto a los contenidos teóricos del tema tratado en la intervención propuesta, se elaboró un cuestionario de 20 preguntas tipo test multirresposta para establecer una calificación del 1 al 10. Este cuestionario fue contestado por las y los estudiantes antes y después de la intervención. Los resultados hallados mediante la prueba de rangos de Wilcoxon muestran que la calificación media se incrementa significativamente ($W = 257; p < 0,001$) en 2,35 puntos después de la intervención (media del postest de 7,81) respecto a la media que obtuvieron antes (media del pretest de 5,46). Este análisis indica que existe un aumento en las calificaciones de las maestras y maestros en formación después de realizar la intervención propuesta. Según Yildirim y Şen (2019), la gamificación como estrategia docente tiene múltiples beneficios para el estudiantado, lo que se traduce en un mayor rendimiento académico. Concretamente, existen estudios recientes (Kuo et al., 2022; von Kotzebue et al., 2022) que indican el incremento del aprendizaje académico de contenidos científicos impartidos mediante un *escape room* educativo. Esto es especialmente importante porque el objetivo principal de toda metodología docente es propiciar un mejor aprendizaje para el alumnado (Miller et al., 2020).

Influencia de la modalidad de bachillerato cursada

Con el objeto de completar el análisis estadístico, se ha evaluado la posible influencia del bachillerato cursado con respecto a las variables estudiadas. Se han detectado diferencias significativas destacables al comparar las medias de algunas emociones y el aprendizaje respecto a los distintos itinerarios de bachillerato cursados por las y los estudiantes en su etapa preuniversitaria.

Respecto a emociones negativas como nerviosismo y miedo, se observa que, antes de realizar la intervención, las y los estudiantes que provienen de un itinerario no científico (Humanidades, Ciencias Sociales o Arte) experimentan estas emociones con más intensidad que las y los procedentes de los itinerarios de Ciencia y Tecnología. En concreto, el valor de la mediana respecto al nerviosismo antes de realizar la intervención es 3 para docentes en formación que proceden de itinerario no científico, 2 para quienes proceden del itinerario científico y 1,5 para quienes proceden del itinerario tecnológico. Asimismo, el miedo antes de realizar la intervención del estudiantado que proviene de un itinerario no científico es superior (mediana de 2) respecto a quienes cursaron las modalidades de Ciencia y Tecnología (ambos con mediana de 1). Se observa que hay una mayor dispersión de los datos respecto al nerviosismo que en el miedo, donde los datos presentan una menor diversidad de respuestas. En concreto, existe una mayor dispersión en las especialidades de Humanidades, Ciencias Sociales o Arte y Ciencias que en la especialidad de Tecnología. Esta información se ha sintetizado en la figura 5.

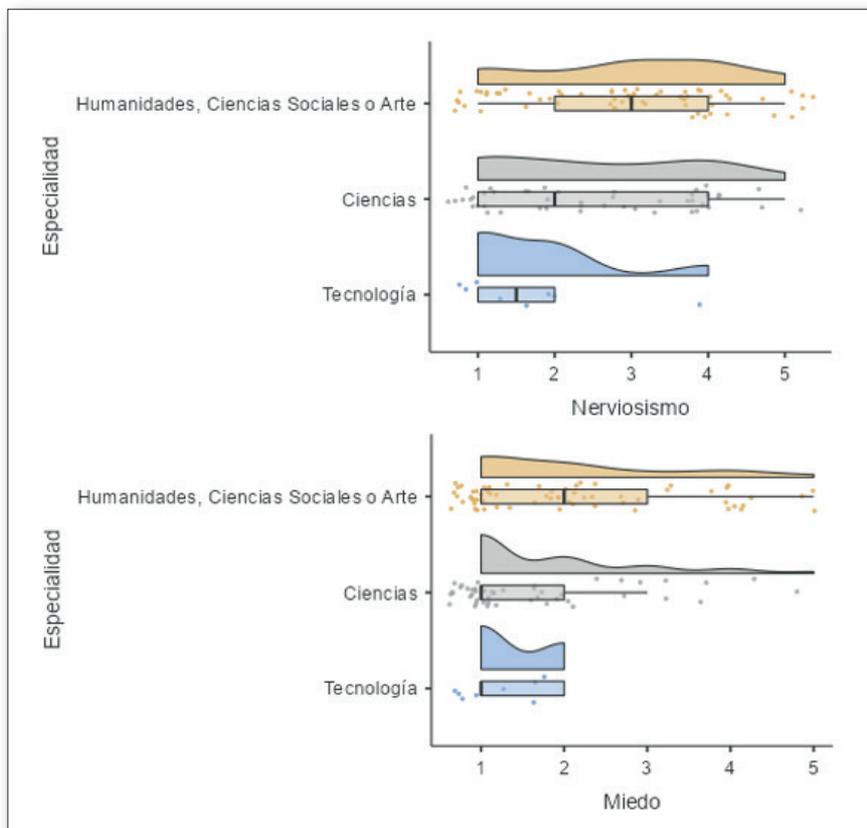


Fig. 5. Valores de la mediana de las emociones nerviosismo y miedo respecto al itinerario estudiado antes de la intervención. En cada especialidad, la forma de arriba indica la distribución de las respuestas (cuanto más gruesa menor dispersión de los datos). La barra de abajo es un diagrama de caja con la mediana señalada como una línea vertical (los puntos que aparecen son respuestas aisladas).

Cabe señalar que, después de realizar la intervención, se observa que el estudiantado que proviene de un itinerario de Humanidades, Ciencias Sociales o Arte (valor de la mediana de 3) terminó la sesión sintiendo frustración con mayor intensidad que quienes procedían del itinerario de Ciencias y Tecnología, ambos con un valor de la mediana igual a 2. De nuevo se observa que hay una mayor dispersión de los datos en las especialidades de Humanidades, Ciencias Sociales o Arte, y algo menor en Ciencias que en la especialidad de Tecnología (figura 6). Según distintos autores, estas diferencias respecto a la intensidad con la que el estudiantado siente emociones negativas hacia la ciencia pueden deberse a su bajo nivel de formación científica y su abandono de itinerarios científicos en educación secundaria (Pronovost et al., 2016; González-Gómez et al., 2018).

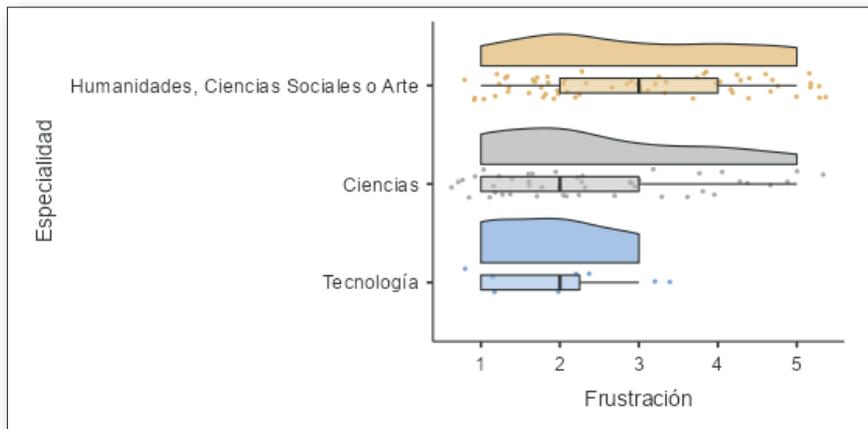


Fig. 6. Valores de la mediana de la frustración respecto al itinerario estudiado después de la intervención. En cada especialidad, la forma de arriba indica la distribución de las respuestas (cuanto más gruesa menor dispersión de los datos). La barra de abajo es un diagrama de caja con la mediana señalada como una línea vertical (los puntos que aparecen son respuestas aisladas).

Respecto al dominio cognitivo del aprendizaje se observa que, antes de la intervención, las y los participantes que provienen de un itinerario no científico obtuvieron una calificación inferior a las y los procedentes del itinerario científico. Sin embargo, tras realizar la intervención, las calificaciones del estudiantado proveniente de itinerarios no científicos son superiores, por lo que no existen grandes diferencias entre los grupos. Así, la intervención demuestra ser eficaz en la consolidación de conocimientos acerca del temario tratado, de modo que se incrementa la calificación media en más de 2 puntos. Además, parece ser más eficaz con el estudiantado procedente de la modalidad no científica, puesto que la diferencia de calificación entre el pretest y el postest es mayor que en las otras modalidades. Atendiendo a la dispersión de los datos, existe variabilidad en las calificaciones obtenidas por el estudiantado; no obstante, los datos se concentran en valores en torno al 5 en el pretest y el 8 en el postest (figura 7). Los resultados obtenidos respecto al mayor incremento en el aprendizaje de la muestra procedente de los itinerarios de Humanidades, Ciencias Sociales y Arte es especialmente importante debido a que la mayoría de la muestra y el estudiantado que cursa el grado de Educación Primaria procede de una de estas modalidades. En otros estudios también se observan efectos más acentuados en estudiantes que provienen de un itinerario no científico respecto a emociones y calificaciones teóricas (Yllana-Prieto et al., 2021). Esto puede deberse a que este estudiantado tiene un margen de mejora mayor, ya que parten de estadios inferiores con respecto al estudiantado proveniente de la modalidad científica, pero alcanzan estadios similares. Estos resultados muestran la efectividad de la intervención implementada, puesto que las maestras y maestros en formación, independientemente de sus estudios preuniversitarios, consiguen alcanzar una calificación similar.

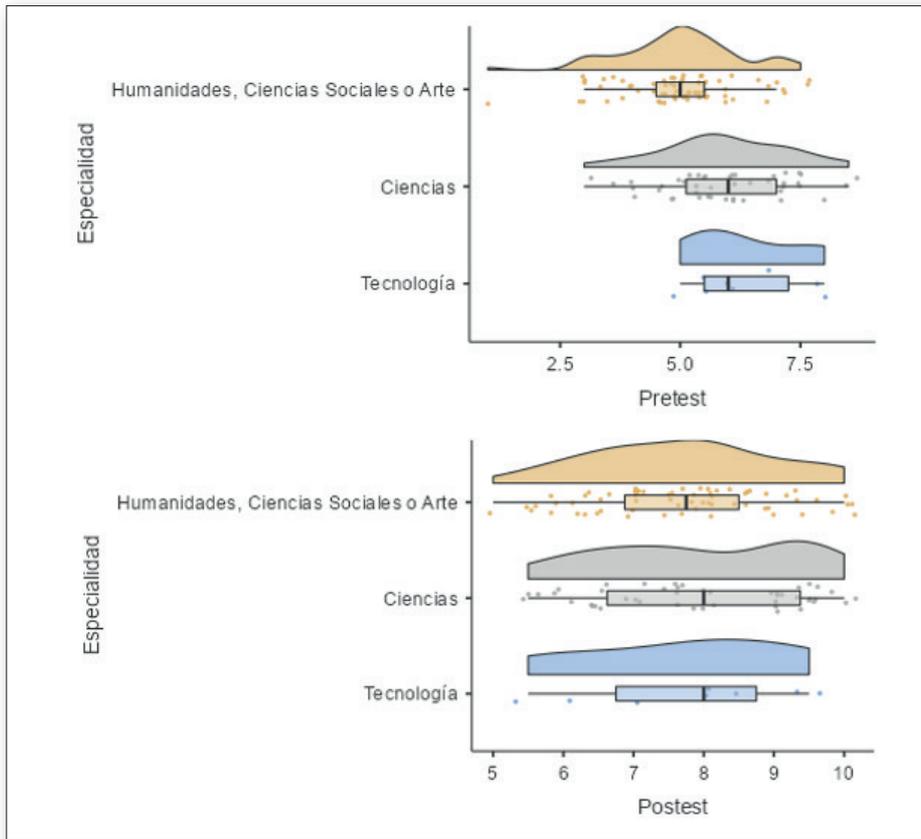


Fig. 7. Valores de la mediana del aprendizaje respecto al itinerario estudiado en bachillerato. En cada especialidad, la forma de arriba indica la distribución de las respuestas (cuanto más gruesa menor dispersión de los datos). La barra de abajo es un diagrama de caja con la mediana señalada como una línea vertical (los puntos que aparecen son respuestas aisladas).

CONCLUSIONES

Tras el análisis de las emociones, tanto positivas como negativas, se acepta la hipótesis 1. El balance global de emociones es significativamente más positivo después de que el grupo de docentes en formación completase el *escape room*. Las emociones positivas aumentan después de realizar la intervención; sin embargo, no todas las emociones negativas disminuyen en intensidad e incluso algunas como el nerviosismo, la frustración y la ansiedad aumentan.

Respecto al análisis de la autoeficacia y las actitudes, se ha observado un incremento global significativo después de haber finalizado el *escape room*. Además, se aprecian diferencias estadísticamente significativas en 10 de los ítems individualmente. Teniendo en cuenta estos resultados, el incremento global de la autoeficacia y actitudes es suficiente para que se acepte la hipótesis 2.

El análisis de los resultados obtenidos en la prueba de contenidos teóricos conduce a aceptar la hipótesis 3, puesto que existe un aumento en las calificaciones de las maestras y maestros en formación después de realizar la intervención propuesta.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la intervención diseñada repercute en la dimensión afectiva de docentes en formación. En concreto, incrementa las emociones positivas y, en parte, el sentimiento de autoeficacia y mejora en las actitudes hacia la ciencia después de realizar la implementación. Respecto a las emociones negativas, se observa que algunas disminuyen (incertidumbre, aburrimiento, miedo) y

otras aumentan (nerviosismo, frustración y ansiedad). Con relación a la dimensión cognitiva, el *escape room* ejerce un efecto positivo en los resultados académicos de las maestras y maestros en formación, de modo que mejora notablemente la calificación obtenida en un cuestionario de contenidos teóricos. Estos resultados se mantienen durante dos cursos académicos consecutivos, por lo que se puede concluir que la intervención diseñada para impartir contenidos científicos es eficaz y beneficiosa para las dimensiones afectiva y cognitiva de docentes en formación. Además, existen diferencias en algunas variables teniendo en cuenta la modalidad de bachillerato cursada por el estudiantado en su etapa preuniversitaria. La intervención parece ser más eficaz respecto a los contenidos teóricos con el estudiantado procedente de la modalidad no científica, hecho que es crucial porque la mayoría del estudiantado que cursa el grado de Educación Primaria procede de una modalidad no científica. Asimismo, existen mayores valores de emociones negativas como el nerviosismo, el miedo y la frustración en el estudiantado procedente de una modalidad no científica respecto a los que cursaron una modalidad científica.

Como propuestas de mejora que conciernen a esta investigación se propone reducir la duración del *escape room*, puesto que 3 horas pueden resultar tediosas para el alumnado participante; así se evitaría el incremento de alguna de las emociones negativas, además de darse un aumento mayor de la autoeficacia y las actitudes. También se estima necesario explorar más instrumentos para medir la autoeficacia y las actitudes que puedan dar más información al respecto, incluso separando estas variables en dos cuestionarios. Se propone añadir cuestiones acerca de qué aspectos concretos de la intervención generan emociones negativas, para indagar en sus causas y posibles soluciones. Por último, se propone analizar cualitativamente la intervención diseñada para aportar más información respecto al uso de *escape rooms* educativos como herramientas didácticas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren mostrar su agradecimiento a la Consejería de Economía y Agenda Digital de la Junta de Extremadura (España) y FEDER (Proyectos IB18004 y GR21047) y al Ministerio de Ciencia e Innovación, Proyecto de Investigación (PID2020-115214RBI00/AEI /10.13039/501100011033) por hacer posible esta investigación.

REFERENCIAS

- Anzelin, I., Marín-Gutiérrez, A. y Chocontá, J. (2020). Relación entre la emoción y los procesos de enseñanza aprendizaje. *Sophia*, 16(1), 48-64.
<https://doi.org/10.18634/sophiaj.16v.1i.1007>
- Apostol, S., Zaharescu, L. y Alexe, I. (2013). Gamification of learning and educational games. En *International Scientific Conference eLearning and Software for Education* (Vol. 2, pp. 67-72).
- Avargil, S., Shwartz, G. y Zemel, Y. (2021). Educational Escape Room: Break Dalton's Code and Escape! *Journal of Chemical Education*, 98(7), 2313-2322.
<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00110>
- Aydogan, H., Bozkurt, F. y Coskun, H. (2015). An assessment of brain electrical activities of students toward teacher's specific emotions. *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*, 9, 1977-2000.
- Bandura, A. (2009). Cultivate self-efficacy for personal and organizational effectiveness. En *Handbook of Principles of Organizational Behavior* (pp. 179-200).
<https://doi.org/10.1002/9781119206422.ch10>

- Bergman, D. J. y Morphey, J. (2015). Effects of a science content course on elementary preservice teachers' self-efficacy of teaching science. *Journal of College Science Teaching*, 44(3), 73-81.
<https://www.jstor.org/stable/43631942>
- Brown, S. D., Tramayne, S., Hoxha, D., Telander, K., Fan, X. y Lent, R.W. (2008). Social cognitive predictors of college students' academic performance and persistence: a meta-analytic path analysis. *Journal of Vocational Behaviour*, 72(3), 298-308.
<https://doi.org/10.1016/j.jvb.2007.09.003>
- Clauson, A., Hahn, L., Frame, T., Hagan, A., Bynum, L. A., Thompson, M. E. y Kiningham, K. (2019). An innovative escape room activity to assess student readiness for advanced pharmacy practice experiences (APPEs). *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*, 11(7), 723-728.
<https://doi.org/10.1016/j.cptl.2019.03.011>
- Dávila, M. A., Cañada-Cañada, F., Martín, J. y Mellado, V. (2016). Las emociones en el aprendizaje de física y química en educación secundaria. Causas relacionadas con el estudiante. *Educación química*, 27(3), 217-225.
<https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.04.001>
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. y Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining «gamification». *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*, 9-15.
<https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
- Eldar, E. y Niv, Y. (2015). Interaction between emotional state and learning underlies mood instability. *Nature Communications*, 6, 6149. <https://doi.org/10.1038/ncomms7149>
- Fernández I., Gil D., Carrascosa J., Cachapuz A. y Praia J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias*, 20(3), 477-488.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3962>
- Flores, I. M. (2015). Developing Preservice Teachers' Self-Efficacy through Field-Based Science Teaching Practice with Elementary Students. *Research in Higher Education Journal*, 27.
- Gazit, E., Yair, Y. y Chen, D. (2005). Emerging conceptual understanding of complex astronomical phenomena by using a virtual solar system. *Journal of Science Education and Technology*, 14(5), 459-470.
<https://doi.org/10.1007/s10956-005-0221-3>
- Glavas, A. y Stascik, A. (2017). Enhancing positive attitude towards mathematics through introducing Escape Room games. En *Mathematics education as a science and a profession* (pp. 281-293).
- Gómez-Urquiza, J. L., Gómez-Salgado, J., Albendín-García, L., Correa-Rodríguez, M., González-Jiménez, E. y Cañadas-De la Fuente, G. A. (2019). The impact on nursing students' opinions and motivation of using a «Nursing Escape Room» as a teaching game: a descriptive study. *Nurse education today*, 72, 73-76.
<https://doi.org/10.1016/j.nedt.2018.10.018>
- González-Gómez, D., Jeong, J. S., Gallego-Picó, A. y Cañada-Cañada, F. (2018). Influencia de la metodología flipped en las emociones sentidas por estudiantes del Grado de Educación Primaria en clases de ciencias dependiendo del bachillerato cursado. *Educación Química*, 29, 77-88.
<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63698>
- Hernández-Serrano, M. J. y Muñoz-Rodríguez, J. M. (2020). Interés por las disciplinas STEM y metodologías para su enseñanza. Percepción de estudiantes de educación secundaria y docentes en formación. *Educar*, 56(2), 369-386.
<https://doi.org/10.5565/rev/educar.1065>

- Hugerat, M. (2016). How teaching science using project-based learning strategies affects the classroom learning environment. *Learning Environments Research*, 19(3), 383-395.
<https://doi.org/10.1007/s10984-016-9212-y>
- Jack, B. M. y Lin, H. S. (2017). Making learning interesting and its application to the science classroom. *Studies in Science Education*, 53(2), 137-164. <https://doi.org/10.1080/03057267.2017.1305543>
- Jeong, J. S., González-Gómez, D. y Cañada-Cañada, F. (2016). Students' perceptions and emotions toward learning in a flipped general science classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 25(5), 747-758.
<https://doi.org/10.1007/s10956-016-9630-8>
- Jeong, J. S., González-Gómez, D., Gallego-Picó, A. y Bravo, J. C. (2019a). Effects of active learning methodologies on the students' emotions, self-efficacy beliefs and learning outcomes in a science distance learning course. *Journal of Technology and Science Education*, 9(2), 217-227.
<http://dx.doi.org/10.3926/jotse.530>
- Jeong, J. S., González-Gómez, D. y Cañada-Cañada, F. (2019b). How does a flipped classroom course affect the affective domain toward science course? *Interactive Learning Environments*, 1-13.
<https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1636079>
- Kazempour, M. S. (2014). I can't teach science! A case study of an elementary pre-service teacher's intersection of science experiences, beliefs, attitude, and self-efficacy. *International Journal of Environmental and Science Education*, 9(1), 77-96.
<https://doi.org/10.12973/ijese.2014.204a>
- Kuo, H. C., Pan, A. J., Lin, C. S. y Chang, C. Y. (2022). Let's Escape! The Impact of a Digital-Physical Combined Escape Room on Students' Creative Thinking, Learning Motivation, and Science Academic Achievement. *Education Sciences*, 12(9), 615.
<https://doi.org/10.3390/educsci12090615>
- Lombardi, D., Shipley, T. F. y Astronomy Team, Biology Team, Chemistry Team, Engineering Team, Geography Team, Geoscience Team, and Physics Team. (2021). The curious construct of active learning. *Psychological Science in the Public Interest*, 22(1), 8-43.
<https://doi.org/10.1177/152910062097397>
- Malinen, O. P., Savolainen, H. y Xu, J. (2012). Beijing in-service teachers' self-efficacy and attitudes towards inclusive education. *Teaching and Teacher Education*, 28(4), 526-534.
<https://doi.org/10.1016/j.tate.2011.12.004>
- Martínez-Martí, M. L., Avia, M. D. y Hernández-Lloreda, M. J. (2010). The effects of counting blessings on subjective well-being: A gratitude intervention in a Spanish sample. *The Spanish journal of psychology*, 13(2), 886-896.
<https://doi.org/10.1017/S1138741600002535>
- Miller, B., Linder, F. y Mebane, W. R. (2020). Active learning approaches for labeling text: review and assessment of the performance of active learning approaches. *Political Analysis*, 28(4), 532-551.
<https://doi.org/10.1017/pan.2020.4>
- Miller, K., Sonnert, G. y Sadler, P. (2018). The influence of students' participation in STEM competitions on their interest in STEM careers. *International Journal of Science Education*, 8, 95-114.
<https://doi.org/10.1080/21548455.2017.1397298>
- Mullins, J. K. y Sabherwal, R. (2020). Gamification: A cognitive-emotional view. *Journal of Business Research*, 106, 304-314.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.09.023>
- Nicholson, S. (2015). Peeking behind the locked door: A survey of escape room facilities. <http://sco.ttnicholson.com/pubs/erfacwhite.pdf>

- Osborne, J. y Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections*. The Nuffield Foundation.
- Otero, M. R. (2006). Emociones, sentimientos y razonamientos en Didáctica de las Ciencias. *Revista electrónica de investigación en educación en ciencias*, 1(1), 24-53.
- Pekrun, R., Goetz, T., Frenzel, A. C., Barchfeld, P. y Perry, R. P. (2011). Measuring emotions in students' learning and performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ). *Contemporary educational psychology*, 36(1), 36-48.
<https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2010.10.002>
- Prieto, J. M. (2020). Una revisión sistemática sobre gamificación, motivación y aprendizaje en universitarios. *Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 32(1), 73-99.
<https://doi.org/10.14201/teri.20625>
- Pronovost, M., Cormier, C., Potvin, P. y Riopel, M. (2016). Interest and disinterest from college students for higher education in sciences. En *New developments in science and technology education* (pp. 41-49). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-22933-1_5
- Ravinder, E. B. y Saraswathi, A. B. (2020). Literature Review of Cronbach alpha coefficient (A) And McDonald's Omega Coefficient (Ω). *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(6), 2943-2949.
- Reed, J. M. y Ferdig, R. E. (2021). Gaming and anxiety in the nursing simulation lab: A pilot study of an escape room. *Journal of Professional Nursing*, 37(2), 298-305.
<https://doi.org/10.1016/j.profnurs.2021.01.006>
- Sánchez-Ruiz, L. M., López-Alfonso, S., Moll-López, S., Moraño-Fernández, J. A. y Vega-Fleitas, E. (2022). Educational Digital Escape Rooms Footprint on Students' Feelings: A Case Study within Aerospace Engineering. *Information*, 13(10), 478.
<https://doi.org/10.3390/info13100478>
- Schlegel, R. J., Chu, S. L., Chen, K., Deurmeyer, E., Christy, A. G. y Quek, F. (2019). Making in the classroom: Longitudinal evidence of increases in self-efficacy and STEM possible selves over time. *Computers & Education*, 142, 103637.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103637>
- Slater, E. V., Norris, C. M. y Morris, J. E. (2021). The validity of the science teacher efficacy belief instrument (STEBI-B) for postgraduate, pre-service, primary teachers. *Helijon*, 7(9), e07882. <https://doi.org/10.1016/j.helijon.2021.e07882>
- Solbes, J. (2011). ¿Por qué disminuye el alumnado de ciencias? *Alambique*, 67, 53-61.
- Susskind, J. E. (2005). PowerPoint's power in the classroom: Enhancing students' self-efficacy and attitudes. *Computers & education*, 45(2), 203-215.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2004.07.005>
- Tobin, K. (2010). Reproducir y transformar la didáctica de las ciencias en un ambiente colaborativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 301-314.
<https://doi.org/10.5565/rev/ec/v28n3.3>
- Tracey, T. J. G. (2002). Development of interests and competency beliefs: A 1-year longitudinal study of fifth to eight grade students using the ICA-R and structural equation modeling. *Journal of Counseling Psychology*, 49(2), 148-163.
<https://doi.org/10.1037/0022-0167.49.2.148>
- Vázquez, A. y Manassero, M. (2011). El descenso de las actitudes hacia la ciencia de chicos y chicas en la educación obligatoria. *Ciência & Educação*, 17(2), 249-268.
<https://doi.org/10.1590/S1516-73132011000200001>

- Villalustre, L. y del Moral, M. E. (2015). Gamificación: Estrategia para optimizar el proceso de aprendizaje y la adquisición de competencias en contextos universitarios. *Digital Education Review*, 27, 13-31.
<https://doi.org/10.1344/der.2015.27.13-31>
- von Kotzebue, L., Zumbach, J. y Brandlmayr, A. (2022). Digital Escape Rooms as Game-Based Learning Environments: A Study in Sex Education. *Multimodal Technologies and Interaction*, 6(2), 8.
<https://doi.org/10.3390/mti6020008>
- Yıldırım, İ. y Şen, S. (2019). The effects of gamification on students' academic achievement: A meta-analysis study. *Interactive Learning Environments*, 1-18.
<https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1636089>
- Yllana-Prieto, F., Jeong, J. S. y González-Gómez, D. (2021). An online-based edu-escape room: A comparison study of a multidimensional domain of PSTs with flipped sustainability-stem contents. *Sustainability*, 13(3), 1032.
<https://doi.org/10.3390/su13031032>
- Yllana-Prieto, F., González-Gómez, D. y Jeong, J. S. (2023). Influence of two educational Escape Room–breakout tools in PSTs' affective and cognitive domain in STEM (science and mathematics) courses. *Heliyon*, e12795.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12795>

Teaching Scientific Content through a Methodology Based on Escape Room

Félix Yllana-Prieto, David González-Gómez, Jin Su Jeong

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Matemáticas.

Facultad de Formación del Profesorado, Universidad de Extremadura (España)

feyllanap@unex.es, dggomez@unex.es, jin@unex.es

Science teaching has focused mainly on the learning of theoretical content, which, together with its complexity, has led to students' rejection and lack of interest in scientific disciplines. Hence, it is essential to act from the earliest educational stages to avoid these inconveniences. The interest shown by students in science is influenced by the affective dimension that is generated during the teaching and learning process of these contents. Therefore, it is necessary to teach prospective teachers how they can deal with the teaching and learning process not only from a cognitive point of view, but also from an emotional perspective. Concerning the teaching and learning process, it has been demonstrated that active learning methodologies are more effective than traditional approaches, which remain away from everyday life. In this framework, the use of escape rooms as gamifying tools applied in educational contexts can reinforce the learning of scientific content, as well as the interest and emotions of students.

The aim of this research is to analyze the impact that an escape room which is designed to work on scientific content has on the affective and cognitive dimensions of trainee teachers during two consecutive academic years. Both the affective and cognitive dimensions of learning were evaluated before and after the intervention. For this purpose, the variables «emotions» (positive and negative), «self-efficacy and attitudes» towards science, and «performance» of theoretical content were measured prior to and after the activity.

According to the results obtained in this research, a significant increase is observed in most of the positive emotions analyzed (joy, satisfaction, enthusiasm, fun, confidence, and pride) after implementing the escape room. Regarding negative emotions, a significant decrease is observed in the intensity with which trainee teachers feel uncertainty, boredom, and fear after completing the intervention. However, there is also an increase in nervousness, frustration, and anxiety. This is usual in this type of activities. Regarding the results concerning students' self-efficacy and attitudes, there is an overall significant increase when analyzing the students' responses after finishing the escape room. The results found with regards to the students' performance show that the mean score increases significantly by 2.35 points (pre-test mean 5.46 out of 10, post-test mean 7.81 out of 10) after the intervention. In addition, there are differences in some variables considering the pathway of baccalaureate studied by the participants before university. The intervention seems to be more effective with theoretical content when applied to students from the non-science path, which is important because most of the students taking the Primary Education Degree come from a non-science pre-university pathway. Likewise, there are higher values of negative emotions such as nervousness, fear and frustration in students coming from a non-scientific path compared to those who studied a scientific one.

The escape room designed to teach scientific content proves to be effective and beneficial for the affective and cognitive dimensions of trainee teachers because these results remain for two consecutive academic years.



Un instrumento para evaluar la comprensión de tablas estadísticas en educación secundaria

A Tool to Assess the Understanding of Statistical Tables in Secondary Education

Jocelyn D. Pallauta

Departamento de Ciencias Exactas, Universidad de Los Lagos, Osorno, Chile
jocelyn.diaz@ulagos.cl

Carmen Batanero

Facultad de Ciencias de la Educación, Grupo FQM126, Universidad de Granada, Granada, España
batanero@ugr.es

María Magdalena Gea

Facultad de Ciencias de la Educación, Departamento de Didáctica de la Matemática, Universidad de Granada, Granada, España
mmgea@ugr.es

RESUMEN • Las tablas estadísticas se utilizan con frecuencia en la Educación Secundaria Obligatoria (ESO), pero son escasos los instrumentos de evaluación que engloben las diferentes variables involucradas en su comprensión. Para cubrir esta carencia, se presenta un cuestionario que considera las principales variables y destrezas identificadas en la investigación sobre las tablas estadísticas incluidas en los libros de texto y su comprensión, junto a las directrices curriculares. Se describe el proceso de construcción y validación del instrumento y se aportan los índices de dificultad de los ítems, la fiabilidad del cuestionario y el efecto de las variables de tarea en su aplicación a una muestra de 128 estudiantes españoles de 3.º de la ESO. Se complementa con la descripción de los principales conflictos semióticos identificados y del nivel de lectura alcanzado en los ítems.

PALABRAS CLAVE: Tablas estadísticas; Evaluación de la comprensión; Construcción de un cuestionario; Educación Secundaria Obligatoria.

ABSTRACT • Statistical tables are frequently used in Secondary Education (ESO), but there are few assessment instruments that cover the different variables involved in understanding them. In order to fill this gap, we present a questionnaire that considers the main variables and skills identified in the research on statistical tables in textbooks and their comprehension together with curricular guidelines. The process of construction and the validation of the instrument are described, and the indices of difficulty, the reliability of the questionnaire and the effect of the task variables in its application to a sample of 128 Spanish students in the 3rd year of ESO are provided. This is complemented by a description of the main semiotic conflicts identified and the reading level reached on the items.

KEYWORDS: Statistical tables; Assessment of understanding; Questionnaire construction; Secondary education.

Recepción: abril 2023 • Aceptación: septiembre 2023 • Publicación: noviembre 2023

INTRODUCCIÓN

Las tablas estadísticas son esenciales en el resumen, la presentación y el análisis de datos (Estrella y Estrella, 2020; Estrella et al., 2017; Pallauta, Gea et al., 2021), y ampliamente utilizadas (Feinberg y Wainer, 2011). Por ello, la competencia en su uso es parte de la cultura requerida para la comprensión de la información en los medios de comunicación y la toma de decisiones (Engel, 2017; Johannssen et al., 2021; Rodríguez-Muñiz et al., 2020; Sharma, 2017).

Esta necesidad se recoge en el currículo español para la Educación Primaria (MEFP, 2022a), que incluye en el sentido estocástico los siguientes saberes básicos:

Estrategias para la realización de un estudio estadístico sencillo: formulación de preguntas, recogida, registro y organización de datos cualitativos y cuantitativos procedentes de diferentes experimentos. Tablas de frecuencias absolutas y relativas: interpretación (MEFP, 2022a, p. 24502).

En Educación Secundaria Obligatoria (ESO) (12 a 15 años) se estudian las tablas estadísticas de una o dos variables, incorporando frecuencias (absolutas, relativas, porcentuales, acumuladas), o datos agrupados en intervalos de clase. De primer a tercer curso (12 a 14 años) se plantea: «Análisis e interpretación de tablas y gráficos estadísticos de variables cualitativas, cuantitativas discretas y cuantitativas continuas en contextos reales» (MEFP, 2022b, p. 41734). En el cuarto curso (15 años) se abordan las tablas de contingencia y las frecuencias marginales y condicionadas (MEFP, 2022b).

Aunque las tablas estadísticas tienen una alta presencia en los libros de texto de la ESO (Pallauta, Gea et al., 2021), las investigaciones con estudiantes de este nivel educativo señalan dificultades en su comprensión (Castellaro y Roselli, 2020; Gabucio et al., 2010; Martí et al., 2011; Pallauta et al., 2022; Sharma, 2006). El propósito de este estudio es presentar un instrumento de evaluación de dicha comprensión junto a resultados cuantitativos y cualitativos de su aplicación a una muestra de estudiantes españoles de 3.º de la ESO.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El trabajo se basa en elementos del enfoque ontosemiótico (EOS), los diferentes tipos de tablas estadísticas y los niveles de lectura de la información estadística.

Elementos del enfoque ontosemiótico

En el EOS, el significado de un objeto matemático se concibe como el sistema de prácticas que realiza una persona (significado personal), o se comparten en una institución (significado institucional) para resolver las situaciones problema de las que emerge el objeto (en este caso, la tabla estadística) (Godino et al., 2019; 2022). En este marco teórico, la comprensión personal es la apropiación del significado institucional del objeto por parte del individuo, y constituye un proceso compuesto y progresivo.

En este estudio utilizamos la idea de *conflicto semiótico* (Godino, 2002) entendida como la disparidad de los significados atribuidos a una expresión por dos sujetos (personas o instituciones). Dichos conflictos semióticos provocan errores en los estudiantes, que se explican por una incorrecta conexión (función semiótica) entre la expresión (el objeto o signo inicial) y un contenido (el objeto final, lo que representa). En esta línea, cualquier objeto matemático (concepto, propiedad, argumento, procedimiento, etc.) puede aparecer como expresión o contenido en una función semiótica (Godino et al., 2019).

Los conflictos semióticos pueden clasificarse en *conceptuales*, relacionados con la interpretación errónea de conceptos o propiedades, *procedimentales*, asociados a la confusión de los pasos para llevar a cabo un procedimiento, y *notacionales*, vinculados con el lenguaje matemático (símbolos, términos matemáticos, tablas, gráficos u otro lenguaje matemático).

Tipos de tablas estadísticas y su complejidad semiótica

En la investigación didáctica se diferencian varios tipos de tablas estadísticas, que cumplen funciones diferentes (Duval, 2003; Estrella et al., 2017; Lahanier-Reuter, 2003) y varían en el número de variables y valores representados. En trabajos anteriores se han subdividido las tablas estadísticas según los objetos matemáticos representados (Gea et al., 2022; Pallauta et al., 2023) de la siguiente manera:

- *Tabla de datos*. Se utiliza para el registro de los valores de una o más variables, generalmente, tal como se han recogido sin una operación lógica de clasificación o de ordenación.
- *Tabla de distribución de una variable*. Presenta la distribución de frecuencia de una variable estadística cualitativa o cuantitativa y puede ser de tres tipos:
 - *Tablas de distribución de frecuencias ordinarias*. Incorporan frecuencias absolutas, relativas o porcentajes.
 - *Tablas de distribución de frecuencias con frecuencias acumuladas*. Además de las anteriores, incluyen frecuencias acumuladas, por lo que requieren trabajar con desigualdades.
 - *Tablas con datos agrupados en intervalos de clase*. Consideran la agrupación de los valores de la variable en intervalos, para frecuencias ordinarias y acumuladas. Se trabaja con intervalos, sus extremos y marcas de clase.
- *Tabla de contingencia*. Representa la distribución conjunta de una variable estadística bidimensional e involucra la frecuencia conjunta, marginal y condicional, así como la asociación entre las variables. Se puede subdividir en dos tipos (Pallauta et al., 2023):
- *Tabla de contingencia de frecuencias ordinarias*. Se representan frecuencias absolutas, relativas o porcentuales.
- *Tabla de contingencia con datos agrupados*. Se considera la agrupación de los valores de la variable en intervalos de clase, para cualquier tipo de frecuencia.

Niveles de lectura

A partir de la información proporcionada por la tabla o gráfico estadístico, se pueden plantear preguntas con dificultad creciente. Este trabajo considera los niveles de lectura propuestos por Friel et al. (2001) utilizados en otros estudios sobre interpretación de tablas estadísticas (Castellaro y Roselli, 2020; Gea et al., 2022; Gabucio et al., 2010), que se describen a continuación:

- L1. *Leer los datos*. Se pide identificar elementos aislados de la tabla o el gráfico, sin realizar operaciones con los datos. Por ejemplo, hallar la frecuencia de un valor de la variable.
- L2. *Lectura entre los datos*. Implica la comparación de los datos representados en la tabla, o realizar operaciones aritméticas con ellos. Por ejemplo, determinar la mediana de una distribución.
- L3. *Lectura más allá de los datos*. Se solicita información que no aparece directamente representada y no se puede extraer aritméticamente. Un ejemplo es interpolar o extrapolar un valor no representado.
- L4. *Leer detrás de los datos*. Supone no solo leer el gráfico o la tabla, sino también realizar una valoración crítica de su contenido, las fuentes de las que se ha extraído la información, o las afirmaciones que se hacen sobre su contenido.

ANTECEDENTES DEL TRABAJO

Son escasas las investigaciones que utilizan cuestionarios para analizar habilidades ligadas a las tablas estadísticas con estudiantes de secundaria. Así, Gabucio et al. (2010) proponen un cuestionario de 12

ítems de opción múltiple sobre una única tabla de doble entrada a 112 estudiantes españoles de 5.º y 6.º curso de primaria (11-12 años) y 88 de 1.º y 2.º de secundaria (13-14 años). Los ítems están orientados a evaluar: *a*) la comprensión de la estructura de la tabla y de sus elementos; *b*) lectura directa de los datos (nivel L1 de Friel et al.; 2001); *c*) inferencia de datos no representados explícitamente en la tabla, que combina L2 y L3 de Friel et al. (2001); y *d*) interpretación global, equivalente al nivel L4 de Friel et al. (2001). En la lectura directa el porcentaje de aciertos osciló entre el 80,5 % y el 89,5 %, mientras que en la inferencia de datos alcanzó solo entre el 29 % y el 47 %.

Dicho estudio fue replicado por Castellaro y Roselli (2020) con 90 estudiantes argentinos de 6.º y 7.º curso (12-13 años), en el que se comparó las respuestas desarrolladas individualmente y por parejas. Los resultados no evidenciaron mejora alguna en las preguntas de mayor nivel de lectura, como la inferencia de datos, y el trabajo en parejas no mostró ninguna mejora respecto al individual. Ninguno de los dos estudios analiza la comprensión de otro tipo de tablas o actividades diferentes a la lectura.

Jiménez-Díaz et al. (2022) analizan la construcción de un cuestionario compuesto de 10 ítems de respuesta abierta, adaptados de pruebas estandarizadas nacionales e internacionales y libros de texto para evaluar la comprensión de tablas estadísticas en estudiantes chilenos de 8.º curso (13 años). Los autores no indican si se hizo previamente un estudio del contenido sobre tablas estadísticas en los libros de texto. En las tareas propuestas consideran el tipo de tabla, el nivel de lectura y la actividad requerida, aunque no cruzan entre ellos los posibles valores de estas variables, sino que únicamente analizan qué valores toman en cada ítem. Describen el proceso de construcción y muestran los resultados del juicio de expertos utilizado en la validación del cuestionario. Sin embargo, no aportan información sobre sus características psicométricas ni de la aplicación del cuestionario.

En este trabajo completamos los anteriores presentando un cuestionario construido a partir de un análisis de libros de texto españoles y de los antecedentes de la investigación, describiendo su construcción, aportando un análisis tanto cuantitativo, de sus características psicométricas, como cualitativo (centrado en los niveles de lectura alcanzados y los conflictos semióticos identificados) en su aplicación a una muestra de 128 estudiantes españoles de 3.º de la ESO.

CUESTIONARIO Y SU CONSTRUCCIÓN

El cuestionario utilizado se presenta en el Anexo y consta de nueve ítems, cada uno con una o varias preguntas abiertas. Su construcción se basó en los estándares de evaluación educativa y psicológica de la American Psychological Association (Eignor, 2013) y siguió un proceso de varias etapas (Muñiz y Fonseca-Pedrero, 2019), que se describen a continuación.

Variables consideradas en el cuestionario y formación de un banco de ítems

Puesto que la finalidad del cuestionario era evaluar el significado personal de los estudiantes sobre la tabla estadística, se comenzó identificando el significado institucional de referencia (Godino et al., 2019) de dicho objeto en la ESO. Para ello, se realizó un análisis detallado de las tablas estadísticas en las directrices curriculares españolas (MECD, 2014; 2015) que habían seguido los estudiantes de la muestra, cuyo contenido sobre tablas estadísticas es similar al del currículo actual (MEFP, 2022a; 2022b). Además, se analizó sistemáticamente la presentación de las tablas estadísticas en series completas de libros de texto españoles (Gea et al., 2022; Pallauta, Gea, Batanero, et al., 2021). Estos estudios preliminares permitieron identificar las principales variables, es decir, los aspectos que varían en los problemas sobre tablas estadísticas adaptados a estos estudiantes y que pueden influir en su dificultad. Las variables consideradas en el diseño del cuestionario fueron: *a*) nivel de lectura requerido para

resolver las tareas propuestas, *b*) tipo de tabla estadística, *c*) objetos matemáticos representados, y *d*) tipo de tarea solicitada al estudiante, que podía ser una de las siguientes:

- *Leer e interpretar.* A partir de una tabla, se pide extraer información o interpretar su contenido.
- *Traducir o construir una tabla.* Confección de una tabla estadística a partir de datos proporcionados en un listado, un gráfico o verbalmente.
- *Completar la tabla.* Finalizar una tabla parcialmente construida, generalmente calculando algunas frecuencias.
- *Argumentar.* Justificar procedimientos o afirmaciones sobre la información presentada en la tabla estadística.

En la tabla 1 se presenta la distribución de los ítems del cuestionario según las variables de tipo de tarea solicitada y nivel de lectura (Friel et al., 2001) requerido para resolverla. Traducir o construir, argumentar o completar requieren adicionalmente la lectura de la tabla.

Tabla 1.
Distribución de ítems por tipo de tarea y nivel de lectura

Tipo de tarea		Nivel de lectura			
		L1	L2	L3	L4
Leer /interpretar		2a, 2b	2c, 2d, 2e, 6b, 6c		8a, 8b, 8c
Traducir	Verbal a tabla		9		
	Listado a tabla		1a, 1b		
	Gráfico a tabla		3a, 6a		
Argumentar				5a, 5b	3b, 3c, 7
Completar una tabla			4a, 4b, 4c		

En la tabla 2, se distribuyen los ítems según las variables de tipo de tabla (Lahanier-Reuter, 2003) y objetos matemáticos representados (Gea et al., 2022; Pallauta et al., 2023). Se incluyó un mayor número de ítems con tablas que incluyeran frecuencias absolutas, pues las frecuencias acumuladas y los intervalos de clase implican una mayor dificultad y aparecen con menor frecuencia en los libros de texto (Pallauta, Arteaga et al., 2021).

Tabla 2.
Distribución de ítems por tipo de tabla y objetos matemáticos

Tipo de tabla	Objetos matemáticos				
	Valores	Frecuencias absolutas	Frecuencias relativas	Frecuencias acumuladas	Intervalos de clase
Datos	7				
Distribución de una variable		1a, 2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 3a, 3b, 3c, 4b	1b, 5a, 5b	4a, 4c	8a, 8b, 8c
Doble entrada		6a, 6b, 6c			9

En el diseño del cuestionario se contempló, además, que el número de ítems no fuese excesivo y que las preguntas recogieran las dificultades de los estudiantes reportadas por las investigaciones previas (por ejemplo, Álvarez et al., 2020; Gabucio et al., 2010). Una vez definidas las variables del cuestionario, se confeccionó un banco de ítems que recopilaba posibles ejemplos de los libros de texto

de ESO e investigaciones previas que cumpliesen con las especificaciones contenidas en las tablas 1 y 2 para cada ítem.

Validez de contenido del cuestionario

La construcción del cuestionario incluyó un proceso de validación de su contenido similar al utilizado por Vásquez et al. (2020). Para ello, una vez realizada la planificación de los ítems que se incluirían en el instrumento, se seleccionaron los que constituyen el cuestionario mediante el juicio de expertos. En dicho proceso de validación participaron once expertos con amplia experiencia investigadora, docente y de formación de profesores en didáctica de la estadística de distintos países (Argentina, Chile, España, México y Portugal). Cada uno recibió el cuestionario e instrucciones para valorar tres propuestas de ítems de acuerdo con las variables consideradas en el diseño (tablas 1 y 2). La valoración se realizó mediante una escala de Likert con puntuaciones del 1 al 5 (1: Nada relevante para el propósito del ítem y 5: Muy relevante para el propósito del ítem), que permiten una adecuada precisión de las valoraciones (Hernández-Baeza et al., 2000).

Para cada ítem del cuestionario, se seleccionó aquella propuesta que presentase una mayor puntuación mediana y media, además de una menor desviación típica en la valoración de los expertos. Adicionalmente, se aceptaron las sugerencias de mejora de redacción o incorporación de nuevas preguntas, con lo que se obtuvo la versión definitiva del cuestionario (Anexo). La tabla 3 presenta los resultados obtenidos en los ítems finalmente incluidos en el cuestionario: se observa que las puntuaciones fueron, en general, altas, con mediana y media de 4 o superior.

Tabla 3.
Frecuencia de puntuación (1-5) por los expertos a cada ítem

Ítem	1	2	3	4	5	Media	Mediana	D. típica
1				4	7	4,6	5	0,51
2		1	1	6	3	4	4	0,89
3			2	5	4	4,2	4	0,75
4			2	3	6	4,4	5	0,81
5		1		6	4	4,2	4	0,87
6				4	7	4,6	5	0,51
7				3	8	4,7	5	0,47
8				3	8	4,7	5	0,47
9		1		1	9	4,6	5	0,92

RESULTADOS DE UN ESTUDIO INICIAL

Finalizado el cuestionario, se realizó una prueba inicial. A continuación, se describe la muestra participante y los resultados.

Muestra participante

La muestra es de conveniencia e incluyó 128 estudiantes españoles de 3.º curso (14-16 años) de dos centros públicos de Educación Secundaria de Andalucía, en los que se contó con el consentimiento de profesores y directores, a los que se agradece su colaboración.

La aplicación del instrumento se realizó a inicios del curso escolar 2020-2021 durante los meses de septiembre y octubre. Los estudiantes completaron presencialmente el cuestionario de manera individual y escrita, durante una de las sesiones de la asignatura de matemáticas, con la asistencia de sus profesores, a quienes se les explicó la finalidad de la evaluación y se otorgó un tiempo de dos horas para completarlos.

Tabla 4.
Distribución de la muestra según centro educativo y género

Centro educativo	3.º ESO		Total N = 128
	Hombre N = 70	Mujer N = 58	
1	41,4	50,0	45,3
2	58,6	50,0	54,7

La tabla 4 presenta la distribución de la muestra, según el género y el centro educativo, codificados como 1 y 2. Aunque hubo una participación ligeramente mayor de hombres (54,7 %) que de mujeres (45,3 %), la distribución según el género fue similar.

Resultados cuantitativos

La tabla 5 presenta los índices de dificultad de los ítems del cuestionario, es decir, la proporción de participantes que responden de manera correcta entre los sujetos que lo intentaron (Barbero et al., 2015; Martínez et al., 2014) y su desviación típica.

Tabla 5.
Índice de dificultad de los ítems (proporción de respuestas correctas)

Ítem	Nivel de lectura	Tipo de tabla	Contenido	3.º ESO	
				Proporción de aciertos	D. típica
1.a	L2	Frecuencias ordinarias	Cálculo frecuencia absoluta	0,49	0,50
1.b	L2		Cálculo frecuencia relativa	0,15	0,36
2.a	L1		Lectura literal	0,93	0,26
2.b	L1		Lectura inversa	0,98	0,13
2.c	L2		Identificar moda	0,97	0,18
2.d	L2		Lectura del total	0,92	0,27
2.e	L2		Comparar frecuencias	0,83	0,38
3.a	L2		Traducir pictograma	0,77	0,42
3.b	L4		Lectura crítica	0,39	0,49
3.c	L4		Decidir críticamente	0,30	0,46
4.a	L2	Frecuencias acumuladas	Cálculo frecuencia acumulada	0,11	0,31
4.b	L2		Determinar moda	0,27	0,45
4.c	L2		Lectura frecuencia acumulada	0,09	0,28
5.a	L3	Frecuencias ordinarias	Predecir datos	0,21	0,41
5.b	L3		Generalizar datos	0,15	0,36

Ítem	Nivel de lectura	Tipo de tabla	Contenido	3.º ESO	
				Proporción de aciertos	D. típica
6.a	L2	Doble entrada con frecuencias ordinarias	Traducir gráfico barras dobles	0,51	0,50
6.b	L2		Lectura frecuencia marginal	0,86	0,35
6.c	L2		Lectura frecuencia condicional	0,84	0,37
7	L4	Datos	Argumentar a partir de datos	0,52	0,50
8.a	L4	Frecuencias absolutas, acumuladas e intervalos	Lectura frecuencia acumulada	0,16	0,37
8.b	L4		Lectura suma de frecuencias	0,10	0,30
8.c	L4		Análisis de tendencia	0,12	0,32
9	L2	Doble entrada con datos agrupados en intervalos	Traducir verbal	0,28	0,45

Se observa que los ítems más difíciles, con un índice inferior a 0,5 en todos sus apartados, fueron los ítems 4, 5, 8 y 9. Mientras que los más sencillos, con un indicador de dificultad que supera al 0,5 en cada uno de sus apartados, son los ítems 2, 6 y 7. Los ítems más sencillos, en general, requieren de los niveles L1 o L2 de lectura (Friel et al., 2001), así como tablas que representan frecuencias ordinarias. Por su parte, los ítems más difíciles requieren de niveles más sofisticados de lectura (L3 o L4) o se basan en tablas que presentan frecuencias acumuladas, datos agrupados en intervalos o que representan una variable bidimensional.

Se obtiene una distribución adecuada de índices de dificultad, desde 0,10 (ítem 8b) a 0,98 (ítem 2b), lo que permite asegurar una graduación continua de los estudiantes, de acuerdo con sus conocimientos sobre las tablas estadísticas.

Se analizó también la discriminación de los ítems, permitiendo separar a los estudiantes de acuerdo con sus conocimientos sobre el tema en una escala homogénea y proporcionar evidencias de *validez discriminante del cuestionario*. Para ello, se utilizó como indicador de discriminación la diferencia de la proporción de estudiantes que aciertan el ítem entre los grupos de mejor y peor desempeño en el cuestionario (Martínez et al., 2014), empleando el contraste de hipótesis de diferencia de medias en muestras independientes. Se seleccionó como grupo superior el de los estudiantes situados por encima del segundo tercil de la puntuación total en el cuestionario, y como grupo inferior los que se sitúan debajo del primer tercil. Los resultados (tabla 6) muestran que la mayoría de los ítems tienen una fuerte discriminación (valor $p < 0,0001$). Se exceptúa el ítem 2, con sus diferentes apartados, cuyas tareas solo requerían un nivel de lectura L1 o L2, lo que resultó muy sencillo y fue resuelto por la mayor parte de los participantes.

Además, se calculó el coeficiente de fiabilidad alfa de Cronbach, para el que se obtuvo el valor 0,787, que es razonable, teniendo en consideración que se evalúan conocimientos complejos que no son unidimensionales (Kaplan y Saccuzzo, 2017).

Tabla 6.
Discriminación de los ítems

Ítem	Nivel lectura	Tipo de tabla	Grupo 1		Grupo 2		Valor t	Valor p
			Media	E. típico	Media	E típico		
1.a	L1	Frecuencias ordinarias	0,21	0,064	0,70	0,071	-5,059	0,000**
1.b	L2		0,00	0,000	0,33	0,072	-4,503	0,000**
2.a	L1		0,90	0,046	0,98	0,023	-1,400	0,167
2.b	L1		0,95	0,033	1,00	0,000	-1,432	0,160
2.c	L2		0,93	0,040	1,00	0,040	-1,776	0,083
2.d	L2		0,83	0,058	0,95	0,032	-1,803	0,076
2.e	L2		0,62	0,076	0,91	0,045	-3,268	0,002**
3.a	L2		0,48	0,078	1,00	0,000	-6,716	0,000**
3.b	L4		0,12	0,051	0,72	0,069	-7,021	0,000**
3.c	L4		0,05	0,033	0,53	0,077	-5,812	0,000**
4.a	L2	Frecuencias acumuladas	0,00	0,000	0,30	0,071	-4,266	0,000**
4.b	L2		0,10	0,046	0,51	0,077	-4,641	0,000**
4.c	L2		0,00	0,000	0,26	0,067	-3,800	0,000**
5.a	L3	Frecuencias ordinarias	0,10	0,046	0,40	0,075	-3,400	0,001**
5.b	L3		0,00	0,000	0,37	0,075	-4,989	0,000**
6.a	L2	Doble entrada, frecuencias ordinarias	0,31	0,072	0,67	0,072	-3,571	0,001**
6.b	L2		0,67	0,074	0,95	0,032	-3,564	0,001**
6.c	L2		0,67	0,074	0,93	0,039	-3,158	0,002**
7	L4	Datos	0,07	0,040	0,79	0,063	-9,648	0,000**
8.a	L4	Frecuencias absolutas, acumuladas e intervalos	0,00	0,000	0,44	0,077	-5,766	0,000**
8.b	L4		0,00	0,000	0,28	0,069	-4,032	0,000**
8.c	L4		0,00	0,000	0,30	0,071	-4,266	0,000**
9	L2	Doble entrada con datos agrupados en intervalos	0,00	0,000	0,60	0,075	-8,015	0,000**

Efecto de las variables del cuestionario

Se estudió también el efecto de las variables sobre la dificultad de las tareas propuestas. En la tabla 7 se presenta la dificultad media (y su desviación típica) de las tareas que comparten el mismo tipo de tabla o el mismo tipo de frecuencias. Se observa que, paradójicamente, las tablas de doble entrada fueron más sencillas que la tabla de datos, pues la proporción media de aciertos (dificultad media) es mayor que en las tablas de datos o tablas de distribución de una variable. Esto se explicaría porque desde la primaria se trabaja la lectura y construcción de tablas de doble entrada, además de que en dichas tablas solo se representaron frecuencias absolutas. Asimismo, las frecuencias absolutas presentan un menor índice de dificultad que las frecuencias relativas, acumuladas y de intervalos de clase, que resultaron más difíciles, como era de esperar, al ser objetos matemáticos más complejos.

Tabla 7.
Comparación por tipo de tabla y objeto representado

<i>Tipo de tabla</i>	<i>Dificultad media</i>	<i>D. típica</i>	<i>Objeto matemático representado</i>	<i>Dificultad media</i>	<i>D. típica</i>
Datos	0,3854	0,33317	Frecuencias absolutas	0,68	0,17
Distribución de una variable	0,4565	0,15579	Frecuencias relativas	0,17	0,28
Doble entrada	0,6211	0,27347	Frecuencias acumuladas	0,10	0,29
			Intervalos de clase	0,17	0,26

Por otra parte, en la tabla 8 se aprecia que el tipo de tarea más sencillo fue la lectura de la tabla junto a la traducción de gráfico a tabla, mientras que lo más difícil consistió en completar la tabla, traducir de verbal a tabla o listado a tabla y argumentar.

Respecto al nivel de lectura, los niveles L3 y L4 son mucho más difíciles, coincidiendo con Gabucio et al. (2010), donde el índice de dificultad de los ítems que requerían de L4 alcanzó de media un 87 %, mientras que aquellos ítems que requerían de L3 tuvieron un índice de dificultad media de 53 %, 59,5 % y 71 %.

Tabla 8.
Índices medios de dificultad, según tipo de tarea

<i>Tipo de tarea</i>	<i>Dificultad Media</i>	<i>D. típica</i>	<i>Nivel de lectura</i>	<i>Dificultad media</i>	<i>D. típica</i>
Leer	0,63	0,14	L1	0,96	0,15
Traducir de verbal a tabla	0,28	0,45	L2	0,52	0,17
Traducir de listado a tabla	0,32	0,36	L3	0,18	0,34
Traducir de gráfico a tabla	0,71	0,29	L4	0,26	0,25
Argumentar	0,31	0,27			
Completar tabla	0,16	0,28			

Los resultados fueron contrastados en el análisis de varianza de medidas repetidas que se realizó independientemente para cada variable tomándola como factor entre sujetos. Al hacer la prueba de esfericidad de Maucly se tuvo que rechazar dicha esfericidad. Por tanto, se ha utilizado para estudiar la significatividad de uno de los contrastes permitidos en este caso, en concreto la lambda de Wilks. En la tabla 9 se presentan los resultados para cada uno de los análisis realizados, que fueron estadísticamente muy significativos en todos los casos, lo que confirma la importancia de cada una de las variables incluidas en el diseño del cuestionario.

Tabla 9.
Resultados del análisis de varianza de medidas repetidas para cada una de las variables utilizando la prueba lambda de Wilks

<i>Variables</i>	<i>Valor</i>	<i>F</i>	<i>GL de hipótesis</i>	<i>GL de error</i>	<i>Sig.</i>
Tipo de tarea	0,151	138,101	5,000	123,000	0,000
Nivel de lectura	0,120	305,469 ^b	3,000	125,000	0,000
Tipo de tabla	0,645	34,687 ^b	2,000	126,000	0,000
Tipo de objeto matemático	0,098	383,601 ^b	3,000	125,000	0,000

^b Estadístico exacto

Conflictos semióticos y niveles de lectura alcanzados

El análisis cuantitativo se completó con un análisis de contenido (Andréu, 2011) para identificar los principales conflictos semióticos y los niveles de lectura alcanzados por los estudiantes en las tareas propuestas. Los principales conflictos semióticos se describen a continuación.

Conflictos conceptuales

C1. Confundir tipos de frecuencias. Se observaron en la construcción de tablas y se clasifican en:

- *C1.1. Confundir frecuencias absolutas y relativas.* Aparece en los ítems 1 (traducir de listado a tabla) y 2 (interpretar una tabla), y consiste en obtener frecuencias relativas en lugar de absolutas.
- *C1.2. Confundir frecuencias relativas y acumuladas.* En el ítem 1, algunos estudiantes, en lugar de registrar la frecuencia relativa de cada modalidad, calculan las acumuladas al igual que en Álvarez et al. (2020) (figura 1).

Insecto	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
hormiga	8	8
mariposa	2	10
abeja	2	12
Mosquito	4	16
Total	16	46

Fig. 1. Ejemplo de conflicto semiótico conceptual C1.2 en ítem 1

- *C1.3. Confundir frecuencias absolutas y acumuladas.* Advertido por Álvarez et al. (2020), se presentó en el ítem 4 (completar frecuencias absolutas y acumuladas) (figura 2).

Alojamiento de huéspedes		
Alojamiento en días	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada
1	28	28
2	50	50
3	23	23
4	20	20
5	15	25

Fig. 2. Ejemplo de conflicto semiótico conceptual C1.5 en ítem 4

C2. Confundir la frecuencia con el valor de la variable. Este conflicto, identificado por Mayén et al. (2009), se manifiesta en los ítems 2 y 4 cuando se comparan los valores de la variable en lugar de hacerlo con las frecuencias absolutas. Por ejemplo, en el ítem 2.c (*¿cuál es el sabor de yogurt que prefiere la mayoría de los niños?*), el estudiante E157 responde «8» indicando la frecuencia en lugar de la modalidad de la variable.

Conflictos procedimentales

- P1. *Confunden o clasifican incorrectamente los valores.* Se presentó en el ítem 1, en el que se registran incorrectamente las frecuencias absolutas, de modo que se alteran el total y las frecuencias relativas de cada modalidad.
- P2. *Conflicto al calcular la frecuencia relativa.* Aparece en el ítem 1 y se diferencian dos tipos:
 - P2.1. *Invierte numerador y denominador.* Como en la figura 3 (izquierda), evidencia una confusión con la definición de la frecuencia relativa y en la comprensión de la relación parte-todo (Álvarez et al., 2020).
 - P2.2. *Divide por una potencia de 10.* Por ejemplo, en la figura 3 (derecha) en lugar de dividir por el total de la muestra se divide por 10.

Insecto	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
hormiga	8	$\frac{16:8=2}{16}$
mariposa	2	$\frac{16:2=8}{16}$
abeja	2	$\frac{16:2=8}{16}$
Mosquita	4	$\frac{16:4=4}{16}$
Total	16	

Invierte numerador y denominador
Conflicto procedimental P2.1

Insecto	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa
hormiga	8	0,8
mariposa	2	0,2
abeja	2	0,2
mosquito	4	0,4
Total	16	0,16

Divide por una potencia de 10
Conflicto procedimental P2.2

Fig. 3. Ejemplos de conflictos semióticos procedimentales en ítem 1

- P3. *Conflicto en el cálculo de totales.* Pocos estudiantes calculan los totales, a pesar de registrar correctamente los valores de las frecuencias en las tablas, mientras que otros confunden el total de la muestra y el número de modalidades de la variable. Dicho conflicto se presentó en los ítems 1, 2, 6 y 9.
- P4. *Conflicto al comparar frecuencias.* Se detectó en el ítem 2.e (¿cuántos niños más prefieren el yogurt de vainilla que el de piña?), en el que los estudiantes, en lugar de comparar los valores de las frecuencias, las suman. Por ejemplo, E129 responde: «8 porque $2 + 6 = 8$ », sumando los valores de las frecuencias de las modalidades indicadas.
- P5. *Conflicto al calcular las frecuencias acumuladas.* Se presenta en el ítem 4 (completar frecuencias acumuladas), a partir de tablas donde un valor incorrecto de la frecuencia altera el resultado de la suma. Otros estudiantes confunden la frecuencia acumulada con el producto del valor de la variable por la frecuencia absoluta.
- P6. *Cálculo incorrecto de frecuencias dobles.* Cuando en el ítem 9 (traducir de verbal a tabla de doble entrada) se determinan incorrectamente los valores de las frecuencias dobles.

Conflictos notacionales

- N1. *No alcanza el nivel mínimo de lectura de los datos.* Se manifestó en los ítems 2, 3 y 6 cuando la respuesta entregada no se ajusta a la pregunta, lo que evidencia la falta de capacidad para interpretar la información. Por ejemplo, en el ítem 3 (figura 4) se copian de forma explícita los iconos del pictograma en la tabla.

Deportes preferidos por un grupo de estudiantes				
Deporte	Gimnasia	Fútbol	Básquetbol	Tenis
Cantidad de estudiantes	✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓✓✓✓✓	✓

Fig. 4. Ejemplo de conflicto semiótico notacional N1 en ítem 3

- *N2. Interpretación incorrecta de la pregunta.* Se presentó en los ítems 2 y 4 y ha sido detectado en otras investigaciones (Díaz-Levicoy et al., 2020). Un ejemplo se encuentra en el apartado 2.d (*¿a cuántos niños en total se preguntó por su sabor de yogurt preferido?*), donde E87 responde: «8 niños», señalando la frecuencia de la moda en lugar del total.
- *N3. Interpretación incorrecta del icono en el pictograma.* Se presentó en el ítem 3, al igual que Díaz-Levicoy (2018), y consiste en interpretar incorrectamente el valor de cada icono (dos unidades). En algunos casos, el icono es reemplazado por una unidad y, en otros, se interpreta como parte de la frecuencia de alguna modalidad de la variable.
- *N4. Interpreta incorrectamente las etiquetas de las modalidades de las variables.* Por ejemplo, en el ítem 6 (traducir de gráfico a tabla de doble entrada) se confunden las modalidades mujer y hombre.
- *N5. Traducción incorrecta del lenguaje verbal.* En el ítem 9, se registró incorrectamente los valores en la tabla (frecuencias dobles o totales marginales respecto a la columna) descritos verbalmente en la situación problema.

Tabla 10.
Porcentaje de conflictos semióticos identificados en los ítems

Conflictos semióticos	Ítems					
	1	2	3	4	6	9
<i>Conceptuales</i>						
C1. Confusión de tipos de frecuencias						
C1.1. Absolutas y relativas	7,8	6,3				
C1.2. Relativas y acumuladas	3,9					
C1.3. Absolutas y acumuladas				55,5		
C2. Confundir frecuencia y valor de la variable				12,5		
<i>Procedimentales</i>						
P1. Clasifica incorrectamente los valores	19,5					
P2. Conflicto de cálculo de frecuencia relativa						
P2.1. Invierte numerador y denominador	6,3					
P2.2. Divide por potencias de 10	8,6					
P3. Conflicto en el cálculo de totales	96,1	5,5			43,8	48,4
P4. Conflicto al comparar frecuencias		11,7				
P5. Conflicto cálculo de frecuencia acumulada				39,1		
P6. Cálculo incorrecto de frecuencias dobles						35,9
<i>Notacionales</i>						
N1. No alcanza una lectura mínima		2,4	1,6		4,7	
N2. Incomprensión de la pregunta		2,4		3,1		
N3. Inadecuada interpretación del icono			25,1			
N4. Inadecuada interpretación de etiquetas					10,9	
N5. Traducción incorrecta de verbal a tabla						32,0

En la tabla 10 se resumen los diversos conflictos semióticos, con lo que se nota que el conflicto procedimental P3 (cálculo de totales) es frecuente, especialmente en el ítem 1, y se podría explicar por el desconocimiento de los diversos tipos de frecuencias representados en la tabla, o las dificultades en el algoritmo de la suma (Álvarez et al., 2020). El conflicto conceptual C1.3 (confundir frecuencias absolutas y acumuladas) se presentó en el ítem 4 alcanzando un porcentaje considerable. El conflicto notacional N5 tiene una importante presencia en el ítem 9, y podría deberse a que la traducción de verbal a tabla requiere una mayor demanda cognitiva que involucra procesos de segmentación e identificación de la información para representarla en una tabla, lo que produce un quiebre en la organización lineal que distingue a los textos escritos (Martí, 2009).

Niveles de lectura

Algunos ítems planteaban diversas cuestiones, con creciente complejidad, sobre la información expuesta en la tabla. Para analizar las respuestas a estas cuestiones se utilizaron los niveles de lectura propuestos por Friel et al. (2001), para las que se obtuvieron los siguientes resultados:

- *L0. No leen los datos.* Alumnos que no responden o tienen una limitada interpretación de la información (Díaz-Levicoy, 2018). Así, en el ítem 3.b (*María dice que el deporte favorito fue el fútbol porque 5 estudiantes lo prefieren. ¿Tiene razón María?*) E99 indica: «no, porque no sabe la cantidad de estudiantes que prefieren otro deporte», ignorando los datos proporcionados. Otros estudiantes interpretan la afirmación desde una perspectiva personal (Sharma, 2013), como E183, quien en el ítem 3.c (*de acuerdo a los datos, se podría hablar de que a los estudiantes no les gusta el tenis. ¿Estás de acuerdo con esta afirmación?*) señala: «no, porque el tenis también es divertido y es un deporte chulo».
- *L1. Leer los datos.* La respuesta denota una lectura literal de la información proporcionada. Algunos estudiantes en el ítem 3 interpretan cada icono del pictograma como una unidad. Por ejemplo, en el apartado 3.b, el estudiante E86 indica: «sí, porque lo votaron 5 estudiantes», mientras que en el apartado 3.c, E42 afirma: «sí, porque solo le gusta a 1».
- *L2. Leer dentro de los datos.* Aunque se aprecia una correcta lectura de la información, la justificación es insuficiente o incompleta. Así, en el ítem 3.b, E2 indica: «no, porque cada marca son 2 estudiantes, así que no puede ser impar». Lo mismo ocurre en el apartado 3.c, donde E23 señala: «no estoy de acuerdo, si les gusta, a la minoría de los estudiantes», sin considerar que la información entregada impide establecer la cantidad de estudiantes a los que les gusta el tenis.
- *L3. Leer más allá de los datos.* Este nivel se requiere solo en el ítem 5 (argumentar y predecir valores). Por ejemplo, en el apartado 5.a (*¿cuántas veces piensas que salió el 10?*) se debe considerar, junto con la tendencia de los datos, que la suma de las frecuencias absolutas es 1.000, como lo hace E12: «95, porque si sumamos todos los números da 805 y restamos 1.000 – 85 da 195, así el 10 sale 95». En el apartado 5.b (*si se aumentan las extracciones a 10.000 ¿cuántas veces piensas que saldría aproximadamente cada ficha?*), se evidencia una extrapolación de los datos al incrementar a 10.000 la cantidad de extracciones de la urna, como E30, quien señala: «aproximadamente 1.000, porque si divido 10.000 entre 10 pues sale 1.000».
- *L4. Leer detrás de los datos.* Este nivel de lectura se presenta en los ítems 3, 7 y 8 y se alcanza cuando además de realizar una correcta lectura se cuestiona la información (Shaughnessy, 2007). En el ítem 3.b alcanzan este nivel las respuestas que manifiestan desacuerdo con la aseveración, como señala E3: «tiene razón en que el fútbol fue el deporte favorito, pero con una cantidad de 10 estudiantes, no 5, ya que cada marca son 2 estudiantes».

La tabla 11 resume los niveles de lectura alcanzados en los ítems, en que los ítems 3, 7 y 8 alcanzan un nivel L4, a diferencia del ítem 5 que solo requiere un nivel L3. Se aprecia que en los ítems 5 (argumentar y predecir valores) y 8 (interpretar datos agrupados en intervalos) la mayor parte del alumnado no alcanza un nivel mínimo de lectura, lo que coincide con Gabucio et al. (2010), donde la inferencia de los datos o cuestionar la información son más difíciles para los estudiantes. El nivel *leer dentro de los datos* (L2) se alcanza con mayor frecuencia en los ítems 3 y 7, vinculados con la argumentación a partir de los datos presentados en tablas. El nivel *leer detrás de los datos* (L4) alcanza su mayor frecuencia en el ítem 3.b, pero su presencia es escasa en los demás ítems que requieren dicho nivel de lectura.

Tabla 11.
Porcentaje de niveles de lectura alcanzados en los ítems

Nivel de lectura	Ítem 3.b	Ítem 3.c	Ítem 5.a	Ítem 5.b	Ítem 7	Ítem 8.a	Ítem 8.b	Ítem 8.c
L0	10,9	11,7	71,9	76,6	40,6	67,2	68,0	72,7
L1	10,9	11,7	5,5	8,6	1,6	8,6	18,0	5,5
L2	39,1	65,6	17,2	4,7	55,5	8,6	3,9	10,2
L3	NA	NA	5,5	10,2	NA	NA	NA	NA
L4	39,1	10,9	NA	NA	2,3	15,6	10,2	11,7

NA: No aplica

DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES

En contraste con otros instrumentos dirigidos a la educación secundaria en el contexto español (Gabucio et al., 2010), nuestro cuestionario considera diferentes variables, como el tipo de tabla, los objetos matemáticos representados, el tipo de tarea pedida a los estudiantes y el nivel requerido para resolver dicha tarea.

Sobre los tipos de tablas estadísticas (Lahanier-Reuter, 2003), cada una de ellas supone una complejidad semiótica distinta (Pallauta, Arteaga et al., 2021) porque involucran diversos objetos matemáticos. Así, en la tabla de datos aparece tan solo la variable estadística y sus valores, en la tabla de distribución de una variable se presentan los diferentes tipos de frecuencias y la distribución, mientras que en las tablas de contingencia surgen las frecuencias dobles, marginales, condicionadas y la asociación.

Asimismo, el instrumento incorpora una variedad de tareas posibles para realizar con las tablas, junto con el nivel de lectura requerido por parte del estudiante (Friel et al., 2001). A diferencia de otros trabajos (Jiménez-Díaz et al., 2022), el cuestionario aportado está basado en el currículo y el contexto español, y cruza las anteriores variables para poder evaluar su efecto en las respuestas de los estudiantes.

Los resultados con una muestra de estudiantes de 3.º de la ESO incluyen información sobre la dificultad de las preguntas, que abarca una gama de valores. Los ítems muy difíciles consistieron en el cálculo de frecuencias relativas y acumuladas, la lectura de frecuencias acumuladas y la lectura crítica, el análisis de tendencias y la traducción de lenguaje verbal a tabla de doble entrada. Las actividades más sencillas fueron la lectura literal directa e inversa, la comparación de frecuencias, la traducción de un pictograma a tabla y la lectura de frecuencias marginales y condicionales.

Los principales conflictos semióticos (Godino, 2002; Godino et al., 2019) detectados incluyen la confusión entre diferentes tipos de frecuencias e incluso entre estas y el valor de la variable, la clasificación incorrecta de valores o el cálculo de frecuencias relativas y totales. Se refuerzan los conflictos detectados en estudios anteriores (Álvarez et al., 2020; Díaz-Levicoy, 2018; Díaz-Levicoy et al., 2020;

Mayén et al., 2009), y además se identifican nuevos conflictos semióticos (C1.1, P1, P2.2, P3, P4, P5, N1, N4 y N5).

En cuanto a la interpretación de la información expuesta en la tabla, un reducido porcentaje de estudiantes alcanza niveles más sofisticados de lectura (L3 o L4) (Friel et al., 2001). Esto se podría explicar porque en los libros de texto la mayor parte de las tareas se centran en la interpretación de información explícita de la tabla o requiere la realización de cálculos con los datos (Pallauta, Gea et al., 2021), procedimientos asociados a los niveles más básicos de lectura (L1 o L2). Estas dificultades en los niveles de lectura confirman los obtenidos por Díaz-Levicoy (2018) en la lectura de gráficos estadísticos.

Adicionalmente, se justificó la validez de contenido y del factor discriminante, así como la fiabilidad del cuestionario, analizándose también el efecto de las variables del cuestionario.

El cuestionario aportado en este trabajo es un instrumento útil, que permite al profesor de secundaria conocer y evaluar las posibles dificultades de sus estudiantes con las tablas estadísticas, como primer paso para diseñar procesos de instrucción que aborden esta temática. Dada la escasez de investigaciones que aborden esta temática en profundidad, el cuestionario puede ser un aporte beneficioso al campo de la investigación, en la realización de estudios comparativos con otras muestras de estudiantes.

AGRADECIMIENTOS

Esta publicación es parte del proyecto de I+D+i PID2019-105601GB-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033, grupo de investigación FQM126 (Junta de Andalucía) y beca ANID folio: 72190280.

REFERENCIAS

- Álvarez, I., Guerrero, Y. y Torres, Y. (2020). Taxonomía de errores y dificultades en la construcción e interpretación de tablas de frecuencia. *Zetetiké*, 28, e020012.
<https://doi.org/10.20396/zet.v28i0.8656553>
- Andréu, J. (2011). *Las técnicas de análisis de contenido: una revisión actualizada*. Fundación Centro de Estudios Andaluces.
- Barbero, M. I., Vila, E. y Holgado, F.P. (2015). *Psicometría*. Sanz y Torres.
- Castellaro, M. y Roselli, N. (2020). Comprensión individual y diádica de tablas de frecuencias en alumnos de escolaridad primaria. *Pensamiento Psicológico*, 18(1), 57-70.
<https://doi.org/10.11144/Javerianacali.PPSI18-1.cidt>
- Díaz-Levicoy, D. (2018). *Comprensión de gráficos estadísticos por alumnos chilenos de educación primaria* [Tesis doctoral]. Universidad de Granada.
- Díaz-Levicoy, D., Morales, R., Arteaga, P. y López-Martín, M. del M. (2020). Conocimiento sobre tablas estadísticas por estudiantes chilenos de tercer año de educación primaria. *Educación Matemática*, 32(2), 247-277.
<https://doi.org/10.24844/EM3202.10>
- Duval, R. (2003). Comment analyser le fonctionnement représentationnel des tableaux et leur diversité? *Spirale*, 32(32), 7-31.
<https://doi.org/10.3406/spira.2003.1377>

- Eignor, D. R. (2013). The standards for educational and psychological testing. En K. F. Geisinger, B. A. Bracken, J. F. Carlson, J.-I. C. Hansen, N. R. Kuncel, S. P. Reise y M. C. Rodríguez (Eds.), *APA handbook of testing and assessment in psychology* (Vol. 1, pp. 245-250). American Psychological Association.
<https://doi.org/10.1037/14047-013>
- Engel, J. (2017). Statistical literacy for active citizenship: a call for data science education. *Statistics Education Research Journal*, 16(1), 44-49.
<https://doi.org/10.52041/serj.v16i1.213>
- Estrella, S. y Estrella, P. (2020). Representaciones de datos en estadística: De listas a tablas. *Revista Chilena de Educación Matemática*, 12(1), 21-34. <https://doi.org/10.46219/rechiem.v12i1.20>
- Estrella, S., Mena-Lorca, A. y Olfos-Ayarza, R. (2017). Naturaleza del objeto matemático «Tabla». *Magis. Revista Internacional de Investigación en Educación*, 10(20), 105.
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.m10-20.nomt>
- Feinberg, R. A. y Wainer, H. (2011). Extracting sunbeams from cucumbers. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 20(4), 793-810.
<https://doi.org/10.1198/jcgs.2011.204a>
- Friel, S. N., Curcio, F. R. y Bright, G. W. (2001). Making sense of graphs: Critical factors influencing comprehension and instructional implications. *Journal for Research in Mathematics Education*, 32(2), 124.
<https://doi.org/10.2307/749671>
- Gabucio, F., Martí, E., Enfedaque, J., Gilabert, S. y Konstantinidou, A. (2010). Niveles de comprensión de las tablas en alumnos de primaria y secundaria. *Cultura y Educación*, 22(2), 183-197.
<https://doi.org/10.1174/113564010791304528>
- Gea, M. M., Pallauta, J. D., Batanero, C. y Valenzuela-Ruiz, S. M. (2022). Statistical tables in Spanish primary school textbooks. *Mathematics*, 10(15), 2809.
<https://doi.org/10.3390/math10152809>
- Godino, J. D. (2002). Un enfoque ontológico y semiótico de la cognición matemática. *Recherches en Didactiques des Mathématiques*, 22(2-3), 237-284.
- Godino, J. D., Batanero, C. y Font, V. (2019). The onto-semiotic approach: Implications for the prescriptive character of didactics. *For the Learning of Mathematics*, 39(1), 38-43.
- Godino, J. D., Burgos, M. y Gea, M. M. (2022). The onto-semiotic approach in mathematics education. Analysing objects and meanings in mathematical practice. En Y. Chevallard, B. Barquero, M. Bosch, I. Florensa, J. Gascón, P. Nicolás y N. Ruiz-Monzón (Eds.), *Advances in the anthropological theory of the didactic* (pp. 51-60). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-76791-4_5
- Hernández-Baeza, A., Muñiz, J. y García, E. (2000). Comportamiento del modelo de respuesta graduada en función del número de categorías de la escala. *Psicothema*, 12(2), 288-291.
- Jiménez-Díaz, R., Díaz-Levicoy, D. y Salcedo, A. (2022). Diseño y validación un cuestionario para evaluar la comprensión de tablas estadísticas para estudiantes de octavo año de enseñanza básica. *Tangram*, 5(1), 110-135.
<https://doi.org/10.30612/tangram.v5i1.15465>
- Johannssen, A., Chukhrova, N., Schmal, F. y Stabenow, K. (2021). Statistical literacy. Misuse of statistics and its consequences. *Journal of Statistics and Data Science Education*, 29(1), 54-62.
<https://doi.org/10.1080/10691898.2020.1860727>
- Kaplan, R. y Saccuzzo, D. (2017). *Psychological testing: Principles, applications, and issues* (9.ª ed.). CENGAGE Learning.

- Lahanier-Reuter, D. (2003). Différents types de tableaux dans l'enseignement des statistiques. *Spirale*, 32(32), 143-154.
<https://doi.org/10.3406/spira.2003.1386>
- Martí, E. (2009). Tables as cognitive tools in primary education. En C. Andersen, N. Scheuer, M. P. Pérez Echeverría y E. Teubal (Eds.), *Representational systems and practices as learning tools* (pp. 133-148). Sense.
<https://doi.org/10.1163/9789087905286>
- Martí, E., García-Mila, M., Gabucio, F. y Konstantinidou, K. (2011). The construction of a double-entry table: a study of primary and secondary school students' difficulties. *European Journal of Psychology of Education*, 26(2), 215-234.
<https://doi.org/10.1007/s10212-010-0046-1>
- Martínez, M., Hernández, M. y Hernández, M. (2014). *Psicometría*. Alianza Editorial.
- Mayén, S., Díaz, C. y Batanero, C. (2009). Conflictos semióticos de estudiantes con el concepto de mediana. *Statistics Education Research Journal*, 8(2), 74-93.
<https://doi.org/10.52041/serj.v8i2.396>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, MECD (2014). *Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la educación primaria*. MECD.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, MECD (2015). *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. MECD.
- Ministerio de Educación y Formación profesional, MEFP (2022a). *Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria*. MEFP.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional, MEFP (2022b). *Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria*. MEFP.
- Muñiz, J. y Fonseca-Pedrero, E. (2019). Diez pasos para la construcción de un test. *Psicothema*, 31(1), 7-16.
<https://doi.org/10.7334/psicothema2018.291>
- Pallauta, J., Arteaga, P., Begué, N. y Gea, M. (2021). Análisis de la complejidad semiótica y el contexto de las tablas estadísticas en los libros de texto españoles de secundaria. *Educação Matemática Pesquisa*, 23(4), 193-220.
<https://doi.org/10.23925/983-3156.2021v23i4p193-220>
- Pallauta, J., Arteaga, P., Gea Serrano, M. y Begué, N. (2022). Understanding statistical tables: A survey of research. *Boletín de Estadística e Investigación Operativa*, 38(2), 108-129.
- Pallauta, J. D., Gea, M. M., Batanero, C. y Arteaga, P. (2021). Significado de la tabla estadística en libros de texto españoles de educación secundaria. *Bolema*, 35(71), 1803-1824.
<https://doi.org/10.1590/1980-4415v35n71a26>
- Pallauta, J., Gea, M., Batanero, C. y Arteaga, P. (2023). Algebraization levels of activities linked to statistical tables in Spanish secondary textbooks. En G. Burrill, L. Oliveira Souza y E. Reston (Eds.), *Data and statistical thinking: An international perspective* (pp. 317-339). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-29459-4_23
- Rodríguez-Muñiz, L. J., Muñiz-Rodríguez, L., Vázquez, C. y Alsina, Á. (2020). ¿Cómo promover la alfabetización estadística y de datos en contexto? Estrategias y recursos a partir de la COVID-19 para Educación Secundaria. *Números*, 104, 217-238.

- Sharma, S. V. (2006). High school students interpreting tables and graphs: Implications for research. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 4(2), 241-268.
<https://doi.org/10.1007/s10763-005-9005-8>
- Sharma, S. (2013). Assessing students' understanding of tables and graphs: Implications for teaching and research. *International Journal of Educational Research and Technology*, 4(4), 61-69.
- Sharma, S. (2017). Definitions and models of statistical literacy: a literature review. *Open Review of Educational Research*, 4(1), 118-133.
<https://doi.org/10.1080/23265507.2017.1354313>
- Shaughnessy, J. M. (2007). Research on statistics learning and reasoning. En F. Lester (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 957-1010). Information Age y NCTM.
- Vásquez, C., Alsina, Á., Pincheira, N., Gea, M. M. y Chandia, E. (2020). Construcción y validación de un instrumento de observación de clases de probabilidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 38(2), 25-43.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2820>

ANEXO

CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN DE LA COMPRENSIÓN DE TABLAS ESTADÍSTICAS

Ítem 1. A Claudia le gustan mucho los insectos y una mañana realizó un listado con los insectos que pudo observar en su jardín:

hormiga-mariposa-hormiga-abeja-hormiga-hormiga-mosquito-mosquito-abeja-mosquito-mariposa-hormiga-hormiga-mosquito-hormiga-hormiga

a) Completa la tabla con los datos registrados por Claudia

<i>Insecto</i>	<i>Frecuencia absoluta</i>	<i>Frecuencia relativa</i>
Total		

Ítem 2. A un grupo de niños se les consultó cuál era el sabor de yogurt preferido, **solo podían elegir un sabor**. En la tabla adjunta se registran sus preferencias.

<i>Sabor</i>	<i>Número de niños</i>
Fresa	8
Vainilla	6
Melocotón	4
Coco	4
Piña	2

Responde las siguientes preguntas:

- a) ¿Cuántos niños prefieren el yogurt coco?
- b) ¿Cuál es el sabor que prefieren exactamente 6 niños?
- c) ¿Cuál es el sabor de yogurt que prefiere la mayoría de los niños?
- d) ¿A cuántos niños en total se preguntó por su sabor de yogurt preferido?
- e) ¿Cuántos niños más prefieren el yogurt de vainilla que el de piña?

Ítem 3. Se le consultó a un grupo de estudiantes cuál era su deporte favorito, sus respuestas se representan en el siguiente pictograma.



a) Representa esta información en la siguiente tabla

<i>Deportes preferidos por un grupo de estudiantes</i>				
<i>Deporte</i>	<i>Gimnasia</i>	<i>Fútbol</i>	<i>Básquetbol</i>	<i>Tenis</i>
Número de estudiantes				

Responde las siguientes preguntas:

- b) María dice que el deporte favorito fue el fútbol porque 5 estudiantes lo prefieren. ¿Tiene razón María? ¿Por qué?
- c) De acuerdo con los datos, se podría hablar de que a los estudiantes no les gusta el tenis. ¿Estás de acuerdo con esta afirmación? ¿Por qué?

Ítem 4. En un hotel se registraron los días de alojamiento de los huéspedes.

a) Completa la tabla con las frecuencias indicadas.

<i>Estancia de huéspedes en una semana</i>		
<i>Estadía en días</i>	<i>Frecuencia absoluta</i>	<i>Frecuencia acumulada</i>
1	28	28
2		50
3	23	
4	20	
5	15	

Responde las siguientes preguntas:

- b) ¿Cuántos días se alojan la mayoría de los huéspedes?
- c) ¿Cuántos huéspedes se quedan 4 días o menos?

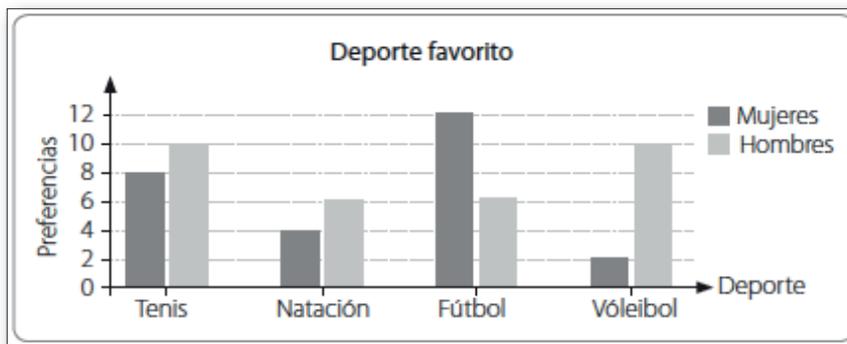
Ítem 5. En la siguiente tabla se registraron los resultados al extraer 1.000 veces una ficha desde una urna con 10 fichas numeradas desde el 1 al 10, pero olvidaron completar las dos últimas columnas.

1000 extracciones										
Número de la ficha obtenida										
Número	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Frecuencia absoluta	98	106	96	97	98	110	102	98		
Frecuencia relativa	0,098	0,106	0,096	0,097	0,098	0,110	0,102	0,098		

Responde las siguientes preguntas:

- a) ¿Cuántas veces piensas que salió el 10? Justifica tu respuesta.
- b) Si se aumentan las extracciones a 10.000 ¿cuántas veces piensas que saldría aproximadamente cada ficha? Justifica tu respuesta.

Ítem 6. El siguiente gráfico de barras muestra la cantidad de hombres y mujeres que practican determinados deportes en un centro deportivo de la ciudad.



- a) Representa la información en la tabla adjunta

Cantidad de hombres y mujeres que practican diferentes deportes					
	Tenis	Natación	Fútbol	Voleibol	Total
Mujeres					
Hombres					
Total					

Responde las siguientes preguntas:

- b) ¿Cuál es el deporte que menos se practica? ¿Por qué?
- c) ¿Cuál es el deporte que más practican las mujeres?

Ítem 7. Al medir la altura en centímetros que pueden saltar un grupo de niñas, antes y después de haber efectuado un cierto entrenamiento deportivo, se obtuvieron los siguientes valores:

<i>Altura saltada en cm.</i>										
Estudiante	Ana	Bea	Carol	Diana	Elena	Fanny	Gía	Hilda	Inés	Juana
Antes del entrenamiento	115	112	107	119	115	138	126	105	104	115
Después del entrenamiento	128	115	106	128	122	145	132	109	102	117

Responde

- a) ¿Piensas que el entrenamiento es efectivo? Justifica tu respuesta.

Ítem 8. Se realiza un estudio sobre el tiempo que tarda en hacer efecto un medicamento a un grupo de hombres. La siguiente tabla muestra los tiempos.

<i>Tiempo de demora en un grupo de hombres</i>		
<i>Tiempo (min.)</i>	<i>Frecuencia absoluta</i>	<i>Frecuencia acumulada</i>
[0, 15[3	3
[15, 30[12	15
[30, 45[18	33
[45, 60[20	53

Responde las siguientes preguntas:

- a) Hay 20 hombres que reaccionan al medicamento en menos de 60 minutos ¿Estás de acuerdo con esta afirmación? ¿Por qué?
- b) Hay 38 hombres que reaccionan al medicamento en 30 minutos o más ¿Estás de acuerdo con esta afirmación? ¿Por qué?
- c) ¿Te parece que el medicamento tiene un efecto rápido o lento? ¿Por qué?

Ítem 9. El profesor de matemáticas de quinto de Educación Primaria preguntó a sus 100 estudiantes cuántas horas de estudio dedicaron para preparar el examen. Quiso saber si estudiaron menos de 5 horas, entre 5 y 10 horas o más de 10 horas. De entre los 53 estudiantes que estudiaron más de 10 horas, 2 suspendieron; de entre los estudiantes que estudiaron entre 5 y 10 horas, 15 aprobaron; mientras que, de los 25 estudiantes que estudiaron menos de 5 horas, solo 5 aprobaron.

- a) Completa la siguiente tabla de doble entrada con la información del problema.

				<i>Total</i>
Aprueban				
Suspenden				
Total				100

A Tool to Assess the Understanding of Statistical Tables in Secondary Education

Jocelyn D. Pallauta

Departamento de Ciencias Exactas, Universidad de Los Lagos, Osorno, Chile

jocelyn.diaz@ulagos.cl

Carmen Batanero

Facultad de Ciencias de la Educación, Grupo FQM126, Universidad de Granada, Granada, España

batanero@ugr.es

María Magdalena Gea

Facultad de Ciencias de la Educación, Departamento de Didáctica de la Matemática, Universidad de Granada,

Granada, España

mmgea@ugr.es

Statistical tables are important tools for summarizing and communicating information in both the media and science due to their cognitive flexibility. Therefore, the competence in its use is part of the literacy needed by every citizen to understand information and make decisions. The study of different types of statistical tables is considered in Secondary Education (ESO), but there are few assessment tools that include the different variables involved in their understanding. To fill this gap, we present an assessment questionnaire that considers the main variables and skills identified in research on statistical tables in textbooks and their understanding, as well as in curricular guidelines. The theoretical foundations of the study include the idea of *semiotic conflict* proposed by the onto-semiotic approach to mathematical knowledge and instruction (OSA), the different types of statistical tables (data tables, one-variable distribution tables, and two-way tables), as well as the levels of reading statistical graphs and tables proposed by Friel et al.

The questionnaire is made of 9 items, each with one or more open-ended questions. Its construction followed a multi-stage process. First, we defined the variables identified in an analysis of statistical tables in the Spanish secondary school education curricular guidelines and textbooks. These variables were the type of table, the mathematical objects represented, the type of task proposed to the students and the level of reading required to solve the task. Secondly, we compiled an item bank with examples taken from textbooks and previous research. These items met the specifications of the above variables and were cross-checked to assess their effect on students' responses.

Next, we organized a process to validate the content of the questionnaire, where items were selected by expert judgement. Eleven experts participated in this process to evaluate three possible versions of each item, considering the variables in the design.

Finally, the questionnaire was administered to a convenience sample of 128 students in the 3rd grade of secondary school education (14-16 years old) who completed the questionnaire individually.

The quantitative analysis of the responses revealed that the most difficult items consisted of calculating relative and cumulative frequencies, reading cumulative frequencies, critical reading, trend analysis, and translation from verbal language to two-way tables. The easiest activities were direct and inverse literal reading, comparing frequencies, translating a pictogram into a table, and reading marginal and conditional frequencies. Discriminant analysis showed a strong discrimination in that most of the items had p-values that were smaller than 0.0001. In addition, the reliability of the whole questionnaire was measured by the Cronbach's alpha coefficient, $A = 0.787$.

The qualitative analysis of the responses served to identify the main semiotic conflicts, which consist in the confusion between different types of frequencies and between frequencies and variable values, the incorrect classification of values, and the calculation of relative and total frequencies. Regarding the interpretation of the information displayed in the table, only a small percentage of students reached more sophisticated reading levels (*reading beyond the data* and *reading behind the data*).

To conclude, the questionnaire can be a beneficial contribution for teachers in designing instructional processes that address the teaching of the topic and for researchers when conducting comparative studies with other samples of students.



Impacto de un debate sociocientífico en las habilidades argumentativas y en la toma de decisiones del profesorado de secundaria en formación inicial

Impact of a Socio-Scientific Debate on the Argumentative and Decision-Making Skills of Preservice Secondary Teachers

Pilar Bernal-Herrera, María José Cano-Iglesias, Antonio Joaquín Franco-Mariscal, Ángel Blanco-López
Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Málaga. Málaga. España
pilar_9@uma.es; mjcano@uma.es, anjoa@uma.es, ablancol@uma.es

RESUMEN • Esta investigación explora el impacto de un debate sobre la elección de un producto de la vida diaria en las habilidades de argumentación y en la toma de decisiones, dimensiones importantes del pensamiento crítico, en 45 estudiantes de especialidades científicas del Máster en Profesorado de Educación Secundaria. Se presenta el caso sobre el material (acero o aluminio) que prefieren al comprar una bicicleta empleando como instrumentos un pretest y un postest sobre decisiones y argumentos de oyentes, así como sobre los informes de preparación y grabación en audio del debate. Se analizan las decisiones de los oyentes antes y después y sus posibles cambios, además de los argumentos dados, empleando una rúbrica que incluye las pruebas, la justificación y la conclusión. Tras el debate se producen progresos, estadísticamente significativos en los oyentes, con respecto al uso de argumentos con un mayor número de pruebas, una tipología más amplia de ellas y una mejor calidad de las justificaciones y conclusiones empleadas. Las mejoras son más relevantes en estudiantes de grados no afines que afines al estudio de la materia.

PALABRAS CLAVE: Argumentación; Toma de decisiones; Pensamiento crítico; Debates; Formación inicial de profesorado.

ABSTRACT • This research explores the impact that a debate about the choice of an everyday product has on argumentation and decision-making skills, which are important dimensions of critical thinking, among 45 students specializing in sciences in the master's degree in Secondary Education. This case involves a choice between materials (steel or aluminum) when purchasing a bicycle, using as instruments a pre- and post-test to assess listeners' decisions and arguments, as well as the preparation reports and audio recordings of the debate. The listeners' decisions before and after the debate, together with their potential changes, and the arguments presented are analyzed using a rubric that includes the evidence, the justification, and the conclusion. Significant progress is observed in listeners after the debate, with regards to the use of arguments supported by a greater number of evidence, a wider range of evidence types, and enhancements in the quality of justifications and conclusions. This progress is more significant among students with unrelated degrees to the subject of study.

KEYWORDS: Argumentation; Decision-making; Critical thinking; Debates; Initial teacher training.

Recepción: diciembre 2022 • Aceptación: septiembre 2023 • Publicación: noviembre 2023

Bernal-Herrera, P., Cano-Iglesias, M. J., Franco-Mariscal, A. J. y Blanco-López, Á. (2023). Impacto de un debate sociocientífico en las habilidades argumentativas y en la toma de decisiones del profesorado de secundaria en formación inicial. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(3), 113-132. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5861>

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La investigación que se presenta en este artículo considera que el desarrollo de la toma de decisiones y de la argumentación en ciencias, en cuanto que aspectos destacados del pensamiento crítico, son objetivos importantes de la educación científica que se pueden abordar en el contexto de problemas de la vida diaria, particularmente en el de la elección de productos, y se entiende que el debate puede ser una estrategia muy adecuada para su desarrollo. A continuación, se presentan y desarrollan estas ideas.

Pensamiento crítico en la enseñanza de las ciencias

Hoy día existe un acuerdo unánime sobre la importancia que el pensamiento crítico tiene para los ciudadanos y sobre su consideración como una de las grandes finalidades de la educación científica (Osborne, 2014). Desafortunadamente, durante muchos años la educación científica ha olvidado el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico (Osborne, 2001), a pesar de que la sociedad actual exige que la enseñanza de las ciencias juegue un papel activo en su desarrollo en el contexto de problemas relacionados con aspectos energéticos, ambientales, alimentación o salud. Por ello, el pensamiento crítico constituye un reto para la educación científica (Duschl et al., 2007; Jenkins, 2011) y, cada vez más, la literatura especializada presta atención a este tema (Torres y Solbes, 2016; Jiménez y Otero, 2019; Bargiela et al., 2022).

Osborne (2014) apunta que crítica y cuestionamiento son esenciales para la práctica de la ciencia y que sin ellos no se podría construir conocimiento científico. Jiménez-Aleixandre (2010) entiende el pensamiento crítico como la capacidad de desarrollar una opinión independiente, adquiriendo la facultad de reflexionar sobre la sociedad y participar en ella, e incluye la búsqueda y el uso de pruebas como componentes importantes de la argumentación científica. Al respecto, Solbes y Torres (2012) definen el pensamiento crítico como una necesidad para que las personas estructuren una manera de pensar propia y sean capaces de tomar posiciones frente a las situaciones sociales que viven y poder tener un papel activo en las decisiones culturales y científicas.

Aunque el pensamiento crítico puede desarrollarse desde la enseñanza de las ciencias mediante el tratamiento de cualquier tipo de problema (Bailin, 2002), existe acuerdo en la relevancia de los problemas de la vida diaria en los que la ciencia y la tecnología juegan un papel importante, especialmente sobre los que existen controversias (Torres y Solbes, 2016) y en los que la ciudadanía necesita tomar decisiones que les afectan personal y socialmente. Partiendo de la caracterización que Solbes y Torres (2012) hacen de las competencias que se requieren para el desarrollo del pensamiento crítico en el ámbito de problemas sociocientíficos, Blanco et al. (2017) identificaron un conjunto de dimensiones para su desarrollo en la enseñanza de las ciencias. Entre ellas, la toma de decisiones y la argumentación destacan como habilidades fundamentales.

Toma de decisiones y argumentación sobre problemas de la vida diaria

Desde la educación científica se considera fundamental formar al alumnado en la toma de decisiones sobre situaciones y problemas de la vida diaria cuyas consecuencias pueden afectar a la ciudadanía en distintos ámbitos. De ahí la importancia de disponer de estudiantes alfabetizados científica y tecnológicamente capaces de ejercer plenamente sus derechos y participar en la toma de decisiones en las sociedades democráticas actuales. Por tanto, esta formación tiene que ayudarles a adoptar posturas responsables, argumentadas y basadas en conocimientos científicos y tecnológicos (Sadler y Zeidler, 2005; Yacoubian, 2018).

En la toma de decisiones en la vida diaria intervienen factores relacionados con las preferencias y creencias personales y vinculados al entorno (Muñetón et al., 2017). Es aquí donde el pensamiento crítico es relevante (es decir, analizar, reflexionar, seleccionar información, etc.) para tomar una decisión lo más adecuada posible al problema planteado.

Las situaciones de la vida real constituyen contextos útiles para el desarrollo de aprendizajes (Lupión et al., 2017), ya que al tratarse de problemas reales aumenta la probabilidad de poner en práctica valores y actitudes que normalmente se usan en la toma de decisiones de nuestra vida diaria (Prieto et al., 2012). Acevedo (2006) afirma que por medio de controversias sobre temas tecnocientíficos de interés social se puede observar claramente la relación entre educación en valores y enseñanza de las ciencias. Según López (2012), el uso de problemas sociocientíficos ofrece beneficios al alumnado, como un mayor dominio y retención de la materia, una mayor habilidad para el posicionamiento del estudiante o una mejor toma de decisiones.

Diferentes estudios revelan que las principales dificultades que encuentra el alumnado para la toma de decisiones sobre problemas de la vida diaria se asocian con la falta de conocimientos científicos para argumentar adecuadamente (Henderson et al., 2018; Rodríguez-Mora et al., 2022) o con el uso frecuente de creencias o valores al tomar decisiones (von Winterfeldt, 2013; Moreno-Fontiveros et al., 2022). Este hecho es preocupante en la didáctica de las ciencias, que intenta enseñar a tomar decisiones argumentadas basadas en pruebas científicas (Bravo y Jiménez-Aleixandre, 2018), en actitudes y valores sociales (Siribunnam et al., 2014) y en el uso de justificaciones basadas en conocimientos científicos.

Así pues, la argumentación constituye un aspecto importante para la toma de decisiones (Bravo y Jiménez-Aleixandre, 2018) y requiere de la construcción y la crítica de argumentos (Osborne et al., 2016). El modelo de Toulmin (2003) o Toulmin's Argument Pattern es uno de los más utilizados para analizar argumentos. Según Erduran et al. (2004, p. 57), además de una conclusión, el argumento debe incluir «pruebas que apoyen esa afirmación; justificaciones que proporcionen un vínculo entre las pruebas y la afirmación; respaldos que refuercen las justificaciones; y, por último, refutaciones que señalen las circunstancias en las que la afirmación no sería cierta». La literatura muestra que el alumnado encuentra dificultades al identificar y usar pruebas en los argumentos, y sus progresos en este sentido pueden considerarse un indicador de la calidad de los argumentos empleados (Bravo y Jiménez-Aleixandre, 2018).

Argumentar sobre problemas de la vida diaria implica procesos de razonamiento informal. Este razonamiento se aplica fuera de contextos formales, en los que los problemas no están bien definidos, las premisas pueden no estar explícitamente enunciadas y las conclusiones pueden no estar delimitadas (Wu, 2013; Cruz-Lorite et al., 2023). Diversos autores indican diferentes tipos de razonamiento informal según los dominios a los que se orientan los argumentos (p. e., científico-tecnológico, económico, social, etc.) (Christenson et al., 2012; Ozturk y Yilmaz-Tuzun, 2017). El uso y prevalencia de estos tipos de razonamiento pueden estar influenciados por el problema o los conocimientos previos.

La elección de productos como contexto para la toma de decisiones y la argumentación

La elección de productos es un contexto interesante para tomar decisiones y argumentar, pues en ellas influyen distintos factores, entre los que destaca la publicidad (Grosick et al., 2013; Girón y Lupión, 2022). Por ejemplo, los jóvenes eligen determinados productos alimenticios en función de su publicidad, por lo que esta impacta en estilos de vida y comportamientos (Villani, 2001).

Rivera et al. (2009) definieron el comportamiento del consumidor como el «proceso de decisión y la actividad física que los individuos realizan cuando buscan, evalúan, adquieren y usan o consumen bienes, servicios o ideas para satisfacer sus necesidades» (p. 36). Así, el consumidor debe combinar los

estímulos recibidos (producto, precio, promoción, marca) con sus intereses individuales (modelo, uso) para decidir satisfactoriamente (Blanco y Forero, 2017).

Un contexto de la vida diaria relevante para los estudiantes puede ser la elección de un coche (Moreno-Fontiveros et al., 2022) u otros medios de transportes, como la compra de una bicicleta, que constituye el debate del estudio de caso de este trabajo. Se trata de un contexto relevante para promover, entre otras, la conciencia ambiental (Hadjichambis et al., 2020; Moreno-Fontiveros et al., 2015).

La compra de una bicicleta incluye varias vertientes que el alumnado debería considerar en su decisión en cuanto a una elección adaptada a sus necesidades, teniendo en cuenta el impacto que tiene su compra y uso desde el punto de vista social, ambiental y global, o desarrollando un pensamiento crítico que le permita interpretar la información de los mensajes publicitarios (Moreno-Fontiveros et al., 2022).

Hoy día, con el crecimiento masivo de las ciudades y la mayor concienciación ambiental, muchas personas optan por el uso de la bicicleta como alternativa ecológica al transporte. Otras personas la utilizan para hacer deporte. Independientemente de su uso, la decisión del material de la bicicleta es importante.

El debate como estrategia didáctica para la toma de decisiones y la argumentación

El debate se considera una actividad adecuada para desarrollar pensamiento crítico desde problemas de la vida diaria, al basarse en el razonamiento, la argumentación, la toma de decisiones y la comunicación (Fang et al., 2019; Simonneaux, 2001). El debate requiere que el alumnado evalúe e identifique datos e información, reflexione sobre diferentes opiniones, defienda y razone de forma argumentada su posición y tome decisiones basadas en pruebas de calidad (Wang et al., 2017). Facilita de este modo la exposición desde diferentes perspectivas, convirtiéndose en una buena estrategia no solo porque mejora la adquisición de competencias y aprendizajes, sino también porque favorece la autonomía y la participación, por lo que contribuye a una formación integral del estudiantado, que desarrolla conocimientos y actitudes de manera transversal e interdisciplinar (Rodríguez, 2012).

Partiendo del uso de debates sobre problemas de la vida diaria, en este caso sobre la elección de una bicicleta en función del material con la que está fabricada, la novedad de esta investigación radica en que se centra en el impacto que esta estrategia didáctica puede tener en los oyentes, tanto en los criterios utilizados para adoptar la decisión como en la mejora de los argumentos empleados para justificarla, así como en su formación previa afín o no al caso planteado. La hipótesis de partida es que no solo los participantes, sino también los oyentes en un debate, mejoran sus argumentos con un mayor número, tipología y calidad de pruebas, y emplean justificaciones más elaboradas para apoyar su conclusión.

OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo se centra en el desarrollo de la argumentación y la toma de decisiones como dimensiones del pensamiento crítico mediante debates sobre problemas de la vida diaria en profesores de secundaria en formación inicial (en adelante, PFI) mostrando los resultados de un estudio de caso sobre la elección del material de una bicicleta.

Se plantean estas preguntas de investigación:

- P1. ¿Qué decisiones adoptan los PFI sobre el problema tratado antes del debate y cómo las argumentan?
- P2. ¿Qué tipos de pruebas y justificaciones utilizan los PFI que intervienen en el debate?
- P3. ¿Cómo cambian, si lo hacen, las decisiones de los PFI y los argumentos que las apoyan después del debate?

METODOLOGÍA

Contexto y participantes

Esta investigación, centrada en el debate «¿Bicicleta de aluminio o de acero?», forma parte de un programa de debates más amplio realizado con 45 PFI (59,5 % mujeres y 40,5 % hombres) de especialidades de ciencias del Máster en Profesorado de Educación Secundaria de la Universidad de Málaga, dentro de la asignatura Innovación Docente e Iniciación a la Investigación Educativa del curso 2021-2022. Se trata de una muestra de conveniencia (Martín y Salamanca, 2007) seleccionada por incluir a PFI con distinta afinidad al problema tratado según su formación académica previa.

Los protagonistas de cada debate son un presentador y dos debatientes con posturas opuestas, mientras que el resto de PFI actúan como oyentes. Todos los PFI intervinieron en un debate durante el desarrollo de la asignatura. Previamente, recibieron tres horas de formación sobre pensamiento crítico y argumentación, que abordó el modelo de argumentación de Toulmin (2003), la versión simplificada de Jiménez-Aleixandre (2010) y el modelo de Osborne et al. (2016). La formación incluía tareas para identificar pruebas, justificaciones y conclusiones en un argumento, así como la elaboración de estos argumentos.

Para el análisis de datos, los participantes se agruparon en PFI cuya formación previa fue un grado afín, es decir, que incluía conocimientos sobre propiedades de materiales (PFI-A) (grado en Química, Ingeniería Química, Biotecnología, etc.) (44,44 %) y aquellos que no los incluían (PFI-NA) (grado en Biología, Veterinaria, Odontología, etc.) (55,56 %). La debatiente a favor de la bicicleta de aluminio disponía de formación afín (Química), mientras que el presentador y la debatiente a favor de acero eran no afines a la materia (Biología).

Descripción de la actividad

Consistió en un debate de corta duración sobre el material más adecuado para comprar una bicicleta (acero o aluminio). El tema se eligió por varias razones. En primer lugar, porque se trata de un vehículo cotidiano muy usado por el estudiantado, lo que permite contextualizar la ciencia en la vida diaria. Por otro lado, porque permite abordar propiedades de materiales e impacto ambiental, incluidos en el currículo de ciencias de secundaria. Por último, la implicación de los PFI en actividades que fomentan la argumentación y la toma de decisiones tiene interés para la transferencia a la práctica educativa.

Antes del desarrollo del debate, los PFI oyentes respondieron la cuestión: «Vas a comprar una bicicleta, ¿cuál elegirías, de acero o aluminio? Razona con argumentos tu decisión».

Para la preparación del debate, debatientes y presentador debían entregar un informe en el plazo de una semana con los argumentos que se utilizarían, indicándose las fuentes consultadas.

El debate se realizó con esta estructura: exposición del problema por el presentador de una forma imparcial mostrando pros y contras de las dos posturas (tres minutos), un minuto inicial para que cada debatiente defendiese su postura, cinco minutos de discusión y un minuto final como conclusión. Tras el debate, se administró a los oyentes la misma cuestión inicial.

Instrumentos de recogida de datos

La toma de datos se realizó antes, durante y después de la actividad con diferentes instrumentos. Las decisiones y argumentos escritos de los oyentes se recogieron con la cuestión planteada como pretest y postest. Los argumentos escritos y orales empleados por las debatientes y el presentador se recogieron a través de los informes y la grabación en audio del debate.

Análisis de datos

Se realizaron dos estudios: el análisis de la toma de decisiones antes y después del debate y sus posibles cambios, y el análisis de argumentos. Ambos tuvieron una parte cualitativa para definir categorías de respuestas y un tratamiento estadístico posterior cuantitativo basado en análisis de frecuencias y establecimiento de comparaciones.

Todos los argumentos, escritos u orales, se analizaron según el modelo de Toulmin (2003) simplificado, identificando pruebas, justificaciones y conclusión. Estos elementos se analizaron de acuerdo con la rúbrica de la tabla 1, adaptada de un estudio anterior (Cano-Iglesias et al., 2021). Las pruebas se analizaron según número, tipo y calidad, considerándose adicionalmente ideas personales.

Tabla 1.
Rúbrica para análisis de argumentos

<i>CONCLUSIÓN</i>					
0: No alcanza ninguna conclusión		1: Duda al alcanzar una conclusión		2: Proporciona una conclusión adecuada y precisa	
<i>PRUEBAS EN CADA ARGUMENTO</i>					
<i>Número</i>					
0: Ninguna prueba	1: Una prueba	2: Dos pruebas	3: Tres pruebas	4: Cuatro pruebas	5: Cinco pruebas
<i>Tipos</i>					
Pruebas económicas (precio)					
Pruebas físicas (peso, densidad)					
Pruebas químicas (resistencia a la corrosión, durabilidad, contaminación ambiental)					
Pruebas mecánicas (resistencia mecánica, a golpes, fabricación, reparación)					
Otras pruebas (Consulta a expertos, catálogos, hechos históricos)					
0: Ninguna prueba	1: Una prueba	2: Dos pruebas	3: Tres pruebas	4: Cuatro pruebas	5: Cinco pruebas
<i>Calidad</i>					
0: Las pruebas son incorrectas o inexistentes		1: Alguna prueba incorrecta		2: Pruebas correctas pero imprecisas	
3: Todas las pruebas correctas y precisas					
<i>Ideas personales</i>					
0: No emplea			1: Emplea ideas personales		
<i>JUSTIFICACIÓN</i>					
0: Ninguna justificación		1: Hace una justificación que no relaciona las pruebas con la conclusión		2: Proporciona una justificación que relaciona las pruebas con la conclusión	

La tipología de pruebas incluida en la rúbrica se seleccionó por consenso entre los investigadores autores de este estudio, una vez analizados cualitativamente los argumentos de los PFI. Llama la atención el escaso número de pruebas ambientales empleadas (una), motivo por el que se englobó como prueba química.

Un aspecto que destacar en la aplicación de la rúbrica es que los argumentos tienen una conclusión y, para justificarla, los PFI deben emplear una o más pruebas. Por tanto, el número y tipo de pruebas recogido en el análisis puede ser superior al número de PFI, mientras que la calidad de las pruebas, las

ideas personales y la justificación se analizan para cada argumento como conjunto y coincide con el número de participantes.

El debate se dividió en intervenciones para facilitar el análisis de argumentos. Seguidamente, se ilustra un ejemplo de análisis usando el texto en seminegrita para las pruebas y la cursiva para la justificación.

«El aluminio resiste mucho mejor la corrosión ambiental que el acero. *En climas costeros como en el que estamos es un factor muy importante ya que el acero se oxida y entonces su vida útil podría verse muy reducida.*» (Debatiente).

De acuerdo con la rúbrica, este argumento expone una prueba química empleando una justificación (nivel 2) que relaciona dicha prueba con la conclusión, que, en este caso, no se expone explícitamente (nivel 0) al corresponder al debate. La calidad de este argumento es correcta y precisa (nivel 3) y no emplea ideas personales (nivel 0).

Análisis estadístico

Para determinar posibles diferencias estadísticamente significativas en los resultados se realizó, en primer lugar, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, adecuada para determinar si el conjunto de datos obtenidos provenía o no de una distribución normal y para muestras inferiores a 50 datos, de la que se obtuvo $p < 0,05$ para todas las variables, lo que supone aplicar pruebas no paramétricas.

Posteriormente, se estudió si existían diferencias estadísticas entre las dos muestras independientes (PFI-A y PFI-NA) en todas las variables del pretest y del posttest. En las variables nominales (toma de decisión e ideas personales) se realizó la prueba chi cuadrado de Pearson, y en el caso en el que las frecuencias absolutas esperadas fueron iguales o inferiores a cinco en más allá del 20 % de las casillas, se realizó también la prueba exacta de Fisher. Para el resto de las variables, con carácter ordinal, se realizó la prueba U de Mann-Whitney.

Por último, se estudiaron posibles diferencias significativas entre muestras relacionadas (decisiones y argumentos dados por el propio PFI en pretest y posttest) para las distintas variables, utilizándose la prueba de McNemar para variables nominales y la prueba bilateral de Wilcoxon para variables ordinales. Se estudiaron diferencias para la totalidad de PFI, en función de su afinidad.

El tamaño del efecto de las pruebas de Wilcoxon y U de Mann-Whitney se calculó utilizando la ecuación $r = Z/\sqrt{N}$, donde N es el número de PFI durante los dos momentos de la actividad, y Z el valor de la prueba estadística. En cuanto al valor de r calculado en términos absolutos: 0,1 se considera efecto pequeño, 0,3 efecto medio y 0,5 efecto grande (Cohen, 1988). El software empleado fue SPSS 25.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan y discuten los resultados obtenidos organizados en dos apartados: el primero relativo a los PFI debatientes y el segundo a los oyentes.

Pruebas y justificaciones utilizadas por los PFI que intervienen en el debate

Previo a la intervención, el presentador y las debatientes cumplieron un informe con los argumentos que iban a emplear durante el debate. A continuación, se recogen algunos ejemplos:

El acero se comporta mejor ante vibraciones, es más resistente y estético porque utiliza cuadros más clásicos, aunque esto es subjetivo. El aluminio es más ligero. (Presentador).

El aluminio es el material más utilizado en la bicicleta [...] disponemos de más modelos de bicicletas de aluminio que de acero con una estética mejor y más ligera. He traído varios catálogos de tiendas de bicicletas [...] la mayoría son de aluminio [...] (debatiente a favor de aluminio).

Entre sus principales ventajas encontramos su precio reducido [...] por lo que nos ahorraremos dinero. Además, posee gran resistencia mecánica y a la fatiga [...]. Al ser un material con una tracción mecánica tan alta tiene gran resistencia a golpes y deformaciones [...] (debatiente a favor de acero).

Respecto a los argumentos utilizados durante el debate, la tabla 2 recoge una visión global en función del rol de los PFI. Como se observa, la debatiente a favor de la bicicleta de aluminio, a pesar de realizar una intervención más, empleó menos argumentos y pruebas por intervención que la debatiente a favor del acero. Por el contrario, la media de justificaciones fue superior para el aluminio.

Tabla 2.
Resultados generales del debate referidos a las debatientes

	<i>A favor de la bicicleta de</i>	
	<i>Aluminio</i>	<i>Acero</i>
Total de intervenciones	7	6
Total de argumentos	17	19
Media de argumentos por intervención	2,42	3,17
Total de pruebas	26	25
Media total de pruebas por intervención	3,71	4,16
Total de justificaciones	28	26
Media de justificaciones	1,65	1,47

La tabla 3 muestra el análisis de pruebas y justificaciones utilizadas en cada parte del debate. Debido a que cada rol defendía una postura (conclusión) prefijada de antemano, las debatientes centraron sus argumentos, en la mayoría de las ocasiones, en pruebas y justificaciones. En todos los casos, estas justificaciones relacionaban pruebas con la conclusión (implícita) de su rol.

Tabla 3.
Análisis de argumentos empleados durante el debate

		<i>Minuto inicial</i>			<i>Discusión</i>		<i>Minuto final</i>		<i>Total de debatientes</i>
		<i>Pres.</i>	<i>Aluminio</i>	<i>Acero</i>	<i>Aluminio</i>	<i>Acero</i>	<i>Aluminio</i>	<i>Acero</i>	
<i>Argumentos</i>									
Argumentos	Total	5	4	2	9	15	4	2	36
	Intervenciones	1	1	1	5	4	1	1	13
<i>Pruebas</i>									
Número	Total	12	8	5	14	18	4	2	51
Tipo	Económicas	1	0	1	3	2	0	0	6
	Físicas	1	3	0	2	2	1	0	8
	Químicas	4	1	1	0	2	1	1	6
	Mecánicas	2	2	2	5	10	0	0	19
	Otras	4	2	1	4	2	2	1	12

		<i>Minuto inicial</i>			<i>Discusión</i>		<i>Minuto final</i>		<i>Total de debatientes</i>
		<i>Pres.</i>	<i>Aluminio</i>	<i>Acero</i>	<i>Aluminio</i>	<i>Acero</i>	<i>Aluminio</i>	<i>Acero</i>	
Calidad	Nivel 0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Nivel 1	0	0	0	4	2	0	0	6
	Nivel 2	4	2	1	3	8	2	2	18
	Nivel 3	8	2	1	2	5	2	0	12
	Media por arg.	2,67	2,50	2,50	1,78	2,20	2,50	2,00	2,17
Ideas personales	Nivel 0	4	2	1	5	11	2	1	20
	Nivel 1	1	2	1	4	4	2	1	14
	Media por arg.	0,20	0,50	0,50	0,44	0,27	0,50	0,50	0,39
<i>Justificación</i>									
Justificación	Nivel 0	-	0	0	2	4	1	1	8
	Nivel 1	-	0	0	0	0	0	0	0
	Nivel 2	-	4	2	7	11	3	1	28
	Media por arg.	-	2,00	2,00	1,56	1,47	1,50	1,00	1,56

El presentador expuso un buen número de pruebas centradas en la historia de la bicicleta (otras) y materiales empleados en su fabricación, comparando propiedades (químicas y, en menor medida, mecánicas).

Las debatientes emplearon pruebas mecánicas, como la resistencia mecánica o a la fatiga (aportadas mayoritariamente por el rol de acero) y pruebas físicas, como la ligereza (peso) u otras, como la información de catálogos de varias empresas de venta de bicicletas (principalmente por el rol de aluminio). Toda esta tipología de pruebas muestra el uso de distintos dominios de razonamiento informal (Wu, 2013). También emergieron ideas personales por parte de ambas debatientes para justificar sus argumentos (von Winterfeldt, 2013). Ninguno de los participantes empleó pruebas relacionadas con el impacto ambiental, la sostenibilidad ni la gestión posterior una vez terminada la vida útil del producto, consideradas importantes en este problema (Moreno-Fontiveros et al., 2022).

La calidad media de las pruebas fue similar en ambos casos en el momento inicial (nivel 2-3), mayor en el caso del acero en la discusión y lo contrario en el minuto final. Durante la discusión afloraron algunas pruebas erróneas (nivel 1) relacionadas con aspectos económicos o mecánicos. Así, por ejemplo, en el debate se transmitió de forma no suficientemente clara a qué tipo de materiales se referían al comparar precios, generalizándose la idea de que las bicicletas de aluminio eran más baratas que de acero.

La utilización de ideas personales también fue idéntica en ambos casos, excepto en la discusión en la que la debatiente a favor de la bicicleta de acero presentó un mayor número de estas.

En todas las partes del debate predominaron justificaciones de nivel 2, siendo empleadas por ambos roles por igual (14/28). La calidad de las justificaciones presenta un perfil similar para ambas debatientes, excepto en el minuto final, en el que fue mayor para la debatiente a favor del aluminio. En este caso, parece que la falta de formación previa sobre las propiedades de los materiales de la debatiente a favor de la bicicleta de acero no supuso, en términos generales, un hándicap para mantener un debate equilibrado con respecto al otro debatiente que sí lo tenía. La preparación del debate parece que ayudó a este aspecto, aunque durante la fase de discusión la debatiente con menos formación previa tuvo que hacer también más uso de ideas personales (Muñetón et al., 2017) para contraargumentar y rebatir.

De cara a la posible influencia del debate en los oyentes, en términos globales, los resultados (tablas 2 y 3) indican que el debate permitió mostrar un buen número de argumentos y diferentes tipos de

pruebas a favor de cada bicicleta (Christenson et al., 2012; Ozturk y Yilmaz-Tuzun, 2017), aunque en mayor medida en el caso de la de acero. Con respecto a la calidad de los argumentos y al uso de ideas personales, puede deducirse que el debate estuvo muy equilibrado.

Decisiones y argumentos de los PFI oyentes antes y después del debate

La tabla 4 presenta los resultados de decisiones y argumentos de oyentes (pretest y postest). Hay que indicar que, en primer lugar, los argumentos se analizaron en función de la afinidad de los PFI y de la opción elegida (acero o aluminio). Este estudio mostró una baja frecuencia de PFI que eligieron acero y reveló que solo dos de ellos mantuvieron su decisión. Por esta razón, se ha optado por presentar un análisis estadístico para el total de PFI, independientemente de su elección.

Tabla 4.
Resultados de los argumentos de los PFI oyentes antes y después del debate

		Pretest			Postest		
		PFI-NA (N = 23)	PFI-A (N = 19)	Total (N = 42)	PFI-NA (N = 23)	PFI-A (N = 19)	Total (N = 42)
Decisión adoptada	Aluminio	20	15	35	18	16	34
	Acero	3	4	7	5	3	8
<i>Argumentos dados</i>							
Pruebas							
Número de pruebas	Total	31	42	73	65	51	116
	Media por PFI	1,35	2,21	1,74	2,83	2,68	2,76
Pruebas económicas	Nivel 0	20	15	35	10	10	20
	Nivel 1	3	4	7	13	9	22
	Nivel 2	0	0	0	0	0	0
	Media por PFI	0,13	0,21	0,17	0,57	0,47	0,52
Pruebas físicas	Nivel 0	4	3	7	5	6	11
	Nivel 1	19	16	35	18	13	31
	Nivel 2	0	0	0	0	0	0
	Media por PFI	0,83	0,84	0,83	0,78	0,68	0,74
Pruebas químicas	Nivel 0	18	11	29	12	10	22
	Nivel 1	5	8	13	11	9	20
	Nivel 2	0	0	0	0	0	0
	Media por PFI	0,22	0,42	0,31	0,48	0,47	0,48
Pruebas mecánicas	Nivel 0	19	11	30	11	10	21
	Nivel 1	4	6	10	11	6	17
	Nivel 2	0	2	2	1	3	4
	Media por PFI	0,17	0,53	0,33	0,57	0,63	0,60
Otras pruebas	Nivel 0	23	15	38	14	13	27
	Nivel 1	0	4	4	8	4	12
	Nivel 2	0	0	0	1	2	3
	Media por PFI	0,00	0,21	0,10	0,44	0,42	0,43

		Pretest			Postest		
		PFI-NA (N = 23)	PFI-A (N = 19)	Total (N = 42)	PFI-NA (N = 23)	PFI-A (N = 19)	Total (N = 42)
Calidad	Nivel 0	1	0	1	0	0	0
	Nivel 1	2	4	6	8	3	11
	Nivel 2	8	3	11	7	3	10
	Nivel 3	12	12	24	8	13	21
	Media por PFI	2,34	2,42	2,38	2,00	2,53	2,24
Ideas personales	Nivel 0	17	13	30	11	14	25
	Nivel 1	6	6	12	12	5	17
	Media por PFI	0,26	0,32	0,29	0,52	0,26	0,40
Justificación							
Justificación	Nivel 0	15	11	26	8	3	11
	Nivel 1	4	0	4	0	0	0
	Nivel 2	4	8	12	15	16	31
	Media por PFI	0,52	0,84	0,66	1,30	1,68	1,48
Conclusiones							
Conclusiones	Nivel 0	0	0	0	0	0	0
	Nivel 1	4	1	5	0	0	0
	Nivel 2	19	18	37	23	19	42
	Media por PFI	1,83	1,95	1,88	2,00	2,00	2,00

Antes del debate

Decisiones

La compra de una bicicleta de aluminio fue la opción más elegida por el 83,33 % de los participantes frente al 16,67 % que prefería acero. El porcentaje de PFI-NA que optó por el aluminio (86,95 %) fue ligeramente superior al de PFI-A (78,94 %).

Algunos argumentos dados para justificar su elección fueron:

Al comprar una bicicleta, elegiría una de aluminio porque no compito y me interesa una bicicleta más ligera, que no se oxide rápido con el paso del tiempo (como sí pasa con el acero), etc. (PFI-NA-09).

Elijo la bicicleta de acero. La de aluminio es más ligera y aguanta mejor la corrosión, pero de precio superior. La de acero es más robusta y se adapta mejor a mi poder adquisitivo actual. (PFI-A-20).

Argumentación

Independientemente de la opción elegida, los PFI-A mostraron un mayor número de pruebas (2,21 pruebas/PFI-A) que los no afines (1,35). La prueba mayoritaria de los afines estaba relacionada con propiedades físicas (0,84 pruebas/PFI-A, usadas por 16/19 PFI), seguidas de pruebas mecánicas (0,53 pruebas/PFI-A, usadas por 8/19 PFI) y químicas (0,42 pruebas/PFI-A, 8/19 PFI), el resto de las pruebas fueron minoritarias. Algunos ejemplos fueron: *La bicicleta de aluminio presenta una ventaja notable debido a que es mucho más ligera y de esta manera es de fácil manejo (PFI-A-32); Es más resistente y duradero, comodidad, mejor para soldar (PFI-A-21).*

Los PFI-NA aportaron pruebas físicas (0,83 pruebas/PFI-NA, usadas por 19/23 PFI) como mayoritarias, siendo el resto minoritarias. Un ejemplo fue: *Es más cómoda una bicicleta de aluminio porque su peso es más ligero* (PFI-NA-18).

La calidad de las pruebas se considera aceptable, predominando las correctas (2,34 puntos/PFI-NA; 2,42 puntos/PFI-A). No prevalecieron las ideas personales (0,26 puntos/PFI-NA; 0,32 puntos/PFI-A).

La mayoría de los PFI no ofreció ninguna justificación (nivel 0), independientemente de su afinidad (65,22 %, PFI-NA; 57,89 %, PFI-A). En todos los casos las conclusiones alcanzadas fueron mayoritariamente adecuadas y precisas (nivel 2) (82,61 %, PFI-NA; 94,74 %, PFI-A). La ausencia de justificaciones hace que las decisiones adoptadas no estén debidamente argumentadas (Sadler y Zeidler, 2005; Yacoubian, 2018).

Los resultados revelan que el perfil de respuesta inicial de los dos grupos participantes era similar, independientemente de su formación. La prueba exacta de Fisher no detectó diferencias estadísticamente significativas en la toma de decisiones ($\chi^2 = 0,68$, $p > 0,05$) ni en ideas personales ($\chi^2 = 0,35$, $p > 0,05$), mientras que la prueba U de Mann-Whitney solo detectó diferencias con un tamaño de efecto medio entre los dos grupos de PFI en el uso de otras pruebas ($Z = -2,286$, $p = 0,022$, $r = 0,35$) y número de pruebas ($Z = -2,625$, $p = 0,009$, $r = 0,41$), ambas a favor de PFI-A. Estas diferencias pueden explicarse porque el problema tratado hizo aflorar en los PFI-A algunos conocimientos científicos relacionados con su formación, por lo que lograron superar su falta de conocimientos científicos al argumentar (Henderson et al., 2018).

Después del debate

Decisiones

Una visión global de las decisiones adoptadas (tabla 2) tras el debate muestra resultados prácticamente idénticos a los del pretest. Así, la prueba exacta de Fisher no mostró diferencias significativas en decisiones ($\chi^2 = 0,71$; $p > 0,05$).

No obstante, se observaron cambios de decisión recogidos en el diagrama Sankey (figura 1), donde se aprecia cómo los PFI-NA son más reacios a estos cambios (34,8 % de los casos) que los PFI-A (15,8 %). Por tanto, como parece lógico, el debate influyó más en los PFI-NA, que no poseían conocimientos sobre propiedades de los materiales (Henderson et al., 2018; Rodríguez-Mora et al., 2022).

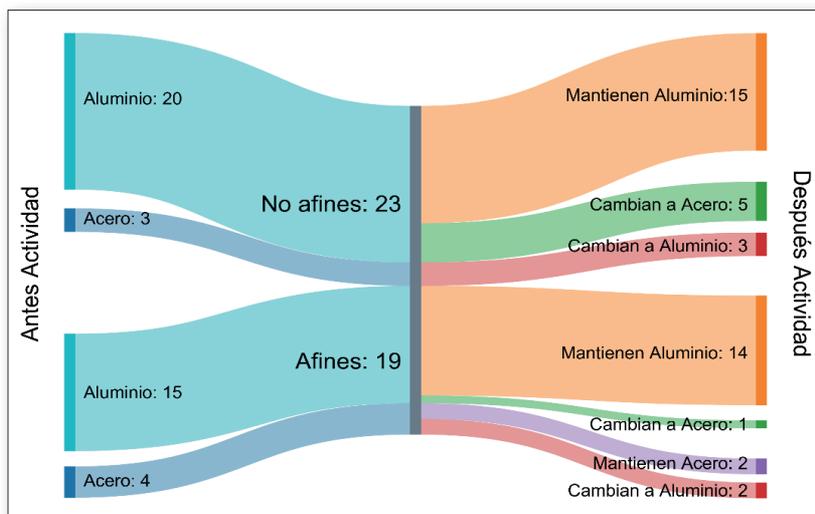


Fig. 1. Diagrama Sankey mostrando cambios de decisión.

Algunos argumentos ilustrativos de los distintos cambios de decisión son:

De aluminio a acero:

Para el uso que le voy a dar prefiero una bicicleta de aluminio, ya que pesa mucho menos. (PFI-NA-07, pretest). Las bicicletas de acero son más resistentes a golpes y caídas y, por tanto, más duraderas. Además, son más fáciles de reparar. (PFI-NA-07, postest).

De acero a aluminio:

Las bicicletas de acero son más baratas porque es un material más abundante y son más pesadas. Como no tengo mucha experiencia como ciclista, empezaría con una bicicleta más barata [...]. (PFI-NA-25, pretest). Estaba equivocado en mi razonamiento anterior. Las bicicletas de aluminio son más baratas y ligeras, por lo que presentan mayor ventaja. (PFI-NA-25, postest).

Argumentación

En el postest, la media de pruebas aumentó en ambos casos (de 1,35 a 2,83 pruebas/PFI-NA y de 2,21 a 2,68 pruebas/PFI-A), destacando el incremento en PFI-NA debido principalmente a que aportaron muy pocas pruebas en el pretest (tabla 4).

Los argumentos del postest destacan por su riqueza en una amplia tipología de pruebas independientemente de la decisión (Christenson et al., 2012; Ozturk y Yilmaz-Tuzun, 2017). Así, los argumentos de los PFI-NA siguen empleando mayoritariamente pruebas físicas (0,78 pruebas/PFI-NA), pero esta vez acompañadas de otras pruebas, económicas, químicas, o mecánicas, todas con una media por PFI de aproximadamente 0,50. En el caso de los PFI-A, las pruebas físicas siguen siendo mayoritarias (0,68 pruebas/PFI-A), junto a las mecánicas (0,64 pruebas/PFI-A), seguidas de las demás (más de 0,40 pruebas/PFI-A).

La calidad de las pruebas empeoró ligeramente en los PFI-NA (de 2,34 pruebas/PFI-NA a 2,00) y mejoró en los PFI-A (de 2,42 a 2,53). Dicho empeoramiento está relacionado con el empleo de la prueba económica incorrecta aludida, ya que 8 de los 13 PFI-NA que usaron dicha prueba (nivel 1) (tabla 4) incluían este error. Además, algunos PFI que expusieron pruebas económicas correctas en el pretest dieron por válida la información expuesta en el debate (véase ejemplo de PFI-NA-25). Otros PFI, pese a que dieron por válida esta prueba, mostraron sus dudas (*Elijo la bicicleta de aluminio. Tiene todas las prestaciones suficientes para un uso cotidiano siendo más barata. La debatiente a favor del acero ha dado argumentos que ponen en duda esta afirmación, por lo que no tengo claro si es realmente así. Tendría que informarme [...].*, PFI-A-36).

Por otro lado, la posibilidad de reflexionar sobre aspectos discutidos en el debate hizo que en el postest aumentaran ideas personales de los PFI-NA (de 0,25 puntos/PFI-NA a 0,52) mientras que para los PFI-A, disminuyó ligeramente (de 0,32 a 0,26).

Se detecta un progreso destacado en las justificaciones dadas (pretest: nivel 0-1, postest: nivel 1-2), encontrándose que tras el debate un elevado porcentaje de PFI fue capaz de dar justificaciones relacionando las pruebas con su conclusión (PFI-NA: 65,22 %; PFI-A: 84,21 %).

Asimismo, se avanza de forma muy importante en las conclusiones, puesto que el 100 % de los PFI ofreció una conclusión adecuada y precisa (nivel 2).

Los resultados muestran que las respuestas de los dos grupos de participantes siguen siendo bastante similares después del debate, considerándose en este caso decisiones bien argumentadas y basadas en conocimientos científicos en la mayoría de los casos (Sadler y Zeidler, 2005; Yacoubian, 2018). La prueba exacta de Fisher no mostró, como se ha indicado antes, diferencias significativas en decisiones ($\chi^2 = 0,71$; $p > 0,05$) ni ideas personales ($\chi^2 = 0,23$; $p > 0,05$), mientras que U de Mann-Whitney solo detectó diferencias estadísticamente significativas con un tamaño de efecto medio entre los dos grupos para la calidad de pruebas aportadas ($Z = -2,063$; $p = 0,039$, $r = 0,31$) a favor de PFI-A. Probable-

mente los argumentos del debate ayudaron a estos PFI-A a reforzar o completar algunas ideas que ya disponían de su formación afín de partida, por lo que mejoraron la calidad de las pruebas.

Impacto del debate

La prueba de McNemar no detectó diferencias estadísticamente significativas en las decisiones en ninguno de los casos analizados. Sin embargo, la actividad tuvo un impacto importante en la mejora de elaboración de argumentos en la totalidad de los PFI, pues la prueba de Wilcoxon detectó diferencias significativas a favor del postest en los tres elementos del argumento. Los avances se producen con un tamaño de efecto medio en el caso del número de pruebas ($Z = -3,785$; $p = 0,000$, $r = 0,41$), las pruebas económicas ($Z = -3,273$; $p = 0,001$, $r = 0,36$), otras pruebas ($Z = -2,841$; $p = 0,005$, $r = 0,31$) y las justificaciones ($Z = -3,593$; $p = 0,000$, $r = 0,39$), y con un tamaño de efecto pequeño para las pruebas mecánicas ($Z = -2,202$; $p = 0,028$, $r = 0,24$) y la conclusión ($Z = -2,236$; $p = 0,025$, $r = 0,24$).

El análisis sobre el posible impacto del debate según la afinidad del PFI reveló que las mejoras se producen principalmente en PFI-NA, donde se detectaron diferencias con un tamaño de efecto grande en el número de pruebas ($Z = -3,656$; $p = 0,000$, $r = 0,54$), con un tamaño de efecto medio para todos los tipos de pruebas excepto físicas (económicas y otras: $Z = -2,887$, $p = 0,004$, $r = 0,43$; químicas: $Z = -2,121$, $p = 0,034$, $r = 0,31$; mecánicas: $Z = -2,324$, $p = 0,020$, $r = 0,34$) y para las justificaciones ($Z = -2,385$; $p = 0,017$, $r = 0,35$) y con un efecto pequeño para la conclusión ($p = -2,000$; $p = 0,046$, $r = 0,29$).

Los PFI-A solo mejoraron en las justificaciones ($Z = -2,828$; $p = 0,005$, $r = 0,46$). Esto puede atribuirse a la afinidad en la formación previa de estos oyentes, lo que les otorgó conocimientos suficientes para presentar un mayor número y variedad de pruebas desde el principio en comparación con los PFI-NA, de acuerdo con Henderson et al. (2018) o Rodríguez-Mora et al. (2022), que indican que un bagaje de conocimientos científicos ayuda a construir buenos argumentos.

No obstante, es importante resaltar que esta actividad demostró ser efectiva en el desarrollo de argumentos (en lo que se refiere a la justificación) incluso para los PFI-A, lo que demuestra que, a pesar de que las pruebas (conocimientos) pueden ser adquiridas por distintos medios, la participación en esta actividad también contribuye a mejorar los argumentos expuestos.

En ninguno de los estudios se produjeron diferencias estadísticas en la calidad de las pruebas, ya que la media inicial por PFI era ya medio-alta y el error en las pruebas económicas expuestas en el postest no influyó lo suficiente.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos se extraen las siguientes conclusiones para cada pregunta de investigación:

- *¿Qué decisiones adoptan los PFI sobre el problema tratado antes del debate y cómo las argumentan?* (P1)

Los dos grupos identificados en los participantes (PFI-A y PFI-NA) mostraron perfiles similares de respuestas en cuanto a la decisión adoptada y a los argumentos empleados. La decisión mayoritaria fue elegir la bicicleta de aluminio (83,33 %), respaldada principalmente por pruebas físicas. En todos los casos, la calidad de las pruebas fue medio-alta y no estuvieron focalizadas en ideas personales. Las conclusiones fueron adecuadas y precisas, siendo la ausencia de justificaciones el punto débil de los argumentos, por lo que las decisiones no se consideran totalmente argumentadas (Sadler y Zeidler, 2005; Yacoubian, 2018).

La única diferencia estadística detectada se encontró en que los PFI-A fueron capaces de aportar un mayor número de pruebas y otras pruebas (expertos) relacionadas con su formación.

- *¿Qué tipos de pruebas y justificaciones utilizan los PFI que intervienen en el debate? (P2)*

El debate estuvo equilibrado respecto a la calidad de los argumentos, las justificaciones, el uso de pruebas e ideas personales. Las pruebas mostraron diferentes dominios del uso del razonamiento informal (Christenson et al., 2012; Ozturk y Yilmaz-Tuzun, 2017; Wu, 2013), entre las que fueron predominantes las pruebas mecánicas y otras, de calidad de nivel 2-3 (medio-alto), acompañadas por ideas personales.

La preparación del debate ayudó a mejorar la dificultad detectada en la literatura asociada a la falta de conocimientos científicos para argumentar adecuadamente (Henderson et al., 2018), puesto que la debatiente sin formación previa sobre propiedades de los materiales fue capaz de mantener, en líneas generales, un debate equilibrado con la PFI-A, salvo al rebatir, cuando se detectó el uso de más ideas personales (Muñetón et al., 2017).

- *¿Cómo cambian, si lo hacen, las decisiones de los PFI y los argumentos que las apoyan después del debate? (P3)*

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la decisión inicial y final. El aluminio siguió siendo el material más elegido, aunque se detectaron algunos cambios de decisión en los dos sentidos, principalmente en el grupo de PFI-NA.

Las mejoras detectadas tras la actividad revelan la influencia del debate en los argumentos elaborados por los oyentes. Algunas evidencias son que todas las diferencias significativas sean a favor del posttest o el uso de una mayor variedad de pruebas (todos los tipos se emplearon en el debate) (Christenson et al., 2012) con buena calidad y con la aportación de justificaciones, donde se detectó una mejora importante, así como conclusiones en los niveles más altos de la rúbrica, salvo en la calidad de las pruebas. Probablemente esto se debe a que se partía de un valor de calidad alto en el pretest y en el debate se aportaron pruebas económicas confusas. El debate no influyó en la incorporación de ideas personales, donde no hubo diferencias estadísticas.

Las mejoras son más relevantes en PFI-NA que PFI-A, ya que estos últimos, al disponer de un bagaje sobre el tema, solo mejoraron en las justificaciones, lo que revela la importancia de disponer de conocimientos científicos para argumentar adecuadamente (Henderson et al., 2018). El impacto del debate en estos avances fue importante, ya que en él se mostró un amplio conjunto de pruebas bien justificadas. Finalmente, las decisiones adoptadas tras el debate se pueden considerar bien argumentadas y basadas en conocimientos científicos en la mayoría de los casos (Sadler y Zeidler, 2005; Jiménez-Aleixandre, 2010).

LIMITACIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

Consideramos que la propuesta formativa se podría completar incluyendo una actividad final grupal que tenga por objetivo mostrar a los PFI el análisis de los argumentos utilizados para que sean conscientes de sus carencias y mejoras y puedan contribuir de esta forma a mejorar su argumentación. En este análisis, resulta de interés centrarnos también en la contraargumentación. Si bien es cierto que en la investigación presentada los argumentos analizados incluyen también contraargumentos, aunque no de manera separada, es fundamental mostrar al alumnado ejemplos de refutaciones como factor importante para conseguir argumentos de calidad (Jiménez-Aleixandre, 2010).

Otra limitación reside en que durante la actividad no aparecieron pruebas relacionadas con la sostenibilidad o el impacto ambiental de la producción de los diferentes materiales, así como su gestión posterior, aspecto clave para mejorar la conciencia ambiental a partir de este problema de la vida diaria (Hadjichambis et al., 2020). Por tanto, habría que abordar de manera explícita estos aspectos (Moreno-Fontiveros et al., 2022).

Finalmente, sería conveniente mostrar a los PFI la metodología y los resultados de este estudio y que sean conscientes de los beneficios que tienen para los oyentes y participantes para mejorar sus habilidades de toma de decisiones y argumentación a partir de problemas de la vida diaria (Moreno-Fon-tiveros et al., 2022), basándose en conocimientos científicos y tecnológicos (Sadler y Zeidler, 2005) y minimizando el uso de creencias, valores u opiniones personales (von Winterfeldt, 2013). Esta toma de conciencia puede ser una de las razones que les puede impulsar a utilizar este tipo de actividades en su futura práctica profesional.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de los siguientes proyectos:

- Proyecto I+D+i «Ciudadanos con pensamiento crítico: Un desafío para el profesorado en la enseñanza de las ciencias» (PID2019-105765GA-I00) financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033. El estudio se realizó de acuerdo con el protocolo aprobado por el Comité Ético de Experimentación de la Universidad de Málaga (CEUMA), referencia 31-2022-H.
- Beca de Iniciación a la Investigación, modalidad B (Máster), del I Plan Propio de Investigación, Transferencia y Divulgación Científica de la Universidad de Málaga, concedida a la primera autora de este trabajo en el curso 2021-2022.
- Proyecto de Innovación Educativa PIE22-184 del Grupo permanente de Innovación en Educación Crítica (EDUCRIT), financiado por la Universidad de Málaga, convocatoria INNOVA22 para bienio 2022-23.

REFERENCIAS

- Acevedo, J. A. (2006). Relevancia de los factores no-epistémicos en la percepción pública de los asuntos tecnocientíficos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 370-391. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2006.v3.i3.03
- Bailin, S. (2002). Critical thinking and science education. *Science & Education*, 11(4), 361-375. <https://doi.org/10.1023/A:1016042608621>
- Bargiela, I. M., Blanco, P. y Puig, B. (2022). Las preguntas para la indagación y activación de pensamiento crítico en educación infantil. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(3), 11-28. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5470>
- Blanco, H. A. y Forero, D. L. (2017). *Comportamiento del consumidor frente a la decisión de compra en artículos deportivos relacionados con el uso de bicicleta en la ciudad de Bogotá* [Tesis de doctorado]. Universidad Externado de Colombia.
- Blanco, A., España, E. y Franco-Mariscal, A. J. (2017). Estrategias didácticas para el desarrollo del pensamiento crítico en el aula de ciencias. *Ápice, Revista de Educación Científica*, 1(1), 107-115. <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2004>
- Bravo, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2018). Developing an Initial Learning Progression for the Use of Evidence in Decision-Making Contexts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(4), 619-638. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9803-9>

- Cano-Iglesias, M. J., Franco-Mariscal, A. J. y Blanco-López, A. (2021). Secuencia de actividades de argumentación para estudiantes de ingenierías industriales. En D. Cebrián-Robles, A. J. Franco-Mariscal, T. Lupión-Cobos, M. C. Acebal-Expósito y A. Blanco-López (Coords.), *Enseñanza de las ciencias y problemas relevantes de la ciudadanía. Transferencia al aula* (pp. 153-172). Graó.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Erlbaum.
- Christenson, N., Chang-Rundgren, S. N. y Höglund, H. O. (2012). Using the SEE-SEP Model to Analyze Upper Secondary Students' Use of Supporting Reasons in Arguing Socioscientific Issues. *Journal of Science Education and Technology*, 21, 342-352.
<https://doi.org/10.1007/s10956-011-9328-x>
- Cruz-Lorite, I. M., Cebrián, D., Acebal, M. C. y Evagorou, M. (2023). Analysis of the Informal Reasoning Modes of Preservice Primary Teachers When Arguing about a Socio-Scientific Issue on Nuclear Power during a Role Play. *Sustainability*, 15, 4291.
<https://doi.org/10.3390/su15054291>
- Duschl, R. A., Schweingruber, H. A. y Shouse, A.W. (Eds.) (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. National Research Council.
- Erduran, S., Simon, S. y Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's Argument Pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915-933.
<https://doi.org/10.1002/sce.20012>
- Fang, S. C., Hsu, Y. S. y Lin, S. S. (2019). Conceptualizing socioscientific decision making from a review of research in science education. *International Journal Science and Mathematics Education*, 17, 427-448.
<https://doi.org/10.1007/s10763-018-9890-2>
- Girón, J. R. y Lupión, T. (2022). Influencia de la publicidad en los argumentos de adolescentes sobre consumo alimentario. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(2), 167-192.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias>
- Grosick, T. L., Talbert, C., Myers, M. J. y Angelo, R. (2013). Assessing the landscape: Body image values and attitudes among middle school boys and girls. *American Journal of Health Education*, 44(1), 41-52.
<https://doi.org/10.1080/19325037.2012.749682>
- Jenkins, L. (2011). Using citizen science beyond teaching science content: A strategy for making science relevant to students' lives. *Cultural Studies of Science Education*, 6(2), 501-508.
- Jiménez, L. y Otero, J. (2019). La educación científica frente al pensamiento anticrítico en la vida diaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(1), 117-135.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2608>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Graó.
- Hadjichambis, A. C., Reis, P., Paraskeva-Hadjichambi, D., Činčera, J., Boeve-de Pauw, J., Gericke, N., y Knippels, M. C. (Eds.) (2020). *Conceptualizing Environmental Citizenship for 21st Century Education*. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-0249-1>
- Henderson, J. B., McNeill, K. L., González-Howard, M., Close, K. y Evans, M. (2018). Key challenges and future directions for educational research on scientific argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(1), 5-18.
<https://doi.org/10.1002/tea.21412>
- López, G. (2012). Pensamiento crítico en el aula. *Docencia e Investigación*, 37(22), 41-60.

- Lupión, T., López, R. y Blanco, A. (2017). What do science teachers think about developing scientific competences through context-based teaching? A case study. *International Journal of Science Education*, 39(7), 937-963.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1310412>
- Martín, M. C. y Salamanca, A. B. (2007). El muestreo en la investigación cualitativa. *Nure Investigación*, 27, 1-4.
- Moreno-Fontiveros, G., Blanco, A. y España, E. (2015). Importancia del ahorro energético en la decisión de comprar un coche. Un estudio en 3º de ESO. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 80, 29-37.
- Moreno-Fontiveros, G., Cebrián, D., Blanco, A. y España, E. (2022). Decisiones de estudiantes de 14/15 años en una propuesta didáctica sobre la compra de un coche. *Enseñanza de las Ciencias*, 40(1), 199-219.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3292>
- Muñetón, G., Ruiz, A. F., y Loaiza, O. L. (2017). Toma de decisiones: Explicaciones desde la ciencia aplicada del comportamiento. *Espacios*, 38(13), 1-12.
- Osborne, J. (2001). Promoting Argument in the Science Classroom: A Rhetorical Perspective. *Canadian Journal Science, Mathematics and Technology Education*, 3(1), 271-290.
<https://doi.org/10.1080/14926150109556470>
- Osborne, J. (2014). Teaching critical thinking. New directions in science education? *School Science Review*, 352, 53-62.
- Osborne, J., Henderson, J. B., MacPherson, A., Szu, E., Wild, A. y Yao, S. (2016). The development and validation of a learning progression for argumentation in science. *Journal Research in Science Teaching*, 53(6), 821-846.
<https://doi.org/10.1002/tea.21316>
- Ozturk, N. y Yilmaz-Tuzun, O. (2017). Preservice science teachers' epistemological beliefs and informal reasoning regarding socio-scientific issues. *Research in Science Education*, 47, 1275-1304.
<https://doi.org/10.1007/s11165-016-9548-4>
- Prieto, T., España, E. y Martín, C. (2012). Algunas cuestiones relevantes en la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 71-77.
http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2012.v9.i1.05
- Rivera, C., Arellano, C. y Molero, A. (2009). *Conducta del consumidor: Estrategias y políticas aplicadas al marketing* (2.ª ed.). ESIC Editorial.
- Rodríguez, R. (2012). El debate como estrategia de innovación docente. Experiencias en filosofía del derecho y teoría de la cultura. *UPO Innova: Revista de Innovación Docente*, 1, 493-503.
- Rodríguez-Mora, F., Cebrián, D. y Blanco, A. (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, 1075-1091.
<https://doi.org/10.1007/s11165-020-09985-z>
- Sadler, T. D. y Zeidler, D. L. (2005). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(1), 112-138.
<https://doi.org/10.1002/tea.20042>
- Simonneaux, L. (2001). Role-play or debate to promote students' argumentation and justification on an issue in animal transgenesis. *International Journal Science Education*, 23(9), 903-927.
<https://doi.org/10.1080/09500690010016076>
- Siribunnam, S., Nuangchalerm, P. y Jansawang, N. (2014). Socio-Scientific Decision Making in the Science Classroom. *Online Submission*, 5(4), 1777-1782.

- Solbes, J. y Torres, N. (2012). Análisis de las competencias de pensamiento crítico desde el abordaje de las cuestiones sociocientíficas: un estudio en el ámbito universitario. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 26, 247-269.
<https://doi.org/10.7203/dces.26.1928>
- Torres, N. y Solbes, J. (2016). Contribuciones de una intervención didáctica usando cuestiones sociocientíficas para desarrollar el pensamiento crítico. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(2), 43-65.
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1638>
- Toulmin, S. E. (2003). *The uses of argument* (3.ª ed.). Cambridge University Press.
- Villani, S. (2001). Impact of Media on Children and Adolescents: A 10-Year Review of the Research. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 40(4), 392-401.
<https://doi.org/10.1097/00004583-200104000-00007>
- von Winterfeldt, D. (2013). Bridging the gap between science and decision making. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110 (Supp. 3), 14055-14061.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1213532110>
- Yacoubian, H. A. (2018). Scientific literacy for democratic decision-making. *International Journal of Science Education*, 40(3), 308-327.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1420266>
- Wang, H. H., Chen, H. T., Lin, H. S., Huang, Y. N. y Hong, Z. R. (2017). Longitudinal study of a cooperation-driven, socio-scientific issue intervention on promoting students' critical thinking and self-regulation in learning science. *International Journal Science Education*, 39(15), 2002-2026.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1357087>
- Wu, Y. T. (2013). University students' knowledge structures and informal reasoning on the use of genetically modified foods: multi-dimensional analyses. *Research in Science Education*, 43, 1873-1890.
<https://doi.org/10.1007/s11165-012-9343-9>

Impact of a Socio-Scientific Debate on the Argumentative and Decision-Making Skills of Preservice Secondary Teachers

Pilar Bernal-Herrera, María José Cano-Iglesias, Antonio Joaquín Franco-Mariscal y Ángel Blanco-López
Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Málaga. Málaga. España
pilar_9@uma.es; mjcano@uma.es, anjoa@uma.es, ablancol@uma.es

This research explores the impact that a debate about the choice of an everyday product has on argumentation and decision-making skills, which are important dimensions of critical thinking. The study involves 45 students (59.5 % females and 40.5 % males) specializing in sciences in the master's degree in Secondary Education at the University of Malaga (Spain). This case involves a choice between materials (steel or aluminum) when purchasing a bicycle. The activity consists of a brief debate, featuring a presenter and two debaters taking opposing stances, while the rest of the students act as listeners. The debate follows a structure, beginning with an impartial presentation of the issue by the presenter (three minutes), followed by one-minute opening statements from each debater (prepared in advance), a five-minute discussion, and concluding with one-minute closing remarks.

The aim is to comprehend the decisions taken by the master's students before the debate and to analyze their argumentation. Additionally, we examine whether and how these decisions change after the debate and what types of evidence and justifications are employed by the participants in this discussion.

The data collection instruments included a pre- and post-test concerning the decisions and arguments of the listeners, as well as the preparation reports and audio recordings of the debate. An analysis of the decisions taken before and after the debate and their potential changes was conducted, along with an argument analysis, which included a qualitative study to define response categories and a statistical treatment using non-parametric tests. All arguments, whether written or oral, were assessed using a rubric based on the simplified Toulmin model, identifying evidence, justifications, and conclusions. For the evidence, the number, type, and quality were analyzed, and the inclusion of personal ideas was also considered.

Students were divided into two groups based on their prior education: one group had studied degrees that included training in material properties (related degrees such as Chemistry, Chemical Engineering, etc.), while the other group had degrees that did not encompass this training (unrelated grades such as Biology, Veterinary science, etc.).

Students with both related and unrelated degrees exhibited similar initial response patterns in terms of their choices and the arguments they employed. Most of them chose the aluminum bicycle (83.33 %), supported by physical evidence. In all instances, the quality of the evidence was moderately to highly reliable, with minimal emphasis on personal opinions. Conclusions were appropriate and precise, although the weakness in the arguments stem from the absence of justifications.

The debate was balanced in terms of argument quality, justifications, use of evidence, and personal ideas. The evidence showed different domains of informal reasoning, with mechanical evidence being predominant alongside personal ideas. Debate preparation helped to mitigate the challenges associated with a lack of scientific knowledge in presenting arguments effectively.

No statistically significant differences were detected between the initial and final decisions. Aluminum remained the most chosen material, although some decision changes were observed, mainly among students from unrelated degree programs. The improvements identified after the activity highlight the impact of the debate on the arguments presented by the listeners. Some evidence includes a broader use of high-quality evidence in the post-test, as well as the inclusion of justifications and conclusions at the highest levels of the rubric.

The progress is more relevant among students from unrelated degrees than among those from related programs, as the latter, having a background in the subject, only improved in justifications. The impact of the debate was significant, demonstrating a wide range of well-justified evidence. Finally, the decisions after the debate can be considered well-argued and grounded in scientific knowledge in most cases.



¿Qué estrategia es mejor para un problema de Fermi? Adaptabilidad de futuros maestros

Which is the Best Strategy for a Fermi Problem? Adaptability of Pre-Service Teachers

Carlos Segura, Irene Ferrando

Departamento de Didáctica de la Matemática, Universitat de València, València, España
carlos.segura@uv.es, irene.ferrando@uv.es

RESUMEN • Los problemas de Fermi, adecuados para primaria, plantean una situación real y abierta que permite desarrollar y comparar múltiples estrategias, lo que requiere que los maestros sean adaptables (capaces de escoger la más apropiada). El objetivo de este trabajo es caracterizar y analizar la adaptabilidad de futuros maestros cuando resuelven estos problemas. Para ello, la investigación se divide en dos estudios. El Estudio 1 presenta una encuesta dirigida a expertos en educación matemática; el análisis de sus respuestas permite vincular las características contextuales de los problemas con estrategias, y estas, con criterios de adecuación (precisión, rapidez y rigor). Estos resultados conducen a una caracterización de adaptabilidad que nos permite abordar el Estudio 2 con futuros maestros, y se concluye que la mayoría de los resolutores adaptables usan estrategias de manera no sistemática.

PALABRAS CLAVE: Adaptabilidad; Flexibilidad; Estimación; Modelización; Problemas de Fermi.

ABSTRACT • Fermi problems, suitable for primary school, pose a real and open situation that allows the development and comparison of multiple strategies. This requires teachers to be adaptive (able to choose the most appropriate strategy). The aim of this paper is to characterise and analyse the adaptability of prospective teachers when solving these problems. For this purpose, the research is divided into two studies. Study 1 presents a survey addressed to experts in mathematics education; the analysis of their answers makes it possible to link the contextual characteristics of the problems with strategies, and these with appropriateness criteria (accuracy, speed and rigour). These results lead to a characterisation of adaptability that allows us to approach Study 2 with pre-service teachers, finding that most adaptive solvers use strategies non-systematically.

KEYWORDS: Adaptability; Flexibility; Estimation; Modelling; Fermi problems.

Recepción: junio 2023 • Aceptación: septiembre 2023 • Publicación: noviembre 2023

INTRODUCCIÓN

Los problemas de Fermi plantean una situación real y abierta que debe simplificarse para realizar estimaciones y cálculos sencillos (Årlebäck, 2009). Su relevancia se debe a que son una vía accesible para introducir la modelización en educación primaria (Albarracín y Gorgorió, 2019). Para implementar con éxito este tipo de problemas en las aulas es necesario que los docentes sean competentes en su resolución (Chapman, 2015; Sáenz, 2007; Van Dooren et al., 2003).

Una de las particularidades de los problemas de Fermi es que se pueden clasificar las múltiples estrategias de resolución (Albarracín et al., 2021). Los futuros maestros deben ser capaces de escoger y comparar distintas estrategias, y sucesivos trabajos han profundizado en este aspecto. Así, Ferrando et al. (2021) encontraron que algunas características contextuales de los problemas de Fermi influyen en la selección de estrategias. La influencia del contexto posibilita diseñar secuencias de problemas de Fermi que promuevan cambios de estrategia, es decir, un uso flexible de estas (Segura et al., 2023; Segura y Ferrando, 2023).

Continuando los estudios previos, es importante interpretar si los cambios de estrategia de los maestros en formación responden a la selección de la más adecuada según el contexto del problema de Fermi que debe resolverse, lo que Verschaffel et al. (2009) denominan adaptabilidad. A pesar de la importancia de comparar múltiples estrategias (Heinze et al., 2009), existen pocos estudios que exploren estas habilidades en el marco de los problemas reales (Schukajlow et al., 2015). En particular, no se ha estudiado qué caracteriza la adaptabilidad en resolución de problemas de Fermi ni, en consecuencia, qué adaptabilidad demuestran los futuros maestros.

Para abordarlo, presentamos una investigación dividida en dos estudios conectados. El Estudio 1 presenta el análisis de las respuestas de 81 expertos en matemáticas o su didáctica a un cuestionario diseñado con dos objetivos: relacionar las características contextuales de una secuencia de problemas de Fermi con las estrategias de resolución y vincular estas con criterios de adecuación, que estudios previos asocian a la rapidez, la precisión o el rigor (Heinze et al., 2009; Star y Rittle-Johnson, 2008; Threlfall, 2002). Estos objetivos permiten responder a qué caracteriza la adaptabilidad cuando se resuelve una secuencia de problemas de Fermi. En el Estudio 2 se utiliza la caracterización obtenida en el Estudio 1 para analizar las estrategias de 224 futuros maestros, lo que permite determinar qué adaptabilidad demuestran cuando resuelven la secuencia de problemas de Fermi.

MARCO TEÓRICO

Resolución de problemas de Fermi

Årlebäck (2009) define los problemas de Fermi como tareas abiertas y no estándar que plantean una situación real que requiere hacer suposiciones y estimar cantidades relevantes antes de realizar cálculos sencillos. La investigación se ha centrado en describir y caracterizar el proceso de resolución: requiere que los estudiantes partan de un conocimiento previo sobre el mundo real (Henze y Fritzlar, 2010) para descomponer el problema en subproblemas más sencillos (Carlson, 1997) donde formular conjeturas fundamentadas (Efthimiou y Llewellyn, 2007; Sriraman y Lesh, 2006; Sriraman y Knott, 2009) y obtener estimaciones razonables (Taggart et al., 2007) que conduzcan a la solución. Algunos autores encuentran similitudes de este proceso con el ciclo de modelización (Peter-Koop, 2009; Robinson, 2008).

En este estudio nos centraremos en un subconjunto de problemas de Fermi: aquellos que consisten en estimar un gran número de elementos en una superficie acotada, por ejemplo, cuántas personas caben en la Puerta del Sol en la celebración de Nochevieja. Albarracín et al. (2021) determinaron

esquemas que clasifican todas las estrategias posibles para este tipo de problemas. Las estrategias categorizadas son cuatro: recuento; linealización (distribuir los elementos por filas); unidad base (dividir el área total por el área de un elemento tomado como unidad de medida) y densidad (multiplicar el área total por una densidad estimada). Esto permite considerar los problemas de Fermi como tareas de solución múltiple (Levav-Waynberg y Leikin, 2012) en las que se puede controlar qué estrategias se utilizan y analizar si los resolutores emplean varias estrategias.

Este tipo de problemas pueden servir como medio de iniciación a la modelización matemática en educación primaria (Albarracín y Gorgorió, 2019; English, 2011; Haberzettl et al., 2018). Sin embargo, varios estudios indican que los maestros en formación tienen dificultades con los problemas de modelización (Klock y Siller, 2020). En particular, se ha desarrollado recientemente una línea de investigación sobre errores y dificultades de futuros maestros en la resolución de problemas de Fermi (Pla-Castells et al., 2021; Segura y Ferrando, 2023). En línea con estudios previos (Chapman, 2015), esos trabajos encontraron que los futuros maestros usan una gama reducida de estrategias, aunque estas no sean productivas o eficaces. Trabajos recientes destacan la importancia de usar y comparar múltiples estrategias para la competencia en modelización (Huinchahue-Arcos et al., 2018) y, en particular, para resolver problemas de Fermi (Segura y Ferrando, 2023). Otras investigaciones relacionan el conocimiento de varias estrategias y de su eficacia con la creatividad, tanto para problemas de modelización (Lu y Kaiser, 2022) como para problemas de Fermi (Okamoto et al., 2023).

Adaptabilidad en resolución de problemas

Schoenfeld (1982) señala que el éxito en la resolución de problemas se basa en dos condiciones: por un lado, conocer las técnicas básicas de resolución de problemas; por otro, ser competente en la selección y gestión de las estrategias adecuadas. Lemaire y Siegler (1995) distinguen cuatro dimensiones de la competencia estratégica: 1) el repertorio de estrategias conocido; 2) la frecuencia con la que se utiliza cada estrategia; 3) la eficacia con la que se ejecuta cada estrategia, medida en términos de rapidez o precisión; 4) la adaptabilidad de la estrategia elegida. Así, una parte importante de la competencia en resolución de problemas consiste en gestionar de manera adaptable varias estrategias, seleccionando consciente o inconscientemente la más adecuada para un problema matemático dado en un contexto determinado (Heinze et al., 2009; Newton et al., 2020; Verschaffel et al., 2009). Así, la adaptabilidad requiere la flexibilidad del resolutor, es decir, la capacidad de elegir entre diferentes estrategias cuando se enfrenta a un problema matemático (Heinze et al., 2009; Nistal et al., 2012; Selter, 2009). Sin embargo, va más allá, ya que se refiere a la capacidad de elegir la más apropiada (Verschaffel et al., 2009).

Siguiendo las dimensiones de la competencia estratégica de Lemaire y Siegler (1995), en este trabajo distinguiremos –aunque la segunda es un caso específico de la primera– entre *flexibilidad a lo largo de una secuencia de problemas de Fermi*, entendida como el cambio de estrategia de un problema a otro de la secuencia (dimensiones 1 y 2); y *adaptabilidad a lo largo de una secuencia de problemas de Fermi*, entendida como la capacidad de seleccionar la estrategia más adecuada para cada problema en función de ciertas características contextuales (dimensiones 3 y 4).

Escoger la estrategia más adecuada para un problema implica asumir un criterio explícito o implícito de su eficacia. El conocimiento de la eficacia de la estrategia es una característica clave de los expertos en resolución de problemas (Star y Rittle-Johnson, 2008; Selter, 2009). Al respecto, Hicken-dorff (2022) distingue entre el *conocimiento potencial* –el que el resolutor podría llegar a conocer– y el *conocimiento práctico* –el que se utiliza realmente– cuando se elige entre varias estrategias.

Criterios de adecuación de estrategias para problemas de Fermi

Determinar qué se entiende por la estrategia más adecuada o eficaz para un tipo de problema dado es un reto teórico (García Coppersmith y Star, 2022; Heinze et al., 2009), pues requiere explicitar unos criterios que justifiquen la elección. Explicitarlos puede ser sencillo para actividades como la resolución de ecuaciones o el cálculo mental, donde el criterio podría ser la reducción del número de pasos para obtener la solución, lo que llamamos rapidez (Blöte et al., 2001; Lemaire y Siegler, 1995; Star y Rittle-Johnson, 2008). Si se debe realizar una estimación, otro posible criterio es la precisión del resultado (Lemaire y Siegler, 1995; Threlfall, 2002). No obstante, Threlfall (2002) encuentra dificultades para elegir qué estrategia es la más rápida o precisa en el cálculo mental y en la estimación computacional. La elección aún es más compleja en problemas de Fermi, en los que las características contextuales pueden tener influencia en la rapidez o precisión de una estrategia, y en los que podrían existir otros criterios.

En este sentido, resultados previos facilitan la definición de unos criterios de adecuación de estrategias para problemas de Fermi. Los esquemas de Albarracín et al. (2021) estructuran el proceso de resolución y explicitan el número de operaciones hasta alcanzar la estimación, por lo que se puede asumir el criterio de *rapidez* (menor número de pasos). Por otro lado, el criterio de *precisión* está asociado a la fiabilidad de la estimación obtenida. Estos dos criterios, como hemos visto, ya aparecen en la literatura sobre adaptabilidad en problemas intramatemáticos. Pero Albarracín et al. (2021) también incluyen, en sus esquemas, posibles supuestos realistas y procedimientos parciales de medida y estimación que enriquecen el proceso de resolución y dan mayor verosimilitud al resultado (Krawitz et al., 2018; Segura et al., 2021). Esto permite definir otro criterio específico para los problemas de Fermi: el *rigor*, entendido como el uso de procedimientos empíricamente fundamentados y cuidadosamente ejecutados durante el desarrollo de una estrategia.

Llegados a este punto, hay que hacer una distinción teórica entre estos tres criterios. La precisión se refiere a que una estimación es más exacta que las demás, lo que implica poder validarla con datos sobre la situación real planteada por el problema. Así, siguiendo la distinción de Hickendorff (2022), para muchos problemas de Fermi –como los que presentamos en este trabajo, para los que no se dispone de datos y cuya solución debe ser analizada por su consistencia interna (Segura y Ferrando, 2023)– la precisión es un *criterio potencial*, mientras que la rapidez y el rigor son *criterios prácticos*.

Albarracín et al. (2021) proponen como problema de investigación estudiar si las estrategias y criterios de adecuación pueden depender de algunas características contextuales de los problemas de Fermi. En efecto, Ferrando et al. (2021) encontraron, en un estudio con futuros maestros, una relación entre estrategias y ciertas características contextuales: el orden en la disposición de los elementos que se van a estimar se relaciona con la linealización, mientras que el desorden se vincula a la densidad, especialmente cuando el tamaño de los elementos que se va a estimar es pequeño; por el contrario, cuando el tamaño de los elementos que estimar es grande, aumentan las estrategias basadas en la unidad base. Averiguar si el uso de estas estrategias también está relacionado con criterios de adecuación (rapidez, precisión o rigor) nos permitiría abordar el estudio de la adaptabilidad en problemas de Fermi.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Presentamos un estudio exploratorio sobre la adaptabilidad de los maestros en formación al resolver una secuencia de problemas de Fermi. En particular, este trabajo pretende responder a dos preguntas de investigación:

Pregunta de investigación 1. ¿Qué caracteriza la adaptabilidad cuando se resuelve una secuencia de problemas de Fermi?

- 1a) ¿Cómo se relacionan las estrategias con las características contextuales del problema?
- 1b) ¿Cómo se relacionan las estrategias de resolución con los criterios de adecuación?

Pregunta de investigación 2. ¿Qué adaptabilidad demuestran los futuros maestros al resolver los problemas de Fermi?

Esta investigación se basa en dos estudios vinculados entre sí, de los cuales el segundo depende de los resultados del primero. Por claridad, primero presentaremos la metodología y resultados del Estudio 1; a continuación, los del Estudio 2. En las secciones de discusión y conclusiones, se presentarán conjuntamente los resultados de ambos estudios para dar una respuesta completa e integrada a las preguntas de investigación.

ESTUDIO 1: CARACTERIZACIÓN DE LA ADAPTABILIDAD EN RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE FERMI

Metodología del Estudio 1

Participantes

En este estudio participaron 81 expertos en educación matemática (57 % hombres). Entre abril y mayo de 2020, se envió una invitación a participar en un cuestionario *online* a través de diferentes canales para asegurar un conocimiento sólido de los participantes: la lista de correo de la SEIEM (Sociedad Española de Investigación en Educación Matemática) y de la comisión de educación de la RSME (Real Sociedad Matemática Española), así como una lista de correo de profesores de secundaria que habían participado en cursos de formación en modelización matemática (y, por tanto, familiarizados con los problemas de Fermi).

En cuanto a la formación de los participantes, la mayoría (64 %) son licenciados en Matemáticas, el 32,1 % de ellos son doctores en Matemáticas y el 12,3 % son doctores en Educación Matemática. La mayoría de los participantes (51,9 %) imparten asignaturas de matemáticas en educación secundaria. El 32,1 % imparte asignaturas de matemáticas o didáctica de las matemáticas en grados de Maestro/a en Educación Primaria o en el máster de Educación Secundaria. El 21 % imparte asignaturas de matemáticas en titulaciones de Matemáticas, Física o Ingeniería.

Recogida de datos

El instrumento de recogida de datos del Estudio 1 es un cuestionario con preguntas cerradas, con una lista de respuestas predeterminadas entre las que el participante debe elegir. Estas respuestas tienen un rango similar y pueden agruparse para extraer conclusiones mediante análisis estadístico. El cuestionario incluye una secuencia de cuatro problemas de Fermi (tabla 1), la misma utilizada en el Estudio 2 con futuros maestros. Cada enunciado del problema iba acompañado de una imagen.

Obersteiner et al. (2022) destacan que, para evaluar la adaptabilidad en la elección de estrategias, las características del problema deben construirse cuidadosamente. Así, para el diseño de la secuencia de cuatro problemas de Fermi se siguió la teoría de la variación (Ko y Marton, 2004), construyendo un contraste entre variables contextuales previamente estudiado (Ferrando et al., 2021; Segura et al.,

2023). Este contraste en una secuencia de problemas ayuda a discernir un nuevo aspecto de la situación real planteada por un problema a través de la comparación con otro problema. En la secuencia de la tabla 1, las diferencias de contraste entre problemas se refieren al tamaño de los elementos y del espacio total, pero también a la regularidad o no de la forma de los elementos, y al orden o desorden en la disposición de los elementos. Ferrando et al. (2021) explicaron detalladamente el valor de estas variables (tamaño, forma y disposición).

Tabla 1.
Enunciados de la secuencia de problemas de Fermi y valor de las variables contextuales

<i>Enunciado</i>	<i>Valor de las variables contextuales</i>
<i>P1-Personas.</i> ¿Cuántos estudiantes caben en el porche de la Facultad de Magisterio?	Tamaño de los elementos: medio Disposición: desordenada Forma de los elementos: irregular Tamaño del espacio: medio
<i>P2-Adoquines.</i> ¿Cuántos adoquines hay entre el edificio de la Facultad y el gimnasio?	Tamaño de los elementos: pequeño Disposición: ordenada Forma de los elementos: regular Tamaño del espacio: grande
<i>P3-Hierba.</i> ¿Cuántas briznas de hierba hay en esta parcela?	Tamaño de los elementos: pequeño Disposición: desordenada Forma de los elementos: irregular Tamaño del espacio: pequeño
<i>P4-Coches.</i> ¿Cuántos coches caben en el aparcamiento de la Facultad sin dejar espacio libre?	Tamaño de los elementos: grande Disposición: ordenada Forma de los elementos: regular Tamaño del espacio: grande

Para responder a la primera pregunta de investigación, necesitamos conocer cuál es, para los expertos, la estrategia más adecuada en cada uno de los cuatro problemas de la secuencia y cuál es el criterio que justifica su elección.

El cuestionario de expertos se divide en cuatro secciones en las que se presentan los problemas de Fermi de la secuencia (tabla 1). Al enunciado del problema le siguen dos preguntas relacionadas con las estrategias para resolverlo. La primera pregunta es: «¿Cuál de las siguientes estrategias es la más adecuada para este problema?». Las posibles respuestas son el repertorio de estrategias categorizadas en estudios previos (Albarracín et al., 2021, Ferrando et al., 2021): recuento, linealización, unidad base, densidad. No obstante, para evitar sesgos o ambigüedades en la interpretación de cada una de estas estrategias, en cada problema se describe brevemente la estrategia de resolución y, además, se incluye la opción «No hay una estrategia más adecuada que otra». En la figura 1 mostramos un extracto del cuestionario de expertos, que corresponde al problema *P3-Hierba*.

P3. ¿Cuántas briznas de hierba hay en esta parcela?



¿Cuál de las siguientes estrategias es la más adecuada para este problema? *

- Estrategia 1. Se propone contar las briznas de hierba que hay en la parcela.
- Estrategia 2. Se estima el número de briznas de hierba que forman una fila a lo largo de la parcela y se multiplica por el número de filas que cubren el ancho de la parcela para obtener el número de briznas.
- Estrategia 3. Se calcula el área de la parcela, se calcula el área de una brizna de hierba como unidad base, y se divide el área total entre el área ocupada por una brizna para obtener el número de briznas.
- Estrategia 4. Se determina una unidad de área en la parcela y se estima cuántas briznas caben dentro de esa unidad de área. Se obtiene la densidad (nº de briznas/unidad de área). Se calcula el área de la parcela en unidades de área y luego se multiplica la densidad por el área total de la parcela para obtener el número de briznas.
- No hay una estrategia más adecuada que otra.

Fig. 1. Extracto del cuestionario de expertos.

La segunda pregunta es «¿En cuál de los siguientes criterios se basó para elegir la estrategia más adecuada?». Las posibles respuestas son los criterios de adecuación definidos en el marco teórico: rapidez («La estrategia elegida es la que proporciona la estimación más rápida»); precisión («La estrategia elegida es la que proporciona la estimación más exacta»); rigor («La estrategia elegida se basa en procedimientos de cálculo más rigurosos/cuidadosos»). Los participantes podían marcar más de un criterio y la opción abierta «Otro» para proponer un criterio diferente.

Resultados del Estudio 1

Relación entre estrategias y características contextuales

A partir de las respuestas de los 81 expertos que completaron el cuestionario podemos abordar las preguntas 1a) y 1b), que nos permitirán responder a la primera pregunta de investigación. Examinemos primero cómo se relacionan las estrategias de resolución con las características contextuales de cada problema de la secuencia.

Los resultados del cuestionario que figuran en la tabla 2 muestran que existe una correlación estadísticamente significativa entre la estrategia elegida por los expertos como la más adecuada y los problemas de secuencia (caracterizados por su contexto, según la tabla 1), con un valor de la prueba

chi cuadrado $\chi^2(12, 324) = 108,88$ con $p < ,001$ y un tamaño de efecto medio ($V = ,34$). Puesto que más de un 20 % de las frecuencias es menor que 5, la fiabilidad de esta relación debe confirmarse mediante la prueba de razón de verosimilitud, para la que se obtiene $LR = 142,86$ con una significación asintótica (bilateral) inferior a 0,001.

Tabla 2.
Relación entre la estrategia elegida como más adecuada y el problema de la secuencia, en las respuestas de N = 81 expertos

	<i>Recuento</i>	<i>Linealización</i>	<i>Unidad base</i>	<i>Densidad</i>	<i>No hay más apropiada</i>
P1	1 (1 %)	3 (4 %)	35 (43 %)	34 (42 %)	8 (10 %)
P2	2 (2 %)	20 (25 %)	40 (49 %)	15 (19 %)	4 (5 %)
P3	0 (0 %)	2 (2 %)	9 (11 %)	67 (83 %)	3 (4 %)
P4	2 (2 %)	26 (32 %)	30 (37 %)	19 (24 %)	4 (5 %)
Total	5 (1 %)	51 (16 %)	114 (35 %)	135 (42 %)	19 (6 %)

La tabla 2 muestra que en el problema *P1-Personas* las estrategias más apropiadas según los expertos son la unidad base y la densidad; en *P2-Adoquines*, son la unidad base y la linealización; en *P3-Hierba*, la estrategia más apropiada es, con diferencia, la densidad; y en *P4-Coches*, son la unidad base y la linealización. Como se explicó en el marco teórico, en el estudio de Ferrando et al. (2021) se demostró que los problemas en los que se presenta claramente una disposición ordenada de los elementos promueven estrategias de linealización. En ese estudio también se encontraba que, cuando el tamaño de los elementos es pequeño y su disposición es desordenada, la estrategia de densidad es la más usada por los futuros maestros; y que cuando el tamaño de los elementos a estimar es grande o regular, tendían a utilizar la unidad base. Estas asociaciones se confirman en los resultados del cuestionario de expertos.

Relación entre estrategias y criterios de adecuación

Con el fin de examinar cómo se relacionan las estrategias con los criterios de adecuación, analizaremos las preguntas del cuestionario de expertos relacionadas con dichos criterios. En general, el criterio de adecuación más elegido por los expertos fue el de precisión (38 %), seguido de rapidez (36 %) y rigor (23 %). Los expertos no sugirieron ningún otro criterio, y solo el 3 % utilizó la opción abierta «Otro» para decir que no existe ningún criterio de adecuación objetivo. Por lo tanto, podemos descartar otros criterios distintos de los elegidos en este estudio.

Tabla 3.
Relación entre la estrategia elegida como más apropiada y el criterio de adecuación que justifica la elección, en las respuestas de N = 81 expertos

	<i>Recuento</i>	<i>Linealización</i>	<i>Unidad base</i>	<i>Densidad</i>	<i>No hay más apropiada</i>
Precisión	5	29	44	78	4
Rapidez	0	8	78	34	4
Rigor	1	35	17	72	1
Otro (sin criterio)	0	0	0	2	11

La tabla 3 muestra la relación entre las estrategias seleccionadas por los expertos como más apropiadas en los problemas y el criterio de adecuación con el que las relacionaron. Utilizando la prueba chi cuadrado de independencia de variables nominales, obtenemos $\chi^2(12, 423) = 276,53$ con $p < ,001$. Dado que más del 20 % de las celdas tienen una frecuencia inferior a cinco, es necesario confirmar la fiabilidad con una prueba de razón de verosimilitud (*LR*), obteniendo $LR = 153,74$ con una significancia asintótica (bilateral) menor que 0,001, que garantiza que la correlación entre estrategias y criterios de adecuación es significativa. Además, el tamaño del efecto, medido por la *V* de Cramer, es fuerte ($V = ,47$).

La asociación observada entre estas variables nos informa de que la linealización está relacionada con los criterios de precisión y rigor; que la unidad base está claramente vinculada con el criterio de rapidez, pero también con la precisión; y que la densidad guarda relación con los criterios de precisión y rigor.

Caracterización de adaptabilidad

Se ha observado que los expertos respaldan la existencia de características contextuales de los problemas de la secuencia que hacen más apropiado el uso de determinadas estrategias (tabla 2). Por lo tanto, diremos que un resolutor muestra *adaptabilidad contextual* cuando elige una estrategia relacionada con las características contextuales del problema. Además, dado que también hemos encontrado relaciones entre estrategias y criterios de adecuación, es posible caracterizar comportamientos dentro de la adaptabilidad contextual.

Como hemos explicado en el apartado 2.3, para los problemas de Fermi empleados en esta secuencia la precisión es un criterio potencial, al que todo resolutor aspira, ya que el objetivo es hacer una estimación lo más precisa posible. Sin embargo, al tratarse de problemas sin datos y de respuesta abierta, este criterio no puede considerarse como un criterio práctico, por lo que nos fijaremos en los otros dos que son, en cierto modo, complementarios. En efecto, la precisión puede alcanzarse a través de la rapidez, obteniendo una estimación ajustada en un número reducido de pasos. La precisión también puede alcanzarse a través del rigor, tratando de realizar una resolución exhaustiva que tenga en cuenta más aspectos del contexto real (por ejemplo, heterogeneidad en el tamaño de los elementos; obstáculos en la superficie, etc.) en el que se formula el problema. La tabla 4 muestra, a partir de las respuestas de los expertos, cuál es la estrategia más adecuada para cada problema según los criterios de adecuación práctica elegidos.

Tabla 4.
Estrategia más adecuada para cada problema
en función de los criterios de adecuación práctica elegidos

	<i>Recuento</i>	<i>Linealización</i>	<i>Unidad base</i>	<i>Densidad</i>
P1			Rapidez	Rigor
P2		Rigor	Rapidez	
P3				Rigor
P4		Rigor	Rapidez	

Puede ocurrir que el resolutor no se base sistemáticamente en ningún criterio de adecuación, sino que, consciente o inconscientemente, cambie de estrategia a lo largo de la secuencia siguiendo sencillamente la variación de las características contextuales (*adaptabilidad contextual no sistemática*). Por

ejemplo, si un resolutor sigue el siguiente patrón de uso de estrategias: *P1-Personas* resuelto por estrategia de densidad, *P2-Adoquines* resuelto por linealización, *P3-Hierba* resuelto por densidad y *P4-Coches* resuelto por unidad base. Este resolutor no sigue un criterio de adecuación estable a lo largo de toda la secuencia: la unidad base está asociada al criterio práctico de rapidez, mientras que la linealización y la densidad se asocian con el criterio práctico de rigor.

Otro comportamiento posible podría ser el de un resolutor que, en función de las características contextuales de cada problema, cambia de estrategia teniendo en cuenta solo uno de los dos criterios prácticos (rapidez o rigor). Por lo tanto, dentro de la adaptabilidad contextual, si el resolutor tiene en cuenta sistemáticamente uno de los dos criterios, podemos caracterizar dos comportamientos específicos de adaptabilidad. Así, definimos la *adaptabilidad eficiente* cuando el resolutor elige sistemáticamente la estrategia que busca la rapidez como criterio práctico de adecuación. De manera complementaria, definimos la *adaptabilidad meticulosa* cuando se busca sistemáticamente el rigor como criterio práctico de adecuación.

Por lo tanto, cuando el resolutor muestra una adaptabilidad contextual eficiente, caracterizamos el siguiente patrón estratégico: P1 se resuelve con unidad base, P2 con unidad base, P3 con densidad (aquí es importante señalar que la rapidez no es un criterio viable en este problema, debido a la baja frecuencia de elección, 11 %, y la elección está supeditada a las características contextuales del problema) y P4 con unidad base.

Del mismo modo, si aplicamos sistemáticamente la definición de adaptabilidad meticulosa contextual a todos los problemas de la secuencia, obtenemos el siguiente patrón estratégico: P1 se resuelve con densidad, P2 con linealización, P3 con densidad y P4 con linealización.

ESTUDIO 2: ANÁLISIS DE LA ADAPTABILIDAD DE FUTUROS MAESTROS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE FERMI

Metodología del Estudio 2

Participantes

El segundo estudio se llevó a cabo en la Facultad de Magisterio de la Universitat de València (España). La muestra estuvo formada por 224 estudiantes del último curso del grado de Maestro/a en Educación Primaria, con una edad media de 23,9 años, de los cuales el 72 % son mujeres. Esta muestra representa el 25 % de los estudiantes de este curso en la universidad donde se llevó a cabo la investigación.

Recogida de datos

Los dos autores se encargaron de la recogida de datos, que se realizó durante los cursos académicos 2017-18 y 2018-19. El instrumento de recogida de datos en esta fase fue la secuencia de cuatro problemas de Fermi, también utilizada en el Estudio 1 (tabla 1). Durante una sesión ordinaria de clase de 90 minutos, se proporcionó a cada participante los enunciados escritos de los cuatro problemas. Aunque el contexto de los problemas era conocido por los participantes (se refieren a lugares del entorno de la Facultad), cada enunciado iba acompañado de una fotografía. Antes de comenzar, se destacó que en cada problema debían proponer una solución individual y por escrito, explicando cuidadosamente la estrategia y las medidas que necesitarían para obtener la estimación, aunque sin ser necesario que la obtuvieran numéricamente.

Una vez recogidas y escaneadas las respuestas de los 224 participantes, se comprobó que todos los alumnos habían respondido a los cuatro problemas de la secuencia, descartando valores perdidos, y se procedió al análisis de las 896 soluciones.

Análisis

El primer paso para poder analizar la adaptabilidad de los futuros maestros en la resolución de la secuencia de problemas de Fermi es categorizar las estrategias utilizadas. Para ello, al igual que en el Estudio 1, nos basamos en la clasificación de estrategias establecida en Albarracín et al. (2021): recuento (C), linealización (L), unidad base (UB) y densidad (D). Se categorizaron como incompletas aquellas soluciones en las que faltaban variables por identificar o relaciones matemáticas entre variables, quedando interrumpido o poco claro el proceso para obtener una estimación. Las 896 soluciones fueron revisadas por dos investigadores, con una buena fiabilidad de acuerdo: $0,78 \leq \kappa \leq 0,8$, medida con la kappa de Cohen. En caso de discrepancia, la categoría se acordó con un tercer investigador.

Como se ha explicado en el marco teórico, la adaptabilidad requiere previamente de flexibilidad, por lo que, tras categorizar las soluciones producidas por los 224 participantes, se analizó la flexibilidad de cada resolutor. Para ello, establecimos que un resolutor es *flexible* si cambia de estrategia en al menos un problema de la secuencia. En consecuencia, para el análisis de la adaptabilidad, solo nos quedamos con los participantes que mostraron flexibilidad. El resto se clasificaron directamente como *no adaptables*, ya que solo utilizaron una estrategia para todos los problemas.

Para categorizar la adaptabilidad de los participantes flexibles, nos basamos en los resultados del Estudio 1. Un participante cuyas resoluciones a los cuatro problemas siguen el patrón estratégico basado en las características contextuales de los problemas se considera *adaptable contextualmente*. Dado que para cada problema de la secuencia hay dos estrategias apropiadas, hay ocho posibles patrones estratégicos para entrar en la categoría de adaptabilidad contextual (cualquiera de los que se ajustan a la tabla 4 presentada en la sección anterior; dos de ellos, además, corresponden a la adaptabilidad meticulosa o eficiente). Aunque un resolutor sea flexible, si su patrón estratégico no se ajusta a ninguna de estas opciones, se clasifica como no adaptable.

Resultados del Estudio 2

A partir de las estrategias usadas por los participantes, podemos responder a la segunda pregunta de la investigación.

El análisis de los cambios de estrategia entre problemas nos permite clasificar a cada participante como flexible o no flexible, en función de si incluye o no al menos dos estrategias diferentes a lo largo de la secuencia. Obtenemos que el 72 % de los participantes (161 de 224) son flexibles. Por lo tanto, se deduce que ya hay al menos un 28 % de participantes (63 de 224) que, por su falta de flexibilidad, tampoco son adaptables.

A continuación, para analizar cuántos futuros maestros flexibles son también adaptables debemos fijarnos en la estrategia utilizada por cada participante flexible en cada uno de los cuatro problemas. Encontramos que 90 participantes flexibles son no adaptables porque su patrón estratégico para la secuencia de problemas no se ajusta a los ocho patrones estratégicos (tabla 5).

Así, se concluye que el 32 % restante de los participantes (71 de 224) demuestran adaptabilidad contextual porque, consciente o inconscientemente, han escogido las estrategias más apropiadas (según el criterio de los expertos) en función de las características contextuales de los problemas de la secuencia. La tabla 5 muestra las frecuencias de cada uno de los ocho patrones estratégicos asociados a la adaptabilidad contextual.

Tabla 5.
Frecuencia de los patrones estratégicos de los futuros maestros adaptables contextualmente

<i>Criterio (estrategia) para la secuencia P1-P2-P3-P4</i>	<i>Frecuencia</i>
Rapidez (UB) - Rapidez (UB) - Rigor (D) - Rapidez (UB)	14
Rigor (D) - Rapidez (UB) - Rigor (D) - Rapidez (UB)	14
Rapidez (UB) - Rigor (L) - Rigor (D) - Rapidez (UB)	17
Rapidez (UB) - Rapidez (UB) - Rigor (D) - Rigor (L)	3
Rapidez (UB) - Rigor (L) - Rigor (D) - Rigor (L)	6
Rigor (D) - Rigor (L) - Rigor (D) - Rigor (L)	5
Rigor (D) - Rapidez (UB) - Rigor (D) - Rigor (L)	0
Rigor (D) - Rigor (L) - Rigor (D) - Rapidez (UB)	12
Casos totales de adaptabilidad contextual	71

Entre estos 71 participantes con adaptabilidad contextual, observamos que algunos de ellos han seguido sistemáticamente el mismo criterio de adecuación práctica (rigor o rapidez); se trata de los participantes que aparecen en las filas sombreadas de la tabla. Observamos, por tanto, que solo hay 5 participantes de 224 que muestren una adaptabilidad meticulosa, y que hay 14 que muestran una adaptabilidad eficiente.

DISCUSIÓN

¿Qué caracteriza la adaptabilidad cuando se resuelve una secuencia de problemas de Fermi?

Los expertos en matemáticas y su didáctica respaldan que existen unas estrategias más apropiadas que otras según las características contextuales de los problemas de Fermi. Este resultado es importante porque justifica una relación que ya había sido identificada en estudios previos con maestros en formación (Ferrando et al., 2021), y está en línea con Nistal et al. (2012), que señalan que las características contextuales pueden influir en la estrategia elegida como la más adecuada. También advierten que se trata de un tema poco estudiado. En esta investigación, aportamos una caracterización de adaptabilidad para problemas de Fermi que tiene en cuenta esta posible influencia del contexto.

Para ello, necesitábamos disponer de criterios de adecuación: la rapidez y la precisión son empleados en estudios sobre adaptabilidad en dominios como la aritmética o las ecuaciones (Blöte et al., 2001; Star y Rittle-Johnson, 2008), mientras que el rigor es un criterio específico para los problemas de contexto real, en los que la matematización de la realidad es más compleja, pues puede incluir supuestos reales que contribuyen a refinar la estimación (Albarracín et al., 2021; Krawitz et al., 2018; Segura et al., 2021). En los resultados del cuestionario de expertos no aparecen nuevos criterios de adecuación, por lo que estos tres son suficientes. Puesto que en muchos problemas de Fermi la cantidad que debe ser estimada es desconocida y no puede validarse, hemos introducido la distinción entre criterios potenciales o prácticos (Hickendorff, 2022). La precisión es un criterio potencial, mientras que la rapidez y el rigor son siempre criterios operativos porque aplican sobre el proceso de resolución y no sobre el resultado obtenido.

El siguiente paso era encontrar una asociación significativa, a partir de las respuestas de los expertos, entre estrategias y criterios de adecuación. En efecto, encontramos que la estrategia de la unidad base está asociada a la rapidez. Si se acude al espacio de soluciones planteado por Albarracín et al. (2021), se comprueba que es la estrategia que implica menos operaciones aritméticas: por ejemplo, en

P1-Personas debemos estimar la longitud y la anchura del porche y multiplicarlas. También debemos estimar la superficie que ocupa una persona y dividir una superficie por la otra: se resuelve en dos cálculos aritméticos. En cambio, la estrategia de linealización implica estimar la longitud del porche y estimar la longitud ocupada por una persona, y dividir, para obtener el número de personas a lo largo del porche. Debemos hacer lo mismo con la anchura para terminar multiplicando ambas estimaciones lineales. Se resuelve en tres cálculos aritméticos. Por último, en la estrategia de densidad debemos delimitar un área, por ejemplo, 4 m^2 , estimando cuántas personas caben (o experimentarlo). A continuación, debemos estimar la anchura y la longitud del porche para obtener el área total multiplicando; y por último, dividir la superficie total entre la superficie definida (4 m^2) y multiplicar por el número de personas que caben en esa superficie definida. Esto requiere al menos tres cálculos aritméticos y una estimación parcial.

Por otro lado, encontramos que la densidad y la linealización están asociadas al criterio de rigor. ¿Cómo interpretarlo? El primer caso es claro: la estimación parcial del número de elementos dentro de un área delimitada, menor que el área total, garantiza un mayor apoyo empírico que las otras estrategias, es un procedimiento más minucioso (podemos validar, en un área pequeña, la estimación parcial obtenida con el número de elementos observados). La relación de la linealización con el rigor debe, sin embargo, matizarse: para que la estimación parcial del número de elementos en una fila, que podría asegurar mayor fiabilidad en la estimación final, tenga sentido, los elementos deben estar ordenados en filas y columnas (Albarracín et al., 2021). De ahí que el rigor se pueda asociar a la estrategia de linealización solo en los problemas con estas características contextuales.

De este modo, los criterios de adecuación permiten interpretar por qué una estrategia es la más apropiada según las características contextuales de un problema de Fermi, lo que ayuda a comprender mejor la relación entre la selección de la estrategia y su ejecución (García Coppersmith y Star, 2022). Así, en *P3-Hierba* la única estrategia elegida como apropiada fue la densidad: si tenemos en cuenta el desorden en la disposición de las briznas, su forma irregular y su pequeño tamaño, es evidente que exige mayor cuidado y meticulosidad (rigor) que aquellos problemas, como *P4-Coches*, que presentan elementos regulares y ordenados, de forma que las áreas puedan calcularse rápidamente sin perder verosimilitud en la estimación. Sin embargo, en *P1-Personas*, el área ocupada por una persona, aunque se considere irregular, es poco variable (menos que la forma y tamaño de las briznas). Por tanto, como muestra la tabla 4, si el resolutor sigue un criterio de rapidez, seleccionará la unidad base, considerando que las áreas ocupadas por las personas son iguales; pero si sigue un criterio de rigor, elegirá la densidad, por lo que podrá suponer heterogeneidad en las áreas ocupadas por las personas (Segura et al., 2021). Por último, en *P2-Adoquines* y *P4-Coches*, como los elementos están ordenados por filas y columnas, si el resolutor opta por el rigor calculará una estimación parcial del número de elementos por fila y por columna, lo que puede darle más confianza en el proceso de estimación.

Las relaciones encontradas entre estrategia, contexto y criterios de adecuación son la clave para responder al reto teórico de Heinze et al. (2009) en el dominio de los problemas de Fermi, describiendo una caracterización operativa de la adaptabilidad contextual en patrones estratégicos (tabla 5). Dentro de la adaptabilidad contextual, distinguimos tres variantes: si el resolutor, teniendo en cuenta las características contextuales de los problemas, aplica sistemáticamente el criterio de rapidez, demuestra adaptabilidad eficiente; si aplica sistemáticamente el criterio de rigor, demuestra adaptabilidad metódica; y si cambia de criterio según el problema, demuestra adaptabilidad contextual no sistemática.

¿Qué adaptabilidad demuestran los futuros maestros al resolver los problemas de Fermi?

Los resultados muestran que, aplicando los patrones estratégicos de adaptabilidad contextual (tabla 5), un tercio de los futuros maestros adaptan sus estrategias para adecuarlas mejor al contexto de los

problemas de Fermi de la secuencia. No se trata de una proporción muy elevada, lo que concuerda con los estudios sobre la limitación en el repertorio de estrategias de los futuros profesores (Chapman, 2015; Van Dooren et al., 2003) y sobre sus dificultades para relacionar sus soluciones con la realidad al resolver problemas contextualizados (Chapman, 2015; Pla-Castells et al., 2021; Segura y Ferrando, 2023). Sin embargo, aunque la proporción de futuros maestros contextualmente adaptables no es grande, es mucho menor la de aquellos que aplican un criterio de manera sistemática (adaptabilidad meticulosa o eficiente), ya que la mayoría cambian de rapidez a rigor según el problema. Estos cambios de criterio ligados a las exigencias de las características contextuales de los problemas de Fermi se alinean con lo que Siegler (1996, p. 145) afirma sobre la adaptabilidad de los niños en los problemas aritméticos: «reaccionan adecuadamente a las circunstancias cambiantes, como el énfasis situacional en la rapidez o en la precisión». Así, mientras que en la literatura sobre adaptabilidad, centrada en operaciones aritméticas o en ecuaciones algebraicas, se suele aplicar un criterio de adecuación (rapidez o precisión) a todas las actividades (Lemaire y Siegler, 1995; Blöte et al., 2001; Star y Rittle-Johnson, 2008), los resultados de este trabajo nos llevan a considerar la adaptabilidad contextual no sistemática como el comportamiento más destacable. Esto se debe a la relevancia del contexto real en los problemas de Fermi, que empuja a que los resolutores escojan la estrategia más apropiada cambiando consciente o inconscientemente sus criterios de un problema a otro de la secuencia. Aunque se han estudiado y justificado las características contextuales que influyen en esta variedad de patrones estratégicos, debemos considerar que la gama de casos que incluye este tipo de adaptabilidad también puede estar influida por criterios externos, como el gusto personal por un tipo de estrategia en un problema determinado, o porque un tipo de estrategia se ha asimilado mejor que otra (Hickendorff et al., 2022). Como señalan Hickendorff et al. (2022), es importante distinguir lo que los alumnos saben de lo que los alumnos hacen, y la adaptabilidad contextual, en los problemas de Fermi, responde a esta distinción.

CONCLUSIONES

La adaptabilidad es un componente de la competencia matemática especialmente relevante en la resolución de tareas abiertas que permiten múltiples estrategias, como es el caso de los problemas de Fermi (Albarracín et al., 2021; Segura y Ferrando, 2023). Este trabajo avanza en el conocimiento sobre la influencia de los factores contextuales en el uso adaptable de estrategias en la resolución de problemas, un tema sobre el que hay poca investigación, a pesar de su importancia (Verschaffel et al., 2009; Hickendorff et al., 2022). En el marco de los problemas de Fermi, constatamos que pocos maestros en formación escogen sistemáticamente la estrategia más rápida o la más rigurosa para todos los problemas, aunque una parte importante sí demuestra adaptabilidad contextual no sistemática, ya que cambia de criterio para escoger la estrategia más adecuada en función de las características contextuales del problema. Sin embargo, la mayoría de futuros maestros tiene limitaciones al adaptar sus estrategias a los problemas de Fermi. En consecuencia, este trabajo muestra que la formación inicial en modelización para maestros de primaria debe incidir en el uso y comparación de múltiples estrategias, lo que forma parte de la competencia del docente en modelización (Huinchahue-Arcos et al., 2018). En particular, los resultados de este trabajo sobre las relaciones entre criterios de adecuación, estrategias y características contextuales pueden utilizarse para diseñar secuencias de problemas de Fermi en las que se demande a los futuros maestros comparar distintas estrategias aplicando varios criterios de adecuación, o, al contrario, desarrollar varias estrategias para un problema basándose en distintos criterios.

En relación con lo anterior, una limitación de este trabajo es no abordar la influencia de las características del sujeto en su comportamiento adaptable (Verschaffel et al., 2009). En este sentido, estos resultados deberían completarse con un estudio de corte cualitativo sobre el conocimiento de los futuros

maestros sobre la adecuación de sus estrategias, es decir, si saben justificar que su elección es apropiada para las características contextuales de los problemas de Fermi.

Otra limitación de este trabajo es su carácter descriptivo y exploratorio, pues además de caracterizar la adaptabilidad de los futuros maestros es necesario analizar si está relacionada con un mejor rendimiento del alumnado. Tal y como han mostrado Durkin et al. (2017) para la resolución de ecuaciones, sería interesante analizar si el diseño instruccional basado en el uso y comparación de múltiples estrategias mejora el rendimiento del alumnado en resolución de problemas de Fermi. En este tipo de problemas abiertos sin datos, el rendimiento se puede medir a partir del número y la gravedad de los errores (Segura y Ferrando, 2023). También sería interesante analizar si algún criterio de adecuación (rapidez o rigor) está relacionado con un mejor rendimiento. Así, un menor número de operaciones (rapidez) podría reducir las posibilidades de cometer errores matemáticos o acumular menos errores de estimación (García Coppersmith y Star, 2022). Un futuro estudio sobre la relación entre adaptabilidad y rendimiento en estudiantes de primaria debería seguir el método de elección / no elección para garantizar datos no sesgados sobre el rendimiento asociado a cada estrategia (Hickendorff et al., 2022).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico de los proyectos PID2020-117395RB-I00 y PID2021-126707NB-I00 financiados por MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 y por los fondos «ERDF A way of making Europe».

REFERENCIAS

- Albarracín, L., Ferrando, I. y Gorgorió, N. (2021). The Role of Context for Characterising Students' Strategies when Estimating Large Numbers of Elements on a Surface. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 19, 1209-1227.
<https://doi.org/10.1007/s10763-020-10107-4>
- Albarracín, L. y Gorgorió, N. (2019). Using large number estimation problems in primary education classrooms to introduce mathematical modelling. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 27(2), 45-57.
<https://doi.org/10.30722/IJISME.27.02.004>
- Ärleback, J. B. (2009). On the use of realistic Fermi problems for introducing mathematical modelling in school. *The Mathematics Enthusiast*, 6(3), 331-364.
<https://doi.org/10.54870/1551-3440.1157>
- Blöte, A. W., Van der Burg, E. y Klein, A. S. (2001). Students' flexibility in solving two-digit addition and subtraction problems: instruction effects. *Journal of Educational Psychology*, 93, 627-638.
<https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.3.627>
- Carlson, J. E. (1997). Fermi problems on gasoline consumption. *The Physics Teacher*, 35(5), 308-309.
<https://doi.org/10.1119/1.2344696>
- Chapman, O. (2015). Mathematics teachers' knowledge for teaching problem solving. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 3(1), 19-36.
<https://doi.org/10.31129/lumat.v3i1.1049>
- Durkin, K., Star, J. R. y Rittle-Johnson, B. (2017). Using comparison of multiple strategies in the mathematics classroom: lessons learned and next steps. *ZDM Mathematics Education*, 49, 585-597.
<https://doi.org/10.1007/s11858-017-0853-9>

- Efthimiou, C. J. y Llewellyn, R. A. (2007). Cinema, Fermi problems and general education. *Physics Education*, 42(3), 253.
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/42/3/003>
- English, L. D. (2011). Data modeling in the beginning school years. En P. Sullivan y M. Goos (Eds.), *Proceedings of the 34th Annual Conference of the Mathematics Education Research Group of Australia* (pp. 226-234). MERGA.
- Ferrando, I., Segura, C. y Pla-Castells, M. (2021). Analysis of the relationship between context and solution plan in modelling tasks involving estimations. En F. K. S. Leung, G. A. Stillman, G. Kaiser y K. L. Wong (Eds.), *Mathematical Modelling Education in East and West* (pp. 119-128). Cham: Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-66996-6_10
- García Coppersmith, J. y Star, J. R. (2022). A Complicated Relationship: Examining the Relationship Between Flexible Strategy Use and Accuracy. *Journal of Numerical Cognition*, 8(3), 382-397.
<https://doi.org/10.5964/jnc.7601>
- Haberzettl, N., Klett, S. y Schukajlow, S. (2018). Mathematik rund um die Schule—Modellieren mit Fermi-Aufgaben. En K. Eilerts y K. Skutella (Eds.), *Neue Materialien für einen realitätsbezogenen Mathematikunterricht 5. Ein ISTRON-Band für die Grundschule* (pp. 31-41). Springer Spectrum.
https://doi.org/10.1007/978-3-658-21042-7_3
- Henze, J. y Fritzlar, T. (2010). Primary school children's model building processes by the example of Fermi questions. En A. Ambrus y E. Vásárhelyi (Eds.), *Problem Solving in Mathematics Education. Proceedings of the 11th ProMath conference* (pp. 60-75). Eötvös Loránd University.
- Heinze, A., Star, J. R. y Verschaffel, L. (2009). Flexible and adaptive use of strategies and representations in mathematics education. *ZDM Mathematics Education*, 41, 535-540. <https://doi.org/10.1007/s11858-009-0214-4>
- Hickendorff, M. (2022). Flexibility and Adaptivity in Arithmetic Strategy Use: What Children Know and What They Show. *Journal of Numerical Cognition*, 8(3), 367-381.
<https://doi.org/10.5964/jnc.7277>
- Hickendorff, M., McMullen, J. y Verschaffel, L. (2022). Mathematical Flexibility: Theoretical, Methodological, and Educational Considerations. *Journal of Numerical Cognition*, 8(3), 326-334.
<https://doi.org/10.5964/jnc.10085>
- Huinchahue-Arcos, J., Borromeo-Ferri, R. y Mena-Lorca, J. J. F. (2018). El conocimiento de la modelación matemática desde la reflexión en la formación inicial de profesores de matemática. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 36(1), 99-115.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2277>
- Klock, H. y Siller, H.-S. (2020). A Time-Based Measurement of the Intensity of Difficulties in the Modelling Process. En H. Wessels, G. A. Stillman, G. Kaiser, y E. Lampen (Eds.), *International perspectives on the teaching and learning of mathematical modelling* (pp. 163-173). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-37673-4_15
- Ko, P. Y. y Marton, F. (2004). Variation and the secret of the virtuoso. En F. Marton y A. B. M. Tsui (Eds.), *Classroom discourse and the space of learning* (pp. 43-62). Erlbaum.
<https://doi.org/10.4324/9781410609762>
- Krawitz, J., Schukajlow, S. y Van Dooren, W. (2018). Unrealistic responses to realistic problems with missing information: what are important barriers? *Educational Psychology*, 38(10), 1221-1238.
<https://doi.org/10.1080/01443410.2018.1502413>
- Lemaire, P. y Siegler, R. S. (1995). Four aspects of strategic change: contributions to children's learning of multiplication. *Journal of experimental psychology: General*, 124(1), 83.
<https://doi.org/10.1037/0096-3445.124.1.83>

- Levav-Waynberg, A. y Leikin, R. (2012). The role of multiple solution tasks in developing knowledge and creativity in geometry. *The Journal of Mathematical Behavior*, 31(1), 73-90.
<https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2011.11.001>
- Lu, X. y Kaiser, G. (2022). Creativity in students' modelling competencies: conceptualisation and measurement. *Educational Studies in Mathematics*, 109(2), 287-311.
<https://doi.org/10.1007/s10649-021-10055-y>
- Newton, K. J., Lange, K. y Booth, J. L. (2020). Mathematical flexibility: Aspects of a continuum and the role of prior knowledge. *The Journal of Experimental Education*, 88(4), 503-515.
<https://doi.org/10.1080/00220973.2019.1586629>
- Nistal A. A., Van Dooren W. y Verschaffel L. (2012). Flexibility in Problem Solving: Analysis and Improvement. En N. M. Seel (Eds.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. Springer.
https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_540
- Obersteiner, A., Alibali, M. W. y Marupudi, V. (2022). Comparing fraction magnitudes: Adults' verbal reports reveal strategy flexibility and adaptivity, but also bias. *Journal of Numerical Cognition*, 8(3), 398-413.
<https://doi.org/10.5964/jnc.7577>
- Okamoto, H., Hartmann, M. y Kawasaki, T. (2023). Analysis of the Relationship between Creativity in Fermi Problems Measured by Applying Information Theory, Creativity in Psychology, and Mathematical Creativity. *Education Sciences*, 13(3), 315.
<https://doi.org/10.3390/educsci13030315>
- Peter-Koop, A. (2009). Teaching and Understanding Mathematical Modelling through Fermi-Problems. En B. Clarke, B. Grevholm y R. Millman (Eds.), *Tasks in primary mathematics teacher education* (pp. 131-146). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-0-387-09669-8_10
- Pla-Castells, M., Melchor, C. y Chaparro, G. (2021). MAD+. Introducing misconceptions in the temporal analysis of the mathematical modelling process of a Fermi problem. *Education Sciences*, 11(11), 747.
<https://doi.org/10.3390/educsci11110747>
- Segura, C., Ferrando, I. y Albarracín, L. (2021). Análisis de los factores de complejidad en planes de resolución individuales y resoluciones grupales de problemas de estimación de contexto real. *Cuadrante*, 30(1), 31-51.
<https://doi.org/10.48489/quadrante.23592>
- Segura, C., Ferrando, I. y Albarracín, L. (2023). Does collaborative and experiential work influence the solution of real-context estimation problems? A study with prospective teachers. *The Journal of Mathematical Behavior*, 70, 101040.
<https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2023.101040>
- Segura, C. y Ferrando, I. (2023). Pre-service teachers' flexibility and performance in solving Fermi problems. *Educational Studies in Mathematics*, 113(2), 207-227. <https://doi.org/10.1007/s10649-023-10220-5>
- Robinson, A. W. (2008). Don't just stand there—teach Fermi problems! *Physics Education*, 43(1), 83-87.
<https://doi.org/10.1088/0031-9120/43/01/009>
- Sáenz, C. (2007). La competencia matemática (en el sentido de PISA) de los futuros maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 355-366.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3701>

- Schoenfeld, A. H. (1982). Measures of problem-solving performance and of problem-solving instruction. *Journal for Research in Mathematics Education*, 13(1), 31-49.
<https://doi.org/10.2307/748435>
- Schukajlow, S., Krug, A. y Rakoczy, K. (2015). Effects of prompting multiple solutions for modelling problems on students' performance. *Educational Studies in Mathematics*, 89(3), 393-417.
<https://doi.org/10.1007/s10649-015-9608-0>
- Selter, C. (2009). Creativity, flexibility, adaptivity, and strategy use in mathematics. *ZDM Mathematics Education*, 41, 619-625.
<https://doi.org/10.1007/s11858-009-0203-7>
- Siegler, R. S. (1996). *Emerging minds: The process of change in children's thinking*. Oxford: Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/oso/9780195077872.001.0001>
- Sriraman, B. y Lesh, R. (2006). Modeling conceptions revisited. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 38, 247-254.
<https://doi.org/10.1007/BF02652808>
- Sriraman, B. y Knott, L. (2009). The mathematics of estimation: Possibilities for interdisciplinary pedagogy and social consciousness. *Interchange*, 40(2), 205-223.
<https://doi.org/10.1007/s10780-009-9090-7>
- Star, J. R. y Rittle-Johnson, B. (2008). Flexibility in problem solving: The case of equation solving. *Learning and instruction*, 18(6), 565-579.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.09.018>
- Taggart, G. L., Adams, P. E., Eltze, E., Heinrichs, J., Hohman, J. y Hickman, K. (2007). Fermi Questions. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 13(3), 164-167.
<https://doi.org/10.5951/MTMS.13.3.0164>
- Threlfall, J. (2002). Flexible Mental Calculation. *Educational Studies in Mathematics*, 50, 29-47.
<https://doi.org/10.1023/A:1020572803437>
- Van Dooren, W., Verschaffel, L. y Onghena, P. (2003). Preservice teachers' preferred strategies for solving Arithmetic and Algebra word problems. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 6(1), 27-52.
<https://doi.org/10.1023/A:1022109006658>
- Verschaffel, L., Luwel, K., Torbeyns, J. y Van Dooren, W. (2009). Conceptualizing, investigating, and enhancing adaptive expertise in elementary mathematics education. *European Journal of Psychology of Education*, 24(3), 335-359.
<https://doi.org/10.1007/BF03174765>

Which is the Best Strategy for a Fermi Problem? Adaptability of Pre-Service Teachers

Carlos Segura, Irene Ferrando

Departamento de Didáctica de la Matemática, Universitat de València, València, España

carlos.segura@uv.es, irene.ferrando@uv.es

Fermi problems, suitable for primary school, pose a real, open-ended situation that allows developing and comparing multiple strategies. This requires teachers to be adaptive (able to choose the most appropriate strategy). In this research, we will focus on a specific type of Fermi problem, consisting in obtaining a reasoned estimate of the number of elements that fit in a bounded rectangular enclosure. The aim of this work is to characterise and analyse the adaptability of pre-service teachers when solving these problems. To this end, we have undertaken a mixed research project divided into two studies.

The starting point of Study 1 is the design and collection of data from a survey of experts in mathematics education. The aim is to characterise adaptability when solving a sequence of Fermi problems. The analysis of the responses of the 81 participants allows us to associate, first, the contextual characteristics of the problems (size, shape, and arrangement of the elements, as well as size of the enclosure) with the strategies. Then, the strategies are related to three adequacy criteria: accuracy, speed and rigour. Accuracy is a potential criterion that every solver aspires to, as the aim is to make an estimate as accurate as possible. However, as we are dealing with data-free and open-ended problems, this criterion cannot be considered as a practical one, so we focus on the other two, which are, in a way, complementary. Indeed, accuracy can be achieved through speed, by obtaining a close estimate in a small number of steps. Accuracy can also be achieved through rigour, by trying to perform an exhaustive resolution that considers more aspects of the real context of the problem formulated. These results lead to a characterisation of adaptability, distinguishing two practical criteria: speed and rigour, which, in turn, give rise to a contextual adaptability that can be unsystematic, or systematically efficient (based on speed) or meticulous (based on rigour).

This allows us to address Study 2 with prospective primary school teachers so as to answer the second research question concerning the characterisation of flexibility. For this purpose, we analysed the solutions proposed by 224 future teachers to a sequence of four estimation problems. The analysis of strategy changes between problems allows us to classify each participant as flexible or non-flexible, depending on whether or not they include at least two different strategies throughout the sequence. We obtained that 72 % of the participants are flexible. Therefore, it follows that there are already at least 28 % of participants who, due to their lack of flexibility, are not adaptable either. Next, to analyse how many future flexible teachers are also adaptable, we must look at the strategy used by each flexible participant in each of the four problems. We find that 90 flexible participants are non-adaptive because their strategy pattern for the problem sequence does not fit the eight strategy patterns identified in Study 1. Thus, we conclude that only 32 % of the remaining participants demonstrate contextual adaptability, as they have consciously or unconsciously chosen the most appropriate strategies (according to the expert judgement obtained in Study 1) based on the contextual characteristics of the problems in the sequence. Among the participants with contextual adaptability, we observe that some of them have systematically followed the same criterion of practical appropriateness (rigour or speed).

From these results, we derive conclusions regarding initial teacher training in teacher competence in modelling. In particular, the results of this work concerning the relationships between adequacy criteria, strategies and contextual features can be used to design sequences of Fermi problems in which prospective teachers are required to compare different strategies by applying various adequacy criteria, or, conversely, to develop several strategies for a problem based on different criteria.



Aprendiendo ciencia y sobre ciencia en las aulas de secundaria con cine de ciencia ficción

Learning Science and about Science in the Classroom with Science Fiction Cinema

M.^a Francisca Petit, Jordi Solbes

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Facultad de Magisterio. Universitat de València. Valencia. España
m.francisca.petit@uv.es, jsolbes@uv.es

RESUMEN • El cine, y en particular el de ciencia ficción (CF), conlleva el aprendizaje no formal de contenidos de la ciencia y de su papel social. Diversas investigaciones han constatado que el cine de CF introduce una visión sesgada de la ciencia, de las personas científicas y del papel de la ciencia en el futuro, así como errores científicos que promueven concepciones alternativas en el alumnado. Para superar las visiones incorrectas y algunas ideas alternativas se realizan actividades basadas en fragmentos de películas de CF que fomentan el diálogo, la argumentación y la participación del alumnado de secundaria. Los resultados ponen de manifiesto que dichas actividades contribuyen a que el alumnado mejore el aprendizaje de los conceptos abordados y la imagen que tiene de la ciencia y el trabajo científico.

PALABRAS CLAVE: Ciencia ficción; Aprendizaje informal; Imagen de la ciencia; Cine; Competencia mediática.

ABSTRACT • Cinema, and more specifically science fiction (or sci-fi), implies non-formal learning of science content and its social role. Some researchers have confirmed that sci-fi cinema introduces a biased vision of science, of scientific people, and of its role in the future, as well as scientific errors that promote alternative conceptions in students. To overcome these incorrect visions and some alternative ideas, activities based on pieces of sci-fi films are carried out to encourage dialogue, argumentation, and the participation of secondary school students. The results show that these activities help students improve their learning of the concepts addressed and what they make of science and scientific work.

KEYWORDS: Science fiction; Informal learning; Science image; Cinema; Media competence.

Recepción: octubre 2022 • Aceptación: julio 2023 • Publicación: noviembre 2023

INTRODUCCIÓN

El objetivo en las aulas es la formación del alumnado, pero no es difícil percatarse de que los modelos de enseñanza-aprendizaje evolucionan. Las investigaciones tratan de contrastar estos modelos innovadores para validar su eficacia (Miralles et al., 2012), y coinciden en que se ha de superar el método tradicional de transmisión del conocimiento (Oliva y Acevedo, 2005).

Esta renovación postula como necesaria la mejora del perfil de docencia y la adquisición de nuevas y mejores metodologías de enseñanza-aprendizaje dentro del aula (Solbes, Fernández-Sánchez, Domínguez, Cantó y Guisasola, 2018).

En la enseñanza de las ciencias, esta innovación educativa se puede traducir en múltiples actividades que se pueden realizar tanto dentro como fuera del aula: la modelización, la indagación, proyectos científicos (Couso et al., 2020), visitas a museos de ciencias (Guisasola y Morentín, 2007) y, por supuesto, y es a lo que responde el presente trabajo, la inclusión de los medios de comunicación. En particular, el visionado de fragmentos de películas de ciencia, de ciencia ficción y documentales para la realización de actividades en el aula, fomentando el aprendizaje significativo y contextualizado y la mejora de la imagen de la ciencia, de las personas que a ella se dedican y de su influencia en el futuro.

Los medios de comunicación, entre ellos el cine y en especial el cine de ciencia ficción, son particularmente importantes para la imagen pública de la ciencia (Elías, 2010). De hecho, el cine de ciencia ficción ha sido, desde su nacimiento, una fuente de entretenimiento muy cercana a ella (Kirby, 2003). En los últimos años, el incremento de películas en las que los personajes principales son superhéroes y superhéroínas ha hecho llegar a un público muy amplio escenas en las que la ciencia interviene de forma directa.

Diversos trabajos (Moreno, 2003; Petit y Solbes, 2016) ponen de manifiesto que las películas de ciencia ficción transmiten una imagen de la ciencia, de los científicos y de la influencia del trabajo científico en el futuro que mayoritariamente no se corresponde con la realidad (Green, 2019). Se trata de cuestiones sociocientíficas relevantes y que la ciencia ficción permite abordar con facilidad (Oliveira et al., 2021; Petit, Solbes y Torres, 2021). En concreto, se puede tratar la visión deformada de la ciencia y de los científicos que transmiten, heredada de los cómics (Locke, 2005), donde se los representa en muchos casos como el arquetipo de científico hombre, con bata blanca, despeinado y con gafas, como Doc de *Regreso al futuro* (Weingart, 2003); o como el científico ansioso de poder social y económico, por ejemplo, Octopus o el Duende Verde de *Spiderman*. Además, el cine de ciencia ficción ofrece una visión mayoritariamente catastrofista del futuro en relación con la ciencia, como son los casos de *Gattaca*, *Blade Runner*, *Soylent Green*, *El planeta de los simios*, *El día de mañana* o *Terminator*). En otras películas, en especial las de superhéroes, la trama transcurre en una «actualidad» intemporal, y en otras el futuro es tan lejano que es imposible establecer cualquier conexión con la ciencia actual. Asimismo, existen muchos ejemplos de escenas en las películas de ciencia ficción en las que se observan errores científicos que promueven la adquisición o refuerzo de concepciones alternativas sobre la ciencia en el alumnado (Palacios, 2011 y Scaliter, 2011).

Y, sin embargo, en un estudio diagnóstico al respecto (Petit y Solbes, 2012), se encuentran muy pocas respuestas sobre la imagen de la ciencia que transmite la CF, lo que nos habla de la escasa visibilidad de las ciencias para el alumnado encuestado, a pesar de su gran presencia en las obras de CF. También se hallan pocas respuestas sobre la imagen que tiene el alumnado de los científicos a través de este género, y casi la mitad de las ideas sobre los científicos que aparecen resultan exageradas o desfavorables, lo que puede poner de manifiesto la influencia del científico perverso, loco o instrumento ciego del poder característico de la CF. No ocurre lo mismo con la idea de la influencia que la ciencia puede tener en el futuro transmitida por el género de la CF y, en contra de la imagen catastrofista del futuro que se presenta en gran parte de estas películas, los alumnos no opinan que el futuro vaya a ser peor que el presente debido a la intervención científica.

Por otra parte, diversos estudios (Solbes, Monserrat y Furió, 2007; Rocard et al., 2007) constatan una disminución de alumnado que elige la vía científico-técnica en sus estudios debido a múltiples causas: a la forma en la que se enseña la ciencia, a la asunción por parte del alumnado de que son materias difíciles, al género del alumnado, a su bajo estatus en el sistema educativo (carácter optativo y pocas horas), a la visión escasa y desvirtuada que se presenta en los medios (Mitchell y McKinnon, 2019), etc. A pesar de esto, podría pensarse que la aceptación que tiene el cine de ciencia ficción entre el público y en concreto entre la juventud (Ministerio de Educación, 2022) podría fomentar el interés por la ciencia.

En consecuencia, nos planteamos investigar qué sucede al introducir en las clases de Física y Química actividades de CF no solo porque sean motivadoras, sino porque permiten cuestionar esas imágenes sesgadas y queremos que el alumnado se dé cuenta de los errores científicos que aparecen en estos filmes. Por ello, el objetivo de este trabajo es establecer si trabajar en el aula actividades basadas en el cine de ciencia ficción mejora la imagen de la ciencia y el aprendizaje conceptual del alumnado, especialmente en 2.º y 3.º de la ESO, cursos en los que se inicia el estudio de la Física y la Química y que pueden condicionar sus elecciones posteriores.

MARCO TEÓRICO

Dos de los problemas más fundamentados en la investigación en didáctica de las ciencias son la imagen de la ciencia entre el alumnado y las ideas alternativas en algunos conceptos científicos.

Respecto a este último, son bien conocidos los conceptos para los que el alumnado genera preconcepciones, por lo que uno de los grandes retos de la didáctica ha sido y sigue siendo la detección y corrección de estas concepciones alternativas (Carrascosa, 2006). Sin embargo, pese a que no son pocos los recursos que se pueden implementar para identificarlas y corregirlas (Martin, 2000), es difícil en un aula tradicional (y entendemos con este término un aula en la que el alumnado es básicamente receptor de información proporcionada por el docente o por el libro de texto) tener en cuenta la existencia de estas ideas preconcebidas.

Sin embargo, las concepciones alternativas provienen del proceso que el alumnado realiza, desde su infancia, para intentar explicar y predecir los fenómenos de su entorno natural y técnico, del lenguaje ordinario, de las formas de razonamiento espontáneas de los alumnos (la causalidad lineal, el razonamiento analógico, secuencial, etc.) y de los errores introducidos explícitamente por los textos, los propios profesores, etc. (Koch et al., 2020). Todo esto nos lleva a inferir de forma equivocada o incompleta conceptos que posteriormente se tratan en el aula.

Los medios de comunicación, el cine y en particular el cine de ciencia ficción constituyen medios de transmisión de información, en determinadas ocasiones, de ámbito científico. (BBC Mundo, 2010; Babaii y Asadnia, 2021). Si se tiene en cuenta que el cine de ciencia ficción es un medio de entretenimiento, no está entre sus pretensiones que los directores, guionistas, actores, etc. sean fieles divulgadores científicos (Blanco, 2004). No obstante, diversos trabajos ponen de manifiesto la influencia que medios como la prensa, los cómics, los dibujos animados o el cine (Carrascosa, 2006; Elías, 2010; Abril y Muela, 2015) tienen en la transmisión y fomento de concepciones científicas alternativas. Estos artículos también abordan cómo aprovecharlos en la escuela, para que, lejos de imponer al alumnado la idea correcta, sean los y las estudiantes quienes, por medio del análisis y la autocritica, las detecten y corrijan.

Para ello se han de desarrollar estrategias, que se pueden adquirir mediante la formación en competencia mediática (Reia-Baptista, 2012; Unesco, 2011). La implicación del alumnado se fundamenta básicamente en la motivación, en el interés por aprender y en la necesidad de contrastar lo que se sabe (Rodríguez-Moneo, 2009). Por ejemplo, una clase en la que se visiona un vídeo relacionado con la ma-

teria a la que se ha de enfrentar el alumnado y sobre el que se plantean preguntas le obligará a acceder a sus ideas y plantearse cuestiones, fomentando al mismo tiempo la argumentación, básica en las materias de ciencias (Osborne, Erduran y Simon, 2004). Esas preguntas pueden constituir el inicio de un debate, un problema que resolver, una cuestión o incluso una prueba de evaluación, donde se ponen en práctica los recursos que la investigación en didáctica ha corroborado como herramientas de aula encaminadas a mejorar dicha implicación (Efthimiou y Llewellyn, 2004 y 2007; Quirantes, 2011).

Por otro lado, estas estrategias también fomentan la colaboración y el aprendizaje entre iguales (Kagan, 1994). Será importante que los estudiantes colaboren entre sí y expresen ideas entre ellos, ya que la reflexión y la posterior exposición de sus ideas ayuda a fijar lo aprendido.

Por último, existen algunos ejemplos en los que se describe la mejora del aprendizaje del alumnado con actividades relacionadas con la ciencia ficción, tanto en formato literario (Bacas, Martín, Perera y Pizarro, 1997) como cinematográfico (Quirantes, 2011; Muela y Abril, 2013; Petit y Solbes, 2016), casi todos implantados en la educación universitaria. Sin embargo, los mismos autores y autoras se lamentan de la escasa visibilidad de estas actividades en la comunidad docente.

Asimismo, la imagen de la ciencia que presenta el alumnado (difícil, elitista, andrógina) está relacionada con su actitud hacia las ciencias (Vázquez, 1995), y mejorarla es uno de los grandes retos en el campo de la didáctica de las ciencias. Del mismo modo que el alumnado adquiere ideas alternativas fuera del aula, está sometido a información relativa a la ciencia fuera del ámbito escolar. De hecho, los medios de comunicación difunden y divulgan información con la que formarse una imagen de la ciencia (Fernández et al., 2002).

La programación infantil y juvenil y la clasificación de las películas y las series de TV son preocupaciones constantes de las autoridades (Ministerio de Cultura y Deporte, 2010). Este hecho da una idea de la capacidad de influencia que pueden tener estos medios en la infancia y la juventud. Por tanto, dado su consumo masivo, no es exagerado pensar que lo que vean representado en esos medios sobre el mundo científico va a repercutir en lo que aprendan sobre él.

En estos medios aparece el mundo científico en todos sus ámbitos (Mateos, 2004): cómo se hace ciencia, para qué se utiliza, cómo son las personas que se dedican a ella, en qué medida son responsables de los avances tecnológicos y cómo influyen en nuestra sociedad, etc. Se pretende utilizarlos para fomentar el pensamiento crítico entre el alumnado, tarea que incluso críticos de cine (José, 2006), más o menos conscientemente, han realizado y de la que existen ejemplos relacionados con medios como la prensa, los cómics y las películas (Gallego, 2007), con actividades centradas en que los estudiantes conozcan el mundo de la ciencia.

Así pues, la hipótesis de esta investigación es que realizando en el aula actividades basadas en el cine de ciencia ficción se consigue una mejora en el aprendizaje de conceptos científicos y en la imagen que el alumnado tiene de la ciencia, de las personas dedicadas a ella y de su papel en el futuro.

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La investigación ha tenido tres momentos basados en una metodología de intervención pre-post, que a continuación se exponen y que se desarrollarán más adelante:

- Cumplimentación de cuestionarios iniciales, que permiten valorar el conocimiento y la opinión previos del alumnado.
- Realización de actividades en clase en las que se visualizan vídeos y se proponen preguntas que se responden por escrito o verbalmente, así como debates al respecto.

Las actividades que se han planteado son presentaciones en las que se visionan y comparan una selección de fragmentos de películas con vídeos de situaciones reales sobre luz y sonido y gravedad, por una parte, y sobre la imagen de la ciencia, los científicos y el futuro, por otra (Petit y Solbes, 2015). Las actividades se han llevado a cabo en dos sesiones diferentes, una para las actividades de conceptos y otra para las de imagen. Durante las sesiones de trabajo se plantean cuestiones sobre los vídeos, que son contestadas por escrito en el caso de las actividades conceptuales y que sirven para fomentar el debate en las sesiones de actividades de imagen. De esta forma y registrando esta información se tienen datos sobre el trabajo realizado en el aula, sobre las cuestiones planteadas y cómo se han resuelto.

Las actividades de aprendizaje conceptual se han aplicado a una muestra de 72 alumnos y alumnas de 2.º de la ESO (44) y de 3.º de la ESO (28) de dos centros escolares.

Se han trabajado las actividades de imagen con un grupo de 92 estudiantes de 2.º de la ESO (53 personas), de 3.º de la ESO (15 personas) y de 1.º de Bachillerato (24 personas) de los mismos centros escolares.

La diferencia entre las muestras para los dos tipos de actividades se debe principalmente a que se han contabilizado los cuestionarios de las personas de las que se tiene constancia que han participado en las tres fases de la investigación. Se pudo controlar esta situación porque se identificaron todos los cuestionarios y se controló la asistencia. Por otro lado, con el alumnado de Bachillerato se trabajaron solamente las actividades de imagen, dado su nivel académico.

- Cuestionarios posevaluación. Se pretende valorar, en este caso, tanto el conocimiento como la opinión de los estudiantes tras la realización de las actividades.

Actividades conceptuales

Las actividades conceptuales planteadas tratan, por un lado, sobre la luz y el sonido y, por otro, sobre la gravedad. En el primer caso se analiza la transmisión del sonido en el aire, la imposibilidad de que se transmita en el vacío, como sucede en numerosas explosiones espaciales de las películas, y las diferencias entre la transmisión del sonido y la luz, comparando también la diferencia de velocidades de transmisión. Para ello se compara un fragmento (de 46 segundos) de la película *Perdidos en el espacio* (Stephen Hopkins, 1998), en el que se ven y se escuchan simultáneamente explosiones producidas por la destrucción de una enorme nave espacial a la deriva en el espacio. Como contraste, se utiliza un vídeo realizado en un taller de ciencias en el que el monitor hace explotar un globo dentro de una campana de vacío y otro en el que se ve y oye una tormenta sobre el Empire State Building.

En el caso de la gravedad, dado que en la CF son habituales las escenas de viajeros en naves espaciales, en las que parece que se navega con gravedad terrestre, se trabaja la diferencia entre gravedad nula e ingravidez y qué implicaciones tiene en un satélite en órbita o en una nave que viaja por el espacio. En este caso, se utilizan vídeos de películas en los que las personas y los objetos de las naves espaciales actúan sin tener en cuenta las condiciones de microgravedad con vídeos de películas o vídeos reales (por ejemplo, los publicados por las agencias espaciales de los astronautas en la ISS) en los que sí se observa el efecto de la microgravedad o la ingravidez. En concreto se ha utilizado un fragmento de *El Imperio contraataca* (1980) de la saga *La guerra de las galaxias* (de 54 segundos), donde los protagonistas vuelan a bordo del Halcón Milenario, maniobrando a voluntad en un campo de asteroides y donde los tripulantes están de pie junto al piloto, que no lleva sistema de seguridad alguno y no experimenta ningún cambio de posición en las distintas maniobras ejecutadas (Moreno y José, 2009). Esta escena se ha comparado con un fragmento de *2001, Una odisea en el espacio* (de 3 minutos y 40 segundos), en el que el transbordador de transporte se acerca a la estación espacial, que gira sobre sí misma maniobrando lentamente y poniendo brevemente los motores en marcha para ir corrigiendo la

posición. El fragmento sigue con las escenas en las que se ve a una azafata andar por el pasillo de la nave de transporte en vuelo espacial hacia la Estación Espacial manteniéndose adherida al suelo mediante unas zapatillas con suela de velcro (un invento reciente cuando se rodó la película, fruto de los viajes espaciales) y en el que se observa «flotando» un bolígrafo y la mano del protagonista dormido que no descansa en el reposabrazos del asiento. Por último, se utiliza un vídeo grabado por astronautas de la ISS en el que se perciben los efectos de la ingravidez.

Respecto a las preguntas de los cuestionarios correspondientes a conceptos, estos se distribuyen en dos grupos. El primero pertenece a la actividad de *Luz y sonido*. El segundo se refiere a la actividad de *Gravedad*, sin que se diferencien excesivamente en el formato. Estas preguntas se presentan junto con cuestiones de valoración de imagen del trabajo científico.

En principio, las preguntas se pueden contestar como SÍ / NO. Siempre se propone que se justifiquen las respuestas, de forma que se tenga que explicar el concepto con el que se trabaja y cómo influye en la situación propuesta. Se pretende que el alumnado argumente la respuesta tal y como se ha trabajado en las sesiones de actividades. Se considerarán respuestas correctas aquellas en las que todas las contestaciones, incluida la justificación, se han respondido bien según los criterios que se exponen en las tablas 1 y 2.

Se ha utilizado el siguiente cuestionario validado por tres expertos en didáctica de las ciencias experimentales y un ensayo piloto (pre-post test y grupo control) realizado con anterioridad. Para medir la fiabilidad se obtuvo un valor para el alfa de Cronbach de 0,843 (Solbes y Petit, 2012). Se ha identificado cada uno de los cuestionarios de manera que constituyan muestras relacionadas y se han registrado los datos del curso y la fecha.

Tabla 1.
Cuestionario para alumnos. Ítems conceptos

PREGUNTAS	RESPUESTAS CONSIDERADAS CORRECTAS
1. 1. ¿El sonido se transmite en el vacío? ¿La luz se transmite en el vacío? Justifica la respuesta.	La luz es una onda electromagnética y el sonido es una onda mecánica.
1. 2. ¿Por qué se ve el rayo antes de oír el trueno?	Porque la velocidad de propagación de la luz en el aire es mucho mayor que la del sonido.
1. 3. En las escenas de lucha de naves espaciales de las películas, ¿se podrían oír las explosiones? ¿Se podrían ver las luces de dichas explosiones? Justifica las respuestas.	En el espacio se puede propagar la luz, pero no el sonido.
2. 1. (Elige la palabra correcta) Un astronauta tiene el MISMO / DIFERENTE peso en la Tierra y la Luna. Un astronauta tiene la MISMA / DIFERENTE masa en la Tierra y la Luna. Justifica las respuestas.	El peso es la fuerza con la que atrae el planeta o la Luna al astronauta. La masa tiene que ver con la cantidad de materia y no depende de dónde está.
2. 2. Los protagonistas de <i>La guerra de las galaxias</i> se mueven en el interior de las naves espaciales como si la gravedad fuese igual que la terrestre. ¿Es correcto? Justifica la respuesta.	Si las naves están alejadas de astros no experimentan ningún tipo de gravedad. Si están en órbita deberían estar en estado de ingravidez.
2. 3. Los astronautas de la Estación Espacial Orbital ¿están sometidos a la gravedad terrestre? Explica tu respuesta.	La gravedad disminuye muy poco en ese punto, pero están en caída constante, lo que provoca un estado de ingravidez.

Por último, a partir de las tres semanas o más de la finalización de las sesiones de trabajo de las actividades se vuelve a aplicar al alumnado el cuestionario. El cuestionario propuesto en el posttest es casi idéntico al del pretest. Como se verá en el análisis de resultados, la cuestión 1.2 fue bien respondida por la mayoría del alumnado, por lo que en el posttest se modifica la pregunta 1.3 y se añade en este

ítem una pregunta, a la que se ha de contestar de forma razonada, y que se refiere a la necesidad de un medio de propagación para el sonido. Esta cuestión queda modificada como se expone en la tabla 2.

Tabla 2.
Cuestionario para alumnos. Ítem 1.3. Conceptos posttest

PREGUNTAS	RESPUESTAS CONSIDERADAS CORRECTAS
1. 3. En las escenas de lucha de naves espaciales de las películas, ¿se podrían oír las explosiones? Justifica la respuesta. ¿Por qué no se oye la explosión del globo en la campana de vacío del vídeo y sí se oye fuera de ella?	El sonido es una onda mecánica y necesita de un medio para propagarse. En el interior de la campana se hace el vacío por lo que no hay aire y el sonido no se propaga.

Imagen de la ciencia, los científicos y el futuro

Las actividades que se han llevado a cabo en este caso han tenido como núcleo la mejora en la imagen que el alumnado tiene del trabajo científico, de las personas que se dedican a la ciencia y de la influencia de la ciencia en el futuro. Para ello, se ha trabajado una primera actividad en la que se contrasta la imagen de Doc, el científico de *Regreso al futuro* y de la Dra. Arroway, la científica de *Contact*, para abordar las principales visiones deformadas relativas a los científicos. Esta fue una pionera del estereotipo actualmente más frecuente en las películas de heroína solitaria, competente, diligente y experta en su campo (Kool, Azevedo y Avraamidou, 2022). Esta elección además permite abordar la cuestión del género en ciencia. Se trabaja en una segunda actividad fragmentos de la película *Soylent Green* y *Mad Max*, en los que, explícitamente, se hace responsables a los científicos de las situaciones catastróficas en las que están ambientadas ambas películas. En ambos casos, después de visualizar la escena, se proponen preguntas sobre si las referencias son realistas, si se pueden argumentar las causas de una situación catastrófica únicamente a partir de la ciencia, qué conoce el alumnado de la ciencia actual y si creen que puede llevar a situaciones parecidas en un futuro o qué responsabilidad tiene la sociedad en general.

La estructura de las sesiones es básicamente la misma que en las de aprendizaje de conceptos, basándose en fragmentos de películas y promoviendo el debate por medio de cuestiones planteadas al alumnado. Estas sesiones también se grabaron en audio para su posterior análisis.

Las cuestiones que se han incluido en los cuestionarios pre y posintervención y a las que han respondido los alumnos y alumnas son las expuestas en la tabla 3:

Tabla 3.
Cuestionario para alumnos. Ítems de imagen

<ol style="list-style-type: none"> 1. Escribe tres ideas sobre la ciencia que transmita la ciencia ficción. 2. Escribe tres ideas sobre los científicos que transmita la ciencia ficción. 3. Escribe tres ideas sobre la capacidad de la ciencia para influir en el futuro que transmita la ciencia ficción.

RESULTADOS

De las actividades conceptuales

Para corregir los cuestionarios se han calificado como correctas (codificadas como 2) las respuestas de las preguntas del ítem si se han contestado todas correctamente, incluida la justificación. Se codifica como (1) las respuestas que tienen alguna contestación incorrecta y como (0) las no respondidas.

Si se compara la mejora en la media por curso mediante una prueba ANOVA, se concluye que no hay diferencias significativas ($p = 0,297$), por lo que se tratarán los datos de manera global.

Se comparan las mejoras que se produjeron en las respuestas de cada ítem por separado. Para ello se ha utilizado una prueba de homogeneidad marginal para determinar si las diferencias son estadísticamente significativas (tabla 4).

Tabla 4
Análisis de la mejora en las respuestas de ítems conceptuales

<i>ÍTEM</i>	<i>Significación asintótica</i>	<i>ETA cuadrado</i>	<i>D de Cohen</i>	<i>Tamaño Efecto</i>
1. 1. ¿El sonido se transmite en el vacío? ¿La luz se transmite en el vacío? Justifica la respuesta.	0,000	0,498	0,996	grande
1. 2. ¿Por qué se ve el rayo antes de oír el trueno?	0,195*	0,022	0,149	pequeño
1. 3. En las escenas de lucha de naves espaciales de las películas, ¿se podrían oír las explosiones? ¿Se podrían ver las luces de dichas explosiones? Justifica las respuestas.	0,000	0,482	0,959	grande
2. 1. Un astronauta tiene el MISMO / DIFERENTE peso en la Tierra y la Luna. Un astronauta tiene la MISMA / DIFERENTE masa en la Tierra y la Luna. Justifica las respuestas.	0,710*	0,002	0,044	pequeño
2. 2. Los protagonistas de <i>La guerra de las galaxias</i> se mueven en el interior de las naves espaciales como si la gravedad fuese igual que la terrestre. ¿Es correcto? Justifica la respuesta.	0,000	0,251	0,575	medio
2. 3. Los astronautas de la Estación Espacial Orbital, ¿están sometidos a la gravedad terrestre? Explica tu respuesta.	0,000	0,297	0,646	medio

La significación asintótica bilateral confirma que las diferencias entre las respuestas correctas del pretest y posttest son estadísticamente significativas, salvo para los ítems 1.2 y 2.1. En el primer caso, la mayoría del alumnado contesta bien el cuestionario preintervención, por lo que resulta difícil mejorar el número de respuestas correctas (véase tabla 4). En el segundo caso, el alumnado contesta bien las cuestiones de masa y peso, pero no consigue dar una explicación correcta de la diferencia entre los dos conceptos. Esto puede ser debido a que, durante la realización de las actividades, se trabaje en más profundidad el concepto de gravedad que el de peso y masa, por lo que el alumnado no llega a poder argumentar la diferencia.

Por último, se muestra en la figura 1 el resumen con los resultados contabilizando las respuestas correctas de cada ítem de los 72 cuestionarios analizados.

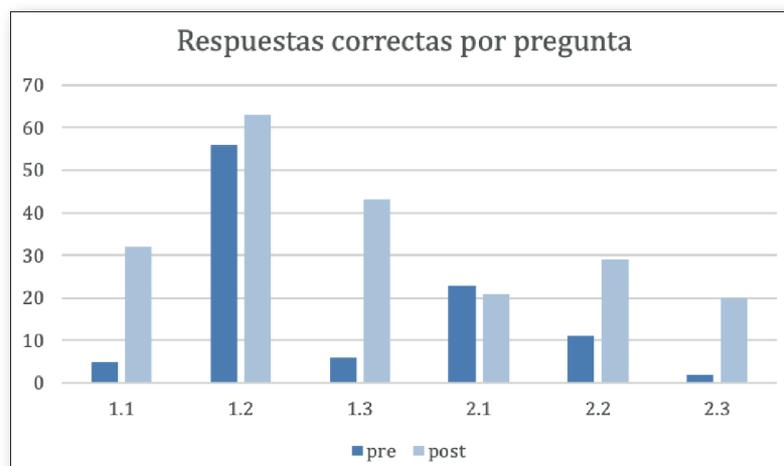


Fig. 1. Comparación del número de aciertos por ítems entre pretest y posttest.

Para determinar el efecto de la intervención se calcula la D de Cohen para los resultados pre y post, con lo que se obtiene un valor de 1,17, lo que indica un efecto grande.

En las intervenciones realizadas en el aula durante la realización de las actividades, se plantearon debates como medio de fomento de la argumentación, en los que se les pidió a los alumnos y alumnas que razonasen los fenómenos que se observan en los vídeos. En estos debates son en los que el alumnado expresa sus ideas y constituyen un marco de auto y coaprendizaje.

Se puede apreciar en las grabaciones realizadas durante las sesiones que el alumnado llega a conclusiones correctas y razonadas en las actividades de luz y sonido (ítems 1.1, 1.2 y 1.3):

Prof. Dentro de la campana no hay aire, ha sacado todo el aire, luego hay vacío, o casi vacío, el vacío completo no se puede tener... más o menos aire. Y se oye muy diferente. Eso es un experimento de física. ¿Qué conclusión sacáis?

Alum. 3 Que... no se oye.

Prof. Si en el aire hace ¡boom! y en el vacío hace ¡plop!

Alum. 2 Que en el aire se transmiten las ondas.

Prof. ¿Cuáles?

Alum. 2 Las del sonido. Y en el vacío no, pero se oye por la campana...

Y en la misma sesión:

Prof. ¿Qué habéis aprendido?

Alum. 4 ... que la luz es más rápida que el sonido.

En cuanto a las sesiones en las que se trabajó el concepto de gravedad (ítems 2.1, 2.2 y 2.3), se aprecia en las grabaciones que los alumnos y alumnas identifican los fenómenos, pero no han llegado al nivel conceptual en el que pueden teorizar sobre ellos:

Prof. Exactamente, que la he puesto en órbita, estaría siempre cayendo. Quedaos con esto. Subíos en un ascensor y apretáis el botón para bajar y es un ascensor de estos rapidísimos.

Alum. 2 Tipo el ave fénix¹...

1. Atracción de un parque de atracciones en la que se deja caer desde una gran altura una plataforma donde están sentados los participantes.

Prof. ¿Qué pasa nada más os dejan caer?

Alum. 2 Que te vas para arriba.

Alum. 1 No subes.

Prof. No subes, en realidad tu asiento baja y tú, es como si te quedases arriba. Esa sensación es la que tienen los astronautas, siempre están cayendo.

Imagen de la ciencia y los científicos y la influencia de la ciencia en el futuro

Las respuestas relativas a imagen, tanto del pretest como del postest, se han analizado codificándolas en «positivas», «negativas», «neutras» y «en blanco y otros», tal y como se calificaron en el estudio previo (Petit y Solbes, 2012) y se ha hecho el recuento de cada tipo de respuesta en cada cuestionario. De esta forma se puede realizar el estudio estadístico que permitirá valorar si existe o no mejora en las respuestas obtenidas en el postest con respecto a las obtenidas previamente a la realización de las actividades en el aula.

En cuanto a las respuestas relativas a la imagen de la ciencia se consideran positivas aquellas que incluyen ideas sobre mejoras. Entre las referidas por los alumnos se pueden mencionar «la ciencia mejorará la calidad de vida», «se curarán más enfermedades», «los robots harán la vida más fácil a las personas». Se cuentan como respuestas negativas las que denotan empeoramiento de la situación, como «habrá más contaminación», «la ciencia crea enfermedades nuevas» o «se agotan los recursos». Las respuestas que se han considerado neutras son aquellas en las que no se incluye una opinión sobre las consecuencias de la utilización de avances científicos como, por ejemplo, «habrá robots», «los coches volarán». Se consideran respuestas científicamente irrealizables, por ejemplo, las que hablan de viajes al pasado o viajes en el tiempo. Se codifican como otras las respuestas que se refieren a las películas y no a la ciencia. Por ejemplo, las que mencionan efectos especiales.

En el caso de las respuestas para la imagen de las personas que trabajan en ciencia, se consideran respuestas positivas aquellas que ofrecen una imagen real y positiva de estas personas: «ayudan a las personas», «les gusta su trabajo», «estudian mucho para ser buenos en lo que hacen», etc. Se consideran respuestas negativas, por ejemplo, «solo quieren ganar dinero», «son solitarios», «solo viven para hacer experimentos». Para el ítem de la imagen de los científicos, se consideran, además, las respuestas que dan una visión deformada de las personas que se dedican a la ciencia: «llevan siempre bata», «llevan gafas y el pelo deshecho», «son genios», «solo buscan poder», «se enriquecen con sus inventos». Las respuestas neutras, como en el caso de la imagen de la ciencia, no connotan beneficio o perjuicio: «hacen inventos». Las respuestas que incluyen comentarios sobre los actores o la película se incluyen en otras.

Por último, en cuanto a la imagen de la influencia del trabajo científico en el futuro, los criterios de clasificación de respuestas son prácticamente iguales que en el caso de la imagen de la ciencia. Se ha tenido en cuenta que, además, hay respuestas científicamente irrealizables como, por ejemplo, «podremos viajar en el tiempo».

Para poder tratar todas las respuestas de forma global, se han realizado pruebas ANOVA respecto del número de respuestas positivas que se han referido en los cuestionarios pre y post para comparar resultados parciales por grupos, donde se observa que no existen diferencias estadísticamente significativas en la mejora de la imagen de la ciencia entre los grupos de alumnos de distintos cursos. Del mismo modo, dada la escasa elección por parte de las alumnas de materias científico-técnicas, se ha comparado la diferencia de los resultados entre hombres y mujeres en las respuestas positivas. Se observa que las mujeres valoran la imagen asociada a la ciencia, a los científicos y al futuro un poco por debajo, pero la mejora no presenta diferencias significativas respecto al género. Esta prueba no se ha

realizado en la mejora del aprendizaje porque, en principio, el aprendizaje (aunque sí el estilo) no está determinado por el género (Casé, Neer, Lopetegui y Doná, 2010).

Del mismo modo que en el apartado anterior, se realizan pruebas de homogeneidad marginal para determinar el nivel de mejora en función del número de respuestas positivas o negativas dadas por cada alumno, teniendo en cuenta que se solicitan tres respuestas sobre cada uno de los tres ítems de imagen. En la tabla 5 se resumen los resultados obtenidos en número de respuestas:

Tabla 5.
Análisis del número de respuestas en ítems de imagen

<i>Imagen de la ciencia</i>	<i>Respuestas pretest</i>	<i>Respuestas postest</i>	<i>Significación asintótica</i>	<i>Tamaño del efecto</i>	
Respuestas positivas	49	101	0,000	0,520	grande
<i>Imagen de los científicos</i>	<i>Respuestas pretest</i>	<i>Respuestas postest</i>	<i>Significación asintótica</i>	<i>Tamaño del efecto</i>	
Respuestas positivas	66	104	0,001	0,618	grande
Respuestas negativas	31	13	0,018	0,126	medio
Respuestas deformadas	109	90	0,049	0,538	grande
<i>Imagen del papel de la ciencia en el futuro</i>	<i>Respuestas pretest</i>	<i>Respuestas postest</i>	<i>Significación asintótica</i>	<i>Tamaño del efecto</i>	
Respuestas positivas	54	88	0,000	0,548	grande
Respuestas negativas	19	33	0,080	0,354	medio

Cabe mencionar que en el caso de la imagen de las personas que se dedican a la ciencia, la mejora después de la intervención se observa también en la reducción considerable (estadísticamente significativa en ambos casos) de las respuestas totales negativas y deformadas.

Sin embargo, se observa un aumento de las respuestas negativas en el postest sobre la imagen del papel de la ciencia en el futuro, aunque las diferencias no son estadísticamente significativas ($p = 0,070$). Esto puede ser debido a que algunos fragmentos del cine de ciencia ficción utilizados (*Soylent Green*, *Mad Max*) transmiten una visión negativa del futuro. Aunque se ha intentado reflexionar sobre el papel que la ciencia podría desempeñar en el futuro, parece que al final han prevalecido ligeramente las imágenes catastrofistas.

Se presenta en la figura 2, a modo de resumen, el gráfico que compara el número de respuestas positivas para los ítems de imagen de la ciencia, los científicos y del futuro. Se observa la misma tendencia de aumento para los tres casos.

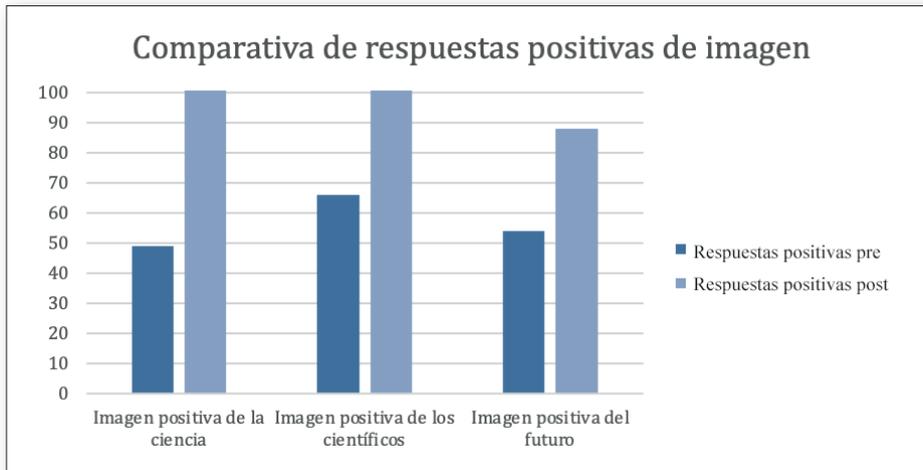


Fig. 2. Comparativa de respuestas positivas. Ítems de imagen.

En la figura 3 se observa que las respuestas negativas aumentan en el caso del papel de la ciencia en el futuro, pero para los otros tres ítems tienen un rango de disminución parecido.

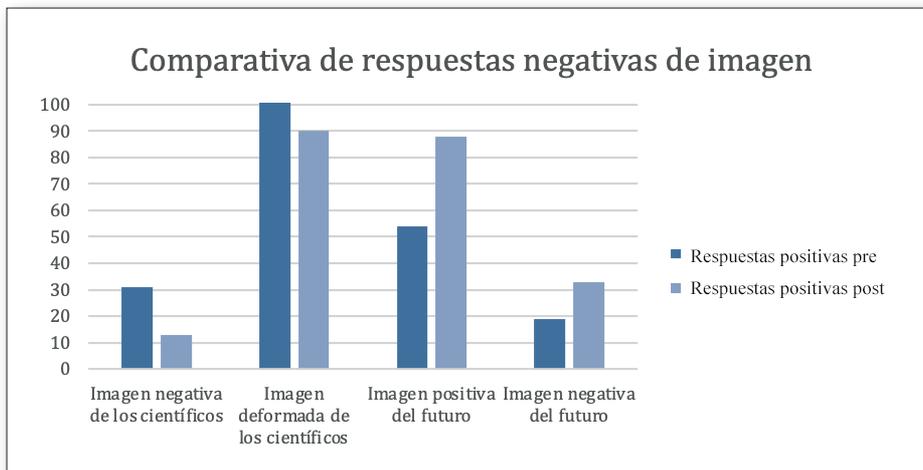


Fig. 3. Comparativa de respuestas negativas. Ítems de imagen.

En las grabaciones realizadas con los alumnos durante la intervención en el aula se puede intuir que les resulta fácil atribuir la responsabilidad de algunas situaciones a la ciencia y a los científicos. No en vano, surgen comentarios como:

- Alum. 4 Los científicos de las nucleares... mira lo que han hecho en Fukushima que no se puede beber allí, porque del terremoto se había contaminado el agua.
- Alum. 6 Chernóbil.
- Alum. 2 Pero eso lo han provocado también.

En estos comentarios se alude a una situación que les es familiar y similar a las de las películas. Incluso forzando la situación, a los alumnos les resulta difícil admitir la intervención de la ciencia en la mejora del futuro, aunque no culpabilizan tanto a los científicos como a la industria, las centrales nucleares, etc.:

- Prof. ¿Quién os ha enseñado a reciclar? ¿Quién os pide que recicléis?
Alum. 2 Las papeletas y la tele.
Prof. ¿Quién habla de cambio climático?
Alum. 3 Los científicos.
Prof. ¿Y quién no hace caso?
Alum. 3 ... Yo sí que reciclo.
Alum. 4 Producen sustancias tóxicas y las tiran al mar
Prof. ¿Esos son los científicos? ¿Quién produce sustancias tóxicas y las tira al mar?
Alums. Las industrias.
Alum. 4 Las centrales nucleares.

CONCLUSIONES

El trabajo expuesto supone un cúmulo de evidencias sobre el beneficio en la conceptualización y la mejora en la imagen de la ciencia que tiene la realización en el aula de actividades relacionadas con el cine de ciencia ficción. A modo de resumen, podemos destacar que la realización de actividades basadas en el cine de ciencia ficción mejora la conceptualización de la gravedad y de la luz y el sonido, lo que se ha puesto de manifiesto en el aumento de aciertos en los cuestionarios pre y post realizados por el alumnado.

Con la realización de este trabajo en el aula, el número de preguntas del cuestionario postest sin responder disminuye, por lo que se deduce que el alumnado se siente más seguro para contestar, aunque no siempre de manera acertada, después de trabajar las actividades. Esto permite que el profesorado pueda detectar errores o ideas alternativas y pueda intervenir en su corrección.

Se observa que pese al conocimiento previo de la diferencia entre la luz y el sonido (ítem 1.2 respondido en el pretest de manera correcta por gran parte del alumnado), con una intervención basada en el cine de ciencia ficción los resultados mejoran en la argumentación del fenómeno y se supera la idea alternativa introducida por la CF de que las explosiones se oyen en el espacio.

Por otro lado, se observa que el alumnado entiende que la masa y el peso son conceptos diferentes, pero no son capaces de razonar la diferencia (ítem 2.1). Sin embargo, sí consiguen apreciar la diferencia entre gravedad e ingravidez a la que están sometidos los y las astronautas, con lo que se supera la idea alternativa de astronautas con gravedad terrestre en las naves.

Realizando actividades para fomentar la mejora de la imagen del trabajo científico, las personas que trabajan en ciencia y la influencia de este campo en el futuro, se observa la mejora en la opinión del alumnado al respecto, aun a pesar de la argumentación reiterativa, por parte del alumnado, en sentido negativo durante las actividades. Esto puede fomentar un mejor entendimiento sobre la profesión dedicada a la ciencia y la contribución de esta a la sociedad y al futuro, así como puede reducir las visiones negativas o deformadas de los y las jóvenes sobre el trabajo científico, visiones fomentadas en muchas de las películas de CF de las últimas décadas del pasado siglo (Elías, 2010). Es fundamental en este caso el papel del profesorado para poner en evidencia el papel de las personas en particular y de la sociedad en general en la valoración del conocimiento científico y la gestión de las recomendaciones que de él se derivan.

Estos resultados nos animan a seguir implementando actividades con secuencias cinematográficas en el aula. Existen numerosos ejemplos de errores científicos en el cine de ciencia ficción que pueden ayudar a trabajar su corrección en el aula.

Por otro lado, la mejora de la imagen del mundo científico y, sobre todo, respecto a la cuestión de género y ciencia, pueden también ser tratados con actividades de este tipo y mediante películas de ciencia ficción las biografías de personajes del mundo de la ciencia (*biopics*) y los documentales (Kool

et al., 2022). También sería interesante analizar la recurrente visión de los científicos (el masculino plural en este caso es intencionado) y cómo se forja esa imagen antes de la edad de acceso a la educación secundaria.

Por último, el hecho de que el cine de CF trata temas como la manipulación genética, la inteligencia artificial o el calentamiento global, que incorporan aspectos científicos, sociales, económicos, políticos y éticos controvertidos, nos permite remitir a estas cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de las ciencias, que pueden favorecer el desarrollo del pensamiento crítico en el alumnado (Petit et al., 2021).

No podemos dejar de mencionar en todo caso que la ley regula el modo en el que se pueden utilizar películas y vídeos en el aula, por lo que invitamos al profesorado a ceñirse a lo que en la Ley de la Propiedad Intelectual se expone (Ministerio de Cultura, 2022).

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el proyecto EDU2015-69701-P financiado por MINECO/AEI/10.13039/501100011033/ y FEDER.

Parte del trabajo de aula se ha llevado a cabo por la profesora Amparo Torres, a la que agradecemos su interés y colaboración.

REFERENCIAS

- Abril, A. M. y Muela, F. J. (2015). Significados sobre genética transmitidos por el cine y la educación formal. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 29, 195-214. <https://doi.org/10.7203/DCES.29.3908>
- Babaii, E. y Asadnia, F. (2021). «If a black hole is an oyster, then...»: The discursive trends of popularization in science fiction movies. *Public Understanding of Science*, 30(7), 868-880. <https://doi.org/10.1177/09636625211038117>
- Bacas, P., Martín, M., Pererea A., F. y Pizarro, A. (1997). Una propuesta didáctica para bachillerato: Física y ciencia ficción. *Revista española de física*, 11(4), 31-37.
- BBC News Mundo (2010). Cuando Hollywood se burla de la ciencia. *BBB.com*. https://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/09/100902_cine_hollywood_ciencia
- Blanco, A. (2004). Relaciones entre la educación científica y la divulgación de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(2), 70-86. <http://hdl.handle.net/10498/16448>
- Carrascosa, J. (2006). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte III). Utilización didáctica de los errores que aparecen en cómics, prensa, novelas y libros de texto. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(1), 77-88. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3883>
- Casé, L. R., Neer, R. Lopetegui, S. y Doná, S. (2010). Estrategias de aprendizaje y rendimiento académico según el género en estudiantes universitarios. *Revista de Psicología*, 11, 199-211. <http://hdl.handle.net/10915/14994>
- Couso, D., Jimenez-Liso, M. R., Refojo, C. y Sacristán, J. A. (Coords.) (2020). *Enseñando Ciencia con Ciencia*. Madrid. FECYT y Fundación Lilly.
- Efthimiou, C. J. y Llewellyn, R. A. (2007). Cinema, Fermi problems and general education. *Physics Education* (42), 253-262. <https://doi.org/10.48550/arXiv.physics/0608058>

- Efthimiou, C. J. y Llewellyn, R. A. (2004). *Physics in films: a new approach to teaching science*. Cornell University Library. <https://doi.org/10.48550/arXiv.physics/0404064>
- Elías, C. (2010). El cine como arma de destrucción masiva de la ciencia. *Revista Iberoamericana de Física*, 6(1), 2-3.
- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J. Cachapuz, A. y Praia, J., (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(3), 477-488.
- Gallego, A. P. (2007). Imagen popular de la ciencia transmitida por los comics. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), 141-151. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3838>
- Green, J. L. (2019). Why scream about sound in space? The functions of audience discourse about unrealistic science in narrative fiction. *Public Understanding of Science*, 28(3), 305-319. <https://doi.org/10.1177/0963662518808729>
- Guisasola, J. y Morentin, M. (2007). ¿Qué papel tienen las visitas escolares a los museos de ciencias en el aprendizaje de las ciencias? Una revisión de las investigaciones. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 439-452.
- José, J. (2006). Científics a 24 fotogrames per segon. *Mètode*, 48, 77-82. <https://metode.cat/revistes-metode/monografics/cientifics-a-24-fotogrames-per-segon.html>
- Kagan, S. (1994). *Cooperative learning. Resources for Teachers*. Kagan Cooperative Learning.
- Kirby, D. A. (2003). Scientists on the Set: Science Consultants and the Communication of Science in Visual Fiction. *Public Understanding of Science*, 12(3), 261-278. <https://doi.org/10.1177/0963662503123005>
- Koch, C., Saner, M., Schäfer, M. S., Herrmann-Giovanelli, I. y Metag, J. (2020). «Space means Science, unless it's about Star Wars»: A qualitative assessment of science communication audience segments. *Public Understanding of Science*, 29(2), 157-175. <https://doi.org/10.1177/0963662519881938>
- Kool, D., Azevedo, N. H. y Avraamidou, L. (2022). «The lonely heroine»: portrayal of women scientists in films. *Educational Media International*, 59(2), 150-171. <https://doi.org/10.1080/09523987.2022.2101205>
- Locke, S. (2005). Fantastically reasonable: Ambivalence in the representation of science and technology in super-hero comics. *Public Understanding of Science*, 14(1), 25-46. <https://doi.org/10.1177/0963662505048197>
- Martin, E. (2000). ¿Puede ayudar la teoría del cambio conceptual a los docentes? *Tarbiya, revista de Investigación e Innovación Educativa*, 26, 31-50. <https://revistas.uam.es/tarbiya/article/view/7113>
- Mateos, J. (2004). La evolución... a escena. De cómo el grupo Prometeo enseña aspectos sobre la evolución y de los recursos que pueden emplearse para ello. *Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las ciencias*, 1(2), 122-135. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3963>
- MECD. (2022). *Encuesta de hábitos y prácticas culturales en 2021-2022*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Septiembre de 2022. <https://www.culturaydeporte.gob.es/dam/jcr:f2932131-e501-4da6-b5f4-6387044916cf/encuesta-de-habitos-y-practicas-culturales-2021-2022.pdf>
- Ministerio de Cultura. (2022). Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril. BOE núm. 97, de 22 de abril de 1996. BOE-A-1996-8930. <https://www.boe.es/buscar/pdf/1996/BOE-A-1996-8930-consolidado.pdf>
- Ministerio de Cultura y Deporte. (2010). *Resolución de 16 de febrero de 2010, del Instituto de la Cinematografía y de las Artes Audiovisuales*. <https://www.boe.es/eli/es/res/2010/02/16/1>

- Mitchell, M. y McKinnon, M. (2019). 'Human' or 'objective' faces of science? Gender stereotypes and the representation of scientists in the media. *Public Understanding of Science*, 28(2), 177-190. <https://doi.org/10.1177/0963662518801257>
- Miralles-Martínez, P., Maquillón Sánchez, J., Hernández Pina, F. y García Correa, A. (2012). Dificultades de las prácticas docentes de innovación educativa y sugerencias para su desarrollo. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 15(1), 19-26. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=217024398001>
- Moreno, M. (2003). Cine y ciencia. *QUARK. Cultura científica*, 28, 102-111. <http://www.raco.cat/index.php/Quark/article/view/54999>
- Moreno, M. y José, J. (2009). Superhéroes y gravedad: el valor pedagógico de la ficción. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, (60), 43-53.
- Muela, F. J. y Abril, A. M. (2013). Genetics and Cinema: personal Misconceptions that Constitute Obstacles to Learning. *International Journal of Science Education Part B*, 4(3), 260-280. <https://doi.org/10.1080/21548455.2013.817026>
- Oliva, J. M. y Acevedo, J. A. (2005). La enseñanza de las ciencias en primaria y secundaria hoy. Algunas propuestas de futuro. *Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 2(2), 241-250. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3923>
- Oliveira, I., Magalhães, R. y de Souza, A. C. (2021) Science fiction and science education: 1984 in classroom, *International Journal of Science Education*, 43(15), 2501-2515. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1972488>
- Osborne, J., Erduran, S. y Simon, S. (2004). Enhancing the Quality of Argumentation in School Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020. <https://doi.org/10.1002/tea.20035>
- Palacios, S. L. (2011). *Einsten vs Predator*. Robinbook.
- Petit, M. F. y Solbes, J. (2012). La ciencia ficción y la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 30(2), 69-86. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v30n2.494>
- Petit, M. F. y Solbes, J. (2015). El cine de ciencia ficción en las clases de ciencias de enseñanza secundaria (I). Propuesta didáctica. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(2), 311-327. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i2.06
- Petit, M. F. y Solbes, J. (2016). El cine de ciencia ficción en las clases de ciencias de enseñanza secundaria (II). Análisis de películas. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 176-191. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i1.13
- Petit, M. F., Solbes, J. y Torres, N. (2021). El cine de ciencia ficción para desarrollar cuestiones socio-científicas y el pensamiento crítico. *Praxis & Saber*, 12(29), e11550. <https://doi.org/10.19053/22160159.v12.n29.2021.11550>
- Quirantes, A. (2011). Física de película: una herramienta docente para la enseñanza de Física universitaria usando fragmentos de películas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(3), 334-340. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2721>
- Reia-Baptista, V. (2012). Film literacy: Media appropriations with examples from the European film context [La alfabetización filmica: apropiaciones mediáticas con ejemplos de cine europeo]. *Comunicar*, 39, 81-90. <https://doi.org/10.3916/C39-2012-02-08>

- Rocard M. (Coord.) (2007). *Science education Now: A renewed Pedagogy for the future of Europe*. European Communities. <https://www.eesc.europa.eu/en/documents/rocard-report-science-education-now-new-pedagogy-future-europe>
- Rodriguez-Moneo, M. (2009). Motivar para aprender en situaciones académicas. En A. C. Gonzalo Romero, *La crisis de la escuela Educadora* (pp. 207-242). Laertes.
- Scaliter, J. (2011). *La ciencia de los superhéroes*. Robinbook.
- Solbes, J., Fernández-Sánchez, J., Domínguez-Sales, M. C., Cantó, J. y Guisasola, J. (2018). Influencia de la formación y la investigación didáctica del profesorado de ciencias sobre su práctica docente. *Enseñanza de las ciencias*, 36(1), 25-44. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2355>
- Solbes, J., Monserrat, R. y Furió, C. (2007). El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 21, 91-117. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2475999>
- Unesco. (2011). *Compendio mundial de la educación 2011: comparación de las estadísticas de educación en el mundo*. Instituto de estadística de la Unesco. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000215161>
- Vázquez, A. y Manassero, M. A. (1995). Actitudes relacionadas con la ciencia: una revisión conceptual, *Enseñanza de las ciencias*, 13, 337-346. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4254>
- Weingart P., Muhl C. y Pansegrau P. (2003). Of Power Maniacs and Unethical Geniuses: Science and Scientists in Fiction Film. *Public Understanding of Science*, 12(3), 279-287. <https://doi.org/10.1177/0963662503123006>

Learning Science and about Science in the Classroom with Science Fiction Cinema

M.^a Francisca Petit, Jordi Solbes

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. Facultad de Magisterio.

Universitat de València. Valencia. España

m.francisca.petit@uv.es, jsolbes@uv.es

Cinema and, in particular, science fiction (sci-fi) films, involves non-formal learning of science and its role in our society. Several studies have found that sci-fi films introduce a distorted image of science, of scientists and of the role of science in the future, as well as scientific errors (explosions heard in space or earth gravity in spaceships) that promote alternative conceptions in students.

Therefore, the aim of this study is to prove that working in the classroom with activities based on science fiction films improves the image of science and conceptual learning of students, especially in compulsory secondary education, in the years when the study of physics and chemistry begins formally in Spanish formal education.

For the research, it was decided that it would focus on students from 2nd and 3rd year of ESO. A questionnaire was given to them before the intervention in the classroom and afterwards (pre-post methodology). The intervention consists in semi-directed activities in the classroom based on fragments of the films chosen to deal with the proposed themes. After viewing the film clips, some questions were raised so that students could debate and argue about them. Subsequently, the chosen fragments are compared with videos that represent real situations. The students are again asked to compare both situations.

In order to overcome the distorted image of science, scientists and the future, scenes from *Mad Max*, *Soylent Green*, *Back to the Future* and *Contact* have been chosen. On the other hand, to overcome the students' alternative ideas about gravity, fragments from *Star Wars* and *2001, a Space Odyssey* were selected. Finally, for the activities concerning light, sound and explosions in space an excerpt from *Lost in Space* was proposed.

The results show an improvement in the students' opinion about scientists, science and its contribution to society and the future, and a reduction in the negative or distorted views that young people have of scientific work, views fostered in many of the recent sci-fi films.

With regard to the activities based on the sci-fi films where gravity and light and sound are addressed, an improvement in their conceptualisation can be seen, as evidenced by the increase in the number of correct answers between the pre and post questionnaires carried out by the students.

Lastly, it is important to note that, since sci-fi films deal with relevant socio-scientific issues, such as genetic manipulation, artificial intelligence or global warming, teachers can benefit from them in the teaching of science, particularly to encourage the development of critical thinking among students.