



El impacto de los juegos epistémicos para aprender sobre naturaleza de la ciencia en primaria

The Impact of Epistemic Games on Learning about the Nature of Science in Primary Education

María Antonia Manassero-Mas

Facultad de Psicología, Universidad de las Islas Baleares, Palma, Islas Baleares, España.
ma.manassero@uib.es

Ángel Vázquez-Alonso

Instituto de Investigación e Innovación Educativa, Universidad de las Islas Baleares, Palma, Islas Baleares, España.
angel.vazquez@uib.es

RESUMEN • Varios maestros de primaria enseñan aspectos básicos de naturaleza de la ciencia a su alumnado mediante cuatro juegos epistémicos, aplicando una pedagogía explícita, reflexiva y destrezas de pensamiento científico. Los objetivos son la aceptación y apropiación por parte del profesorado de los materiales didácticos, la participación del alumnado y un análisis exploratorio del impacto en el aprendizaje de este último. En este artículo se presentan los materiales didácticos, los instrumentos y los procedimientos de esta innovación. Los resultados indican una buena aceptación de los juegos por parte del profesorado, excelente motivación del alumnado y una mejora moderada de la imagen de la ciencia, con un mayor impacto en las chicas participantes. Finalmente, se discute la viabilidad de esta innovación, sus consecuencias para mejorar la educación científica en primaria, las limitaciones del estudio y su potencial prospectivo.

PALABRAS CLAVE: Naturaleza de la ciencia; Juegos serios de aprendizaje; Destrezas de pensamiento científico; Actitudes relacionadas con la ciencia; Género y ciencia.

ABSTRACT • Several primary school teachers teach basic aspects of the nature of science to their students through four epistemic games, which apply explicit and reflective pedagogy as well as some scientific thinking skills. The aims of this study are the acceptance and self-appropriation of the teaching materials among teachers, the motivation of the students and an exploratory analysis of the impact of these games on student learning. The teaching materials, instruments and procedures of this innovation are here presented. The results indicate good acceptance by teachers, excellent participation of students and a moderate improvement of their image of science, especially among the participating girls. Finally, the feasibility of this innovation, its consequences for improving science education in primary school, the limitations of this study and its prospective potential are discussed.

KEYWORDS: Nature of science; Serious learning games; Scientific thinking skills; Attitudes related to science; Gender and science.

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

INTRODUCCIÓN

La alfabetización científica para todos, como competencia básica de la ciencia y la tecnología (CyT), incluye los tradicionales conocimientos y procedimientos de CyT, los conocimientos más innovadores sobre la ciencia o naturaleza de la ciencia (NdC) y la educación para la ciudadanía global (transferencia a la vida diaria y ciudadana) y para la justicia social, sensible a las necesidades de todos (especialmente de las mujeres y las minorías). Aprender la alfabetización en este sentido requiere una integración reflexiva y crítica de cogniciones, actitudes y acciones (Sjöström y Eilks, 2017; Roberts, 2011).

El tema de este estudio es la NdC, un conjunto de metaconocimientos complejos, multifacéticos, interdisciplinarios, evolutivos y cambiantes, usados en la práctica científica para validar el conocimiento científico e intervenir en la sociedad. La NdC debería denominarse propiamente naturaleza del conocimiento científico, que manifiesta mejor su carácter de metaconocimiento –o conocimiento sobre el conocimiento (¿qué sabemos?) y sobre el conocer (¿cómo sabemos lo que sabemos?)– y justifica su convergencia con el concepto de conocimiento epistémico, utilizado en la literatura educativa general (Greene et al., 2016; Hofer, 2016). Por otro lado, el concepto de práctica científica integra una variedad de actividades interdisciplinarias (científicas, ingenieriles, tecnológicas, etc.) orientadas a la búsqueda del conocimiento, que ha dado lugar al surgimiento del acrónimo ciencia-tecnología-ingeniería-matemáticas (por sus siglas en inglés, STEM) desde la educación en ciencias para las nuevas generaciones (NGSS, 2013).

En la literatura se han propuesto visiones simplificadoras sobre NdC (Lederman, 2007) que han sido criticadas y sustituidas por conceptualizaciones más amplias y holísticas, como reflejan Erduran y Dagher (2014) y Manassero-Mas y Vázquez-Alonso (2019); ambas convergen en la idea de estructurar la NdC en dos dimensiones: cognitiva-epistemológica y social-institucional. La primera describe los principios epistemológicos (por ejemplo, el conocimiento cambia) y la segunda refleja las normas y actividades comunitarias e institucionales (el conocimiento es público) de los procesos de indagación y explicación del mundo natural, así como sus efectos e interacciones con la sociedad y la tecnología.

La complejidad metacognitiva de la NdC determina las dificultades de su enseñanza, que consisten en una demanda cognitiva exigente, la insuficiente comprensión del profesorado y la escasez de recursos didácticos (Lederman, 2007). Las tres constituyen rasgos agudos en el contexto español, por la inflación de las leyes educativas, cuyos currículos no han desarrollado suficientemente los temas de NdC y, consecuentemente, la formación del profesorado, los libros de texto y la enseñanza, han perdido esta innovación (García-Carmona, 2022; Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2017a). Además, la formación del profesorado de primaria suele ser pobre y peor en cuanto a la NdC, los centros educativos públicos de primaria han perdido sus laboratorios y los recursos para enseñar NdC en español y en primaria son escasos (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2012).

En este contexto hostil, que en España agudiza aún más las dificultades, este estudio afronta estos desafíos mediante una innovación transdisciplinar que crea materiales innovadores basados en juegos cooperativos para enseñar NdC en educación primaria y que desarrolla el pensamiento (científico y crítico) y las actitudes propias de la NdC.

La demanda cognitiva para aprender NdC

La investigación señala que, para ser efectiva, la enseñanza de la NdC debe ser explícita (los contenidos de NdC deben ser manifiestos) y reflexiva (es decir, exige pensar coherentemente sobre los conceptos y la práctica). Reflexionar implica usar las destrezas de pensamiento –científico y crítico– (PCC) para relacionar los resultados, conclusiones, consecuencias y limitaciones de la NdC, tal como hace la práctica científica, porque esto da sentido y hace significativo este aprendizaje (Khishfe, 2020; Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2020; Rudge y Howe, 2009; Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2016).

Varias investigaciones han identificado las principales barreras cognitivas en la comprensión de la NdC, que se corresponden con otras tantas destrezas (y falacias) del pensamiento: la incapacidad de diferenciar hechos y explicaciones y de coordinar pruebas, justificaciones, argumentos y conclusiones; la frecuente presencia de sesgos; los saltos a las conclusiones como autoevidentes; la desatención a las ideas y evidencias contrarias; y la falta de metacognición y autorregulación. Para superarlas, diversos estudios proponen lo obvio: dominar las destrezas de PCC (por ejemplo, el razonamiento), pues estas, además, permiten vincular experiencias, hechos y conceptos, que hacen el aprendizaje significativo y transferible (Chater, 2018; Erduran y Kaya, 2018; Ford y Yore, 2012; Khishfe et al., 2017; Simonneaux, 2014; Willingham, 2010).

Incluso algunos autores sugieren que los temas de la NdC y el PCC tienen una relación mutua y fructífera, tanto para la educación científica (en forma de pensamiento científico) como para la educación general (en forma de pensamiento crítico), o bien, con la denominación de síntesis propuesta en este estudio (PCC), basada en la semejanza entre ambos (Allchin y Zemplén, 2020; Greene et al., 2016; Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2020; Saido et al., 2018; Settlage y Southerland, 2020).

Actitudes, género y ciencia

El dominio afectivo nace como área de investigación de la psicología en la primera mitad del siglo xx. A finales de siglo también se ha constituido como un campo de estudio en didáctica de la ciencia, centrándose en investigar las percepciones del alumnado sobre la ciencia, los científicos, la sociedad, la ciencia escolar y, sobre todo, en el cambio de las actitudes desfavorables, donde la edad, el género y el curso son variables influyentes (Ramsden, 1998).

Las evaluaciones educativas internacionales a gran escala, como Trends in International Mathematics and Science Study (Mullis et al., 2021), y el Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes (OECD, 2017) detectan una gran paradoja, pues los alumnos con puntuaciones más altas tienden a mostrar menor interés y peores actitudes, como si la educación científica fuera incapaz de generar afectos positivos hacia la ciencia. Para superar esta contradicción, la educación de actitudes proactivas hacia la STEM ha pasado a ser un objetivo central de la ciencia escolar, ya que estas actitudes contribuyen a mejorar el aprendizaje cognitivo y otros muchos aspectos afectivos y sociales y es valioso para los intereses personales, laborales y sociales (Fensham, 2009).

En los inicios del siglo xxi, el proyecto Relevance of Science Education demostró que los jóvenes de los países occidentales presentaban un patrón afectivo de decepción con respecto a la STEM y considerables diferencias de género (Sjöberg y Schreiner, 2019). Sin embargo, las diferencias de género de los adolescentes españoles eran las más bajas de los países occidentales (Vázquez y Manassero, 2007).

Por otro lado, la situación de diferencias y deficiencias de oportunidades para las mujeres en la educación STEM es un problema persistente, pues chicos y chicas exhiben diferencias en múltiples aspectos STEM: el aprendizaje escolar, las actitudes, el interés y la infrarrepresentación de las mujeres en estudios y carreras STEM (OECD, 2017). La interpretación de estas persistentes diferencias de género conduce al denominado estereotipo masculino de la STEM, que merma el sentido de pertenencia de las mujeres según tres categorías: la imagen masculina de la STEM, el déficit de experiencias previas y la menor percepción de autoeficacia de las mujeres (Cheryan et al., 2017). Este estudio pretende abordar la educación de actitudes y la brecha de género mediante recursos didácticos equitativos respecto al género, como se argumenta en los párrafos siguientes (Andersen, 2001; Archer et al., 2020; Holmes et al., 2022).

La escasez de recursos para enseñar NdC

Las actividades de laboratorio son un recurso tradicional para enseñar temas de NdC, que generan interés y motivación hacia la ciencia (Lederman y Lederman, 2019). Sin embargo, algunos estudios plantean que son ineficaces, pues demuestran que generan un interés efímero, fallan a la hora de relacionar las actividades con los conceptos científicos y el alumnado apenas se limita a seguir una receta (Abrahams y Reiss, 2012). Además, otros estudios apuntan que discriminan a las mujeres, pues los hombres acaparan el equipo, analizan los datos, participan y hablan más que ellas, quienes suelen tomar notas o gestionar (Aguillon et al., 2020; Holmes et al., 2022; Quinn et al., 2020) y Gericke et al. (2022) concluyen que los logros reales del trabajo en laboratorio son controvertidos.

El auge del juego digital para el entretenimiento ha creado los denominados *juegos serios*, orientados al aprendizaje. Diversos estudios sugieren que estos son más efectivos que la instrucción convencional para producir cambios conductuales, cognitivos, motivacionales, afectivos y socioculturales (Clark et al., 2016; Plass et al., 2015).

Los juegos epistémicos son juegos serios centrados en la resolución de problemas realistas, auténticos, abiertos y multidisciplinarios en el marco epistémico de una comunidad de prácticas, y los que simulan la resolución de problemas como en la práctica científica pueden plantear aspectos de NdC (Oubahssi et al., 2020). Sin embargo, la revisión de Li y Tsai (2013), que analizó 31 investigaciones sobre juegos científicos, y la posterior de Arzmann et al. (2022) no encontraron juegos que abordasen el aprendizaje epistémico sobre la práctica científica, por lo que quedó demostrada la falta de recursos-juegos para enseñar temas de NdC.

La carencia de laboratorios y juegos específicamente epistémicos y las ventajas educativas de los juegos avalan la propuesta innovadora de este estudio, que se basa en una experiencia de práctica científica mediante juegos serios epistémicos para enseñar (y pensar) la NdC (Chater, 2018). Previamente, se han explorado y diseñado diversos juegos cooperativos que ofrecen una analogía de la práctica científica asequible, accesible y motivadora, y también afrontan las carencias mencionadas (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2017b). Además, la educación primaria es el nivel educativo menos frecuente en la investigación sobre NdC, debido al menor desarrollo cognitivo de sus estudiantes y a la escasa formación científica del profesorado (Cofré et al., 2019).

Este estudio presenta recursos didácticos nuevos en forma de juegos epistémicos, adaptados al nivel cognitivo del alumnado de primaria, para aprender temas de NdC, practicar las destrezas de PCC y desarrollar profesionalmente al profesorado mediante la formación para planificar esas enseñanzas. La motivación inherente al juego permite superar los inconvenientes de las actividades de laboratorio, ya que también enseñan rasgos genuinos de la práctica científica, desarrollan el PCC (planteando preguntas, buscando respuestas fundadas y conectando reflexivamente juegos y conceptos científicos) en un contexto de equidad de género.

El objetivo de este estudio es mostrar que los juegos epistémicos cooperativos, basados en el desarrollo experiencial del PCC, superan las barreras de la enseñanza de la NdC mediante la motivación y la participación entusiasta y reflexiva del alumnado en las actividades de juego, así como la formación del profesorado a través de la aceptación y apropiación autocrítica de los materiales didácticos de los juegos. El estudio aplica un modesto análisis exploratorio cuantitativo para evaluar el impacto de los juegos en la mejora de las actitudes relacionadas con CyT del alumnado participante; asimismo, permite explorar su contribución a la equidad de género en la educación científica como atractivo potencial para las mujeres hacia la CyT. Las preguntas de investigación más específicas del análisis exploratorio son las siguientes: ¿Cuál es el diagnóstico base de las actitudes en primaria? ¿Son eficaces los juegos para mejorar las actitudes? ¿Qué actitudes específicas mejoran los juegos? ¿Cómo afectan los juegos diferencialmente a chicos y a chicas?

MÉTODOS Y MATERIALES

Materiales

Los elementos básicos de cada juego están resumidos en la tabla 1 y en la lista siguiente, aunque pueden consultarse más detalles al respecto en trabajos previos (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2016, 2017b).

Tangram o rompecabezas. Muestra que la ciencia es dinámica y cambia (provisionalidad y falibilidad del conocimiento).

Cubos o dados. Explicita los estándares de la ciencia: observación, argumentos lógicos basados en evidencias y escepticismo organizado.

Cartas o naipes. Simula el descubrimiento, la codificación y la validación de leyes naturales mediante procesos de observación, hipótesis, predicción, confirmación, falsación y argumentación.

Caja misteriosa o negra. Emula la construcción y validación de conocimientos desde una perspectiva empírica, que incluye retos, clasificación y mediciones.

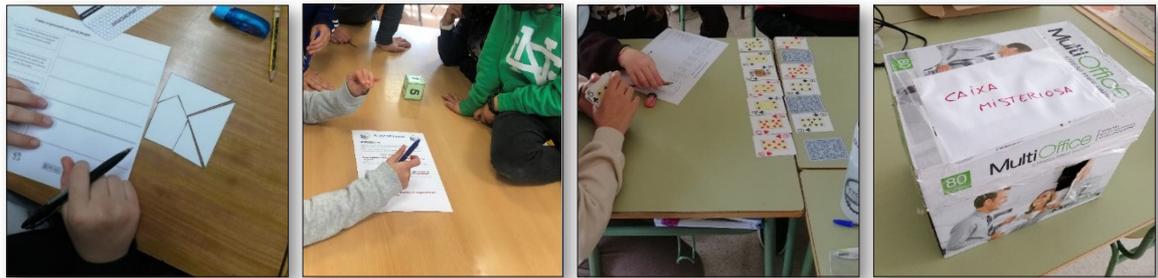


Fig. 1. Imágenes de estudiantes practicando los cuatro juegos con la guía sobre la mesa.

Los juegos satisfacen los criterios básicos para la enseñanza eficaz de la NdC: plantear explícitamente el tema de la NdC y estimular la discusión reflexiva entre iguales sobre los elementos epistémicos (ideas creadas, hipótesis, predicciones, argumentación, etc.) y sociales (discusión, cooperación y competencia, etc.) de la ciencia.

Tabla 1.
Resumen de los elementos empleados en cada juego

<i>Juego /reto</i>	<i>Materiales</i>			<i>Temas de naturaleza de la ciencia</i>		
	<i>Materiales</i>	<i>Lecturas</i>	<i>Didácticos</i>	<i>Específicos</i>	<i>Trasversales</i>	
Rompecabezas (Tangram)						
Componer un cuadrado con 4 y 5 piezas	5 piezas del tangram	¿De dónde proceden los seres vivos?	Guía organizadora SEA*	– Provisionalidad y falibilidad – Cambio de paradigma	Coordinación datos-evidencia por argumentación Compartir contenidos y argumentos con otros Practicar / participar en debates Cooperar para afrontar ideas y conceptos Desarrollar actitudes y disposiciones científicas (curiosidad, apertura, escepticismo...)	
Cubos o dados						
¿Qué hay en la cara oculta del cubo?	Cubos para tarjetas insertables (o cubos de papel)	Un nuevo planeta	Guía organizadora SEA*	– Construcción de conocimiento – Explicación científica		
Cajas negras o misteriosas						
¿Qué hay dentro de la caja?	Caja cerrada llena de objetos variados	Clasificación de los seres vivos Abriendo la caja misteriosa de la materia	Guía organizadora SEA*	– Crear hipótesis – Observar – Razonar – Argumentar con pruebas – Hacer predicciones – Argumentar para convencer a otros – Investigación científica (medir, clasificar, diseñar comprobar...)		
Cartas o naipes						
¿Qué ley siguen las cartas?	Mazos de cartas	Una ley para la navegación	Guía organizadora SEA*	– Crear hipótesis con base en la observación y el razonamiento – Argumentar con pruebas – Hacer predicciones – Argumentar para convencer a otros		

*SEA: Secuencia de enseñanza-aprendizaje.

Los elementos de los juegos incluyen los materiales necesarios para jugar (por ejemplo, mazos de cartas), los documentos didácticos para la enseñanza y el instrumento para investigar su impacto. Los documentos didácticos son las guías organizadoras del alumnado, la lectura de un caso histórico de la ciencia, la SEA y un video, donde una mujer investigadora de vanguardia explica su área de trabajo (tabla 1).

Instrumento de investigación

El alumnado responde un cuestionario actitudinal formado por 36 ítems, seleccionados del cuestionario ROSES por su adaptación a los participantes de primaria y el tema de este estudio (Jidesjö et al., 2021). El test valora cuatro dimensiones: la imagen de la CyT (CyT), la percepción de las clases de ciencias escolares (CLAS), las actitudes ambientales (AMB) y los rasgos importantes de un trabajo

futuro (TRAB). La primera es la más relacionada con temas de NdC, pues sus frases recogen elementos epistémico-cognitivos (por ejemplo, que debemos confiar en los científicos) y sociales (la CyT es importante para la sociedad); mientras que las otras tres se relacionan con otros aspectos de la alfabetización científica (Manassero y Vázquez, 2024).

Los ítems tienen una redacción simple y mayoritariamente positiva y se pide al alumnado una respuesta sobre una escala Likert de 4 puntos (1-desacuerdo, 4-acuerdo; 1-poco importante, 4-importante). Cuatro ítems están formulados negativamente (como «la ciencia es una asignatura escolar difícil») para paliar el sesgo de aquiescencia; sus puntuaciones son invertidas en los resultados para que su interpretación tenga el mismo sentido que los ítems formulados en positivo (Kreitchmann et al., 2019).

Procedimientos y análisis

El profesorado organiza, adapta y aplica flexiblemente los materiales a la enseñanza de sus estudiantes, como parte de su programación de aula, teniendo en cuenta las necesidades y el nivel cognitivo de sus estudiantes. Se espera que estas tareas incidan en su desarrollo profesional sobre el tema de la NdC como formación en la propia práctica educativa (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2017b).

Las lecturas relatan, de manera breve y simple, casos de historia de la ciencia que conectan las actividades de juego con los conceptos científicos y resaltan las argumentaciones científicas a favor y en contra de la controversia planteada en cada caso. El profesorado debe complementar la lectura con preguntas y ejemplos que ayuden al alumnado a comprender y conectar los conceptos y argumentos de la lectura con los practicados en los juegos (aprendizaje).

La SEA contiene el plan didáctico de cada juego, especificando los objetivos, las competencias clave, los saberes básicos y criterios de evaluación y la organización de las actividades y los materiales. El plan aplica el modelo de las 7E (enganchar, extraer, explicar, explorar, elaborar, evaluar y extender), que asume los principios del diseño universal del aprendizaje (DUA): equidad y multiplicidad de representaciones, de medios de acción y expresión y de actitudes de implicación del alumnado. El planteamiento en cada juego es similar: un reto en forma de pregunta (tabla 1) que requiere una respuesta, que elaborarán los grupos pequeños cooperativos. Esto aproxima el juego a una situación de aprendizaje y su metodología a un proyecto cooperativo de resolución de problemas basado en el pensamiento. Ambos comparten el modelo de validación del conocimiento propio de la práctica científica (cooperación y competencia entre pares). Estos rasgos lo hacen familiar para los docentes y es efectivo para aprender la materia (Capraro et al., 2013; Tena y Couso, 2023).

Las guías organizadoras (figura 2) son fichas que el alumnado debe completar en las actividades durante el juego; sirven de andamio para facilitar la reflexión durante el juego y posteriormente, desarrollando y codificando las destrezas de PCC (observaciones, argumentaciones, hipótesis, predicciones, razonamientos, etc.).

Guías organizadoras para juegos

Guía para juegos de cartas

Participante (s): Carlota, Emilia y Lucas Papel en el juego: científico

	Paso 1	Paso 2	Paso 3	Paso 4	Paso 5	Paso 6	Paso 7	Paso 8
Carta que pongo (color, Número, palo)	Color rojo Número 6 Palo diamante	Color rojo Número 10 Palo diamante	Color negro Número 6 Palo trébol	Color rojo Número 7 Palo diamante	Color Número Palo	Color Número Palo	Color Número Palo	Color Número Palo
Carta que sale	Color negro Número 4 Palo trébol	Color negro Número 8 Palo trébol	Color negro Número 12 Palo trébol	Color rojo Número 5 Palo trébol	Color Número Palo	Color Número Palo	Color Número Palo	Color Número Palo
Hipótesis sobre ley								
Predicción: carta que saldrá								
Acierto o error de la predicción								
Posibilidad/alternativa diferente a la predicha								
Razón para descartar la hipótesis o alternativas								
Razón para aceptar la hipótesis o alternativas								
Propongo la ley siguiente								
Acierto o error de la predicción								
Ley final: <u>Aceptado Dos menos</u>								
Observaciones <u>Aceptado</u>								



© M^a Antonia Manassero & Ángel Vázquez

Fig. 2. Guía organizadora del juego de cartas con cuatro jugadas y la ley final descubierta (dos menos).

La búsqueda de la respuesta a la pregunta-reto de cada juego como proyecto cooperativo de grupo se basa en la hipótesis del orden natural: la naturaleza se manifiesta mediante patrones, reglas o leyes, que los científicos se esfuerzan por descubrir (NGSS, 2013). El proyecto está sometido a una regla de oro: los conocimientos científicos (hipótesis, leyes y teorías) deben ser coherentes con las observaciones y evidencias y con el conocimiento disponible, y esta coherencia se elucida ejercitando las destrezas de PCC. Por ello, las propuestas del alumnado en las actividades (ideas, hipótesis, predicciones, etc.) deben cumplir siempre una de las dos condiciones siguientes para ser aceptadas: acompañar la idea de una razón, argumentación o razonamiento, o justificar la coherencia de la idea con la evidencia disponible. Aquellas ideas que no aportan razones o no coinciden con la evidencia deben ser objetadas (al igual que hacen los científicos en la práctica real).

En el momento de realizar los juegos, las situaciones de aprendizaje de los juegos familiarizan a estudiantes y docentes con aspectos centrales del pensamiento y la metodología científicos, cuya correspondencia curricular es el bloque 1 de contenidos del currículo LOMCE de ciencias vigente en educación primaria (Iniciación a la actividad de los científicos). No obstante, el formato de pregunta-reto anticipa el de las situaciones de aprendizaje, la competencia STEM y otros aspectos curriculares de la LOMLOE.

El profesorado aplica el cuestionario exploratorio a sus estudiantes en formato digital, como un elemento más del proyecto, y siguiendo sus normas y adaptaciones. Para diagnosticar los efectos de este, el cuestionario se aplica antes (pretest) y después de los juegos (postest) al final de curso; en este caso, varias semanas después de finalizar el último juego. Las diferencias entre grupos se valoran con

el estadístico tamaño del efecto (TdE, d) –mide diferencias en unidades estándar– porque valora la magnitud de las diferencias (pequeñas, $d < .20$), que no es informada por la mera probabilidad de significación estadística (p).

Participantes

Los participantes de esta experiencia de juegos forman una muestra opinática, determinada por la voluntad de participar en el proyecto educativo de innovación con los juegos, que incluye a 12 docentes de cinco centros educativos diferentes y a su alumnado de sexto curso de primaria (165 estudiantes; 78 chicas y 87 chicos) en sus nueve grupos naturales de clase. Estos pertenecen a centros de primaria públicos (3) y concertados (2), de tamaño grande (1), mediano (2) y pequeño (2), ubicados en el centro (1) y periferia (1) de una ciudad grande, en dos ciudades medianas (2) y un pueblo pequeño (1). Esta amplia variabilidad sugiere una representación aproximada de la población.

Los docentes no tienen formación científica especial y desconocen la NdC. Los autores presentaron los juegos a los docentes, y ellos prepararon la actividad de aula, integrada en su propia programación (planificaron, explicaron y dirigieron la actividad de sus estudiantes). Las actividades de apropiación autocrítica y trasposición didáctica de los materiales al aula contribuyen al desarrollo profesional docente sobre enseñanza de NdC como una formación en la propia práctica educativa.

RESULTADOS

Los resultados exploratorios se basan en las respuestas del alumnado a las cuatro escalas de cuestiones (imagen de CyT, percepción de las clases de ciencias, actitudes ambientales y rasgos importantes de un trabajo futuro), antes (pre) y después (pos) de las actividades de los juegos.

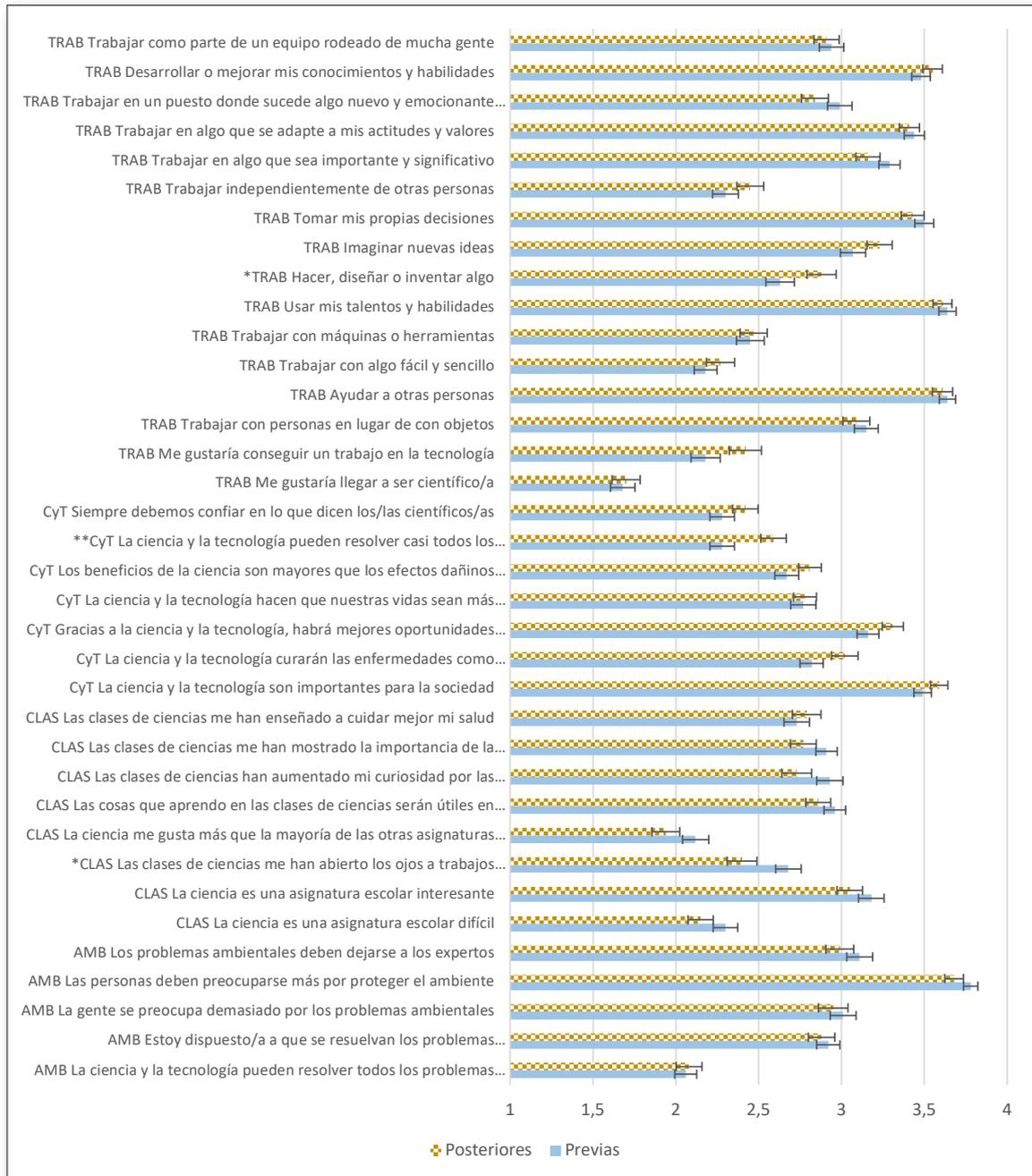


Fig. 3. Promedios de las 36 cuestiones y sus barras de error estándar, previas y posteriores, listadas por escalas: actitudes ambientales (AMB), clases de ciencias (CLAS), imagen de (CyT) y rasgos de un trabajo futuro (TRAB)

El potencial efecto de los juegos en las actitudes del alumnado

Antes de los juegos, el alumnado valoró muy positivamente (medias > 3) once aspectos (figura 3):

- Imagen de la ciencia: la importancia de la CyT para la sociedad y mejores oportunidades para las generaciones futuras que ofrece la CyT.

- Clases: la ciencia como asignatura interesante.
- Ambiente: debemos preocuparnos más por proteger el ambiente.
- Trabajo futuro: trabajar con personas, imaginar nuevas ideas, tomar decisiones propias, desarrollar conocimientos y habilidades, adaptarse a las actitudes y valores personales y usar talentos y habilidades propios.

En el otro extremo, el aspecto menos valorado es la intención de llegar a dedicarse a la ciencia, y dos aspectos ambientales reciben altos rechazos: los problemas ambientales debemos dejarlos a los expertos y la gente se preocupa demasiado por ellos.

La magnitud del cambio atribuible potencialmente a los juegos se valora mediante la significación estadística y el TdE de las diferencias entre las dos medidas (pre y pos) de las actitudes (figura 3).

El ítem con la mayor mejora es que CyT pueden resolver casi todos los problemas ($p = .005$; $d = .34$), aunque otros rasgos también mejoran por encima del umbral ($d > .20$):

- El gusto por conseguir un trabajo en tecnología ($p > .05$; $d = .22$),
- Un trabajo futuro de hacer, diseñar o inventar algo ($p = .046$; $d = .24$) y
- La CyT curará las enfermedades ($p > .05$; $d = .22$).

Las clases de ciencias no abren los ojos del alumnado a trabajos nuevos y emocionantes es el ítem que más empeora ($p = .018$; $d = -.28$).

Por grupos, las cuestiones de imagen de la CyT presentan las mayores mejoras, seguidas por las de rasgos importantes de un trabajo futuro (TRAB), mientras que las actitudes ambientales se mantienen sin diferencias importantes y la percepción de las clases de ciencias (CLAS) muestra una tendencia a empeorar. En suma, el potencial efecto de los juegos aparece centrado en mejorar la imagen de la CyT, dimensión que recoge los aspectos básicos de la NdC, junto con la mejora de la preferencia por un trabajo futuro de diseñar o inventar (ligado a la profesión científica). En el extremo opuesto, la percepción de las clases de ciencias tiende a empeorar.

Diferencias de actitudes entre chicas y chicos

Las diferencias de género en las actitudes se analizan mediante varias comparaciones. Por un lado, las diferencias entre chicos y chicas antes y después de realizar los juegos (figura 4) y, por otro, estudiando las diferencias pos-pre separadamente para chicos y chicas (figura 5).

Diferencias de actitudes entre chicas y chicos anteriores y posteriores

Los valores del TdE entre chicos y chicas anteriores a la experiencia con los juegos (figura 4) muestran que los chicos exhiben una actitud superior a las chicas ($d < 0$) en 19/36 cuestiones, mientras que las chicas superan a los chicos en 16/36 ($d > 0$). Pero las diferencias son relevantes solo en un caso: los chicos desean conseguir un trabajo en tecnología más que las chicas ($p = .010$; $d = -.416$).

Las diferencias de género en las respuestas posteriores (figura 4) indican que las chicas superan a los chicos en la media de 20 cuestiones, mientras que los chicos superan a las chicas en 15 cuestiones, lo cual invierte el patrón de diferencias global anterior a los juegos. Aunque la gran mayoría son pequeñas, aparecen algunas diferencias más significativas.

Favorables a las chicas:

- Trabajar donde sucede algo nuevo y emocionante con frecuencia ($p = .0001$; $d = .632$).
- Percibir los beneficios de la ciencia mayores que los efectos dañinos ($d = .304$).

- Las cosas que aprendo en las clases de ciencias serán útiles en mi vida cotidiana ($d > .333$).
- Trabajar en algo que sea importante y significativo ($d > .290$).

Favorables a los chicos:

- Conseguir un trabajo en tecnología ($p = .021$; $d = -.416$).
- La CyT puede resolver casi todos los problemas ($d = -.277$).

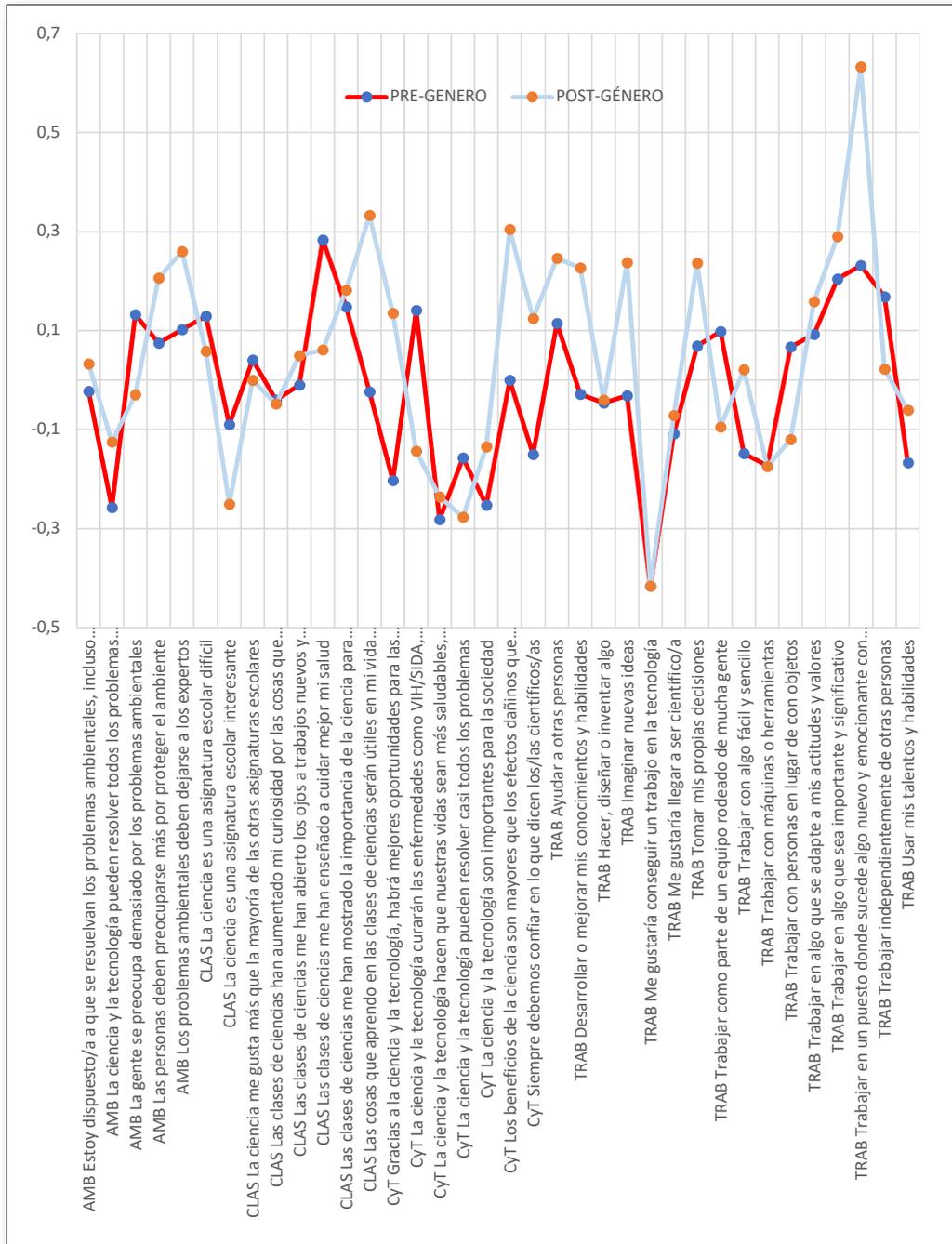


Fig. 4. Tamaño del efecto de las diferencias de género (chicas menos chicos) antes (pre) y después (pos) de la experiencia con juegos.

En suma, la mayoría de las diferencias entre chicos y chicas en actitudes antes y después de la experiencia con los juegos no son significativas ni relevantes ($d < .40$). Sin embargo, el análisis cualitativo y cuantitativo global sugiere que las chicas mejoran sus actitudes relativamente más que los chicos, como demuestra el incremento del número de cuestiones con diferencias favorables a las chicas posteriormente y las magnitudes finales del TdE mayores de las chicas en varias cuestiones, que apuntan a una inversión de las diferencias de género y a un moderado efecto en favor de las chicas.

Diferencias pos-pretest en cada grupo de chicas y de chicos

El análisis de las diferencias pos-pre en cada grupo de género separadamente computa el TdE pos-pre para el grupo de chicos y para el grupo de chicas separadamente (figura 5). Esto evalúa la evolución de las actitudes (mejoras y pérdidas) en cada grupo independientemente, es decir, la magnitud del efecto de los juegos en chicas y en chicos.

Las cuestiones donde las chicas alcanzan una mayor magnitud de mejora ($d > .30$) son:

- Los beneficios de la ciencia son mayores que los efectos dañinos.
- Imaginar nuevas ideas.
- Siempre debemos confiar en lo que dicen los científicos y científicas.
- Gracias a la CyT, habrá mejores oportunidades para las generaciones futuras.

En sentido opuesto, las chicas disminuyen más ($d < -.20$) en varias cuestiones de ciencia escolar:

- La ciencia es una asignatura escolar interesante.
- Las clases de ciencias me han abierto los ojos a trabajos nuevos y emocionantes.
- La ciencia es una asignatura escolar difícil.

Los chicos alcanzan la mayor magnitud de mejora pos-pre ($d > .30$) en:

- La CyT puede resolver casi todos los problemas.
- La CyT curará las enfermedades.

Al contrario, los chicos disminuyen más ($d < -.30$) en:

- Las clases de ciencias me han abierto los ojos a trabajos nuevos y emocionantes.
- Trabajar en un puesto donde sucede algo nuevo y emocionante con frecuencia.

En total, las chicas mejoran sus puntuaciones ($d > 0$) en 21 cuestiones y empeoran ($d < 0$) en 15, mientras que los chicos mejoran en 17 cuestiones y empeoran en las 19 restantes, un balance global moderadamente favorable a las chicas.

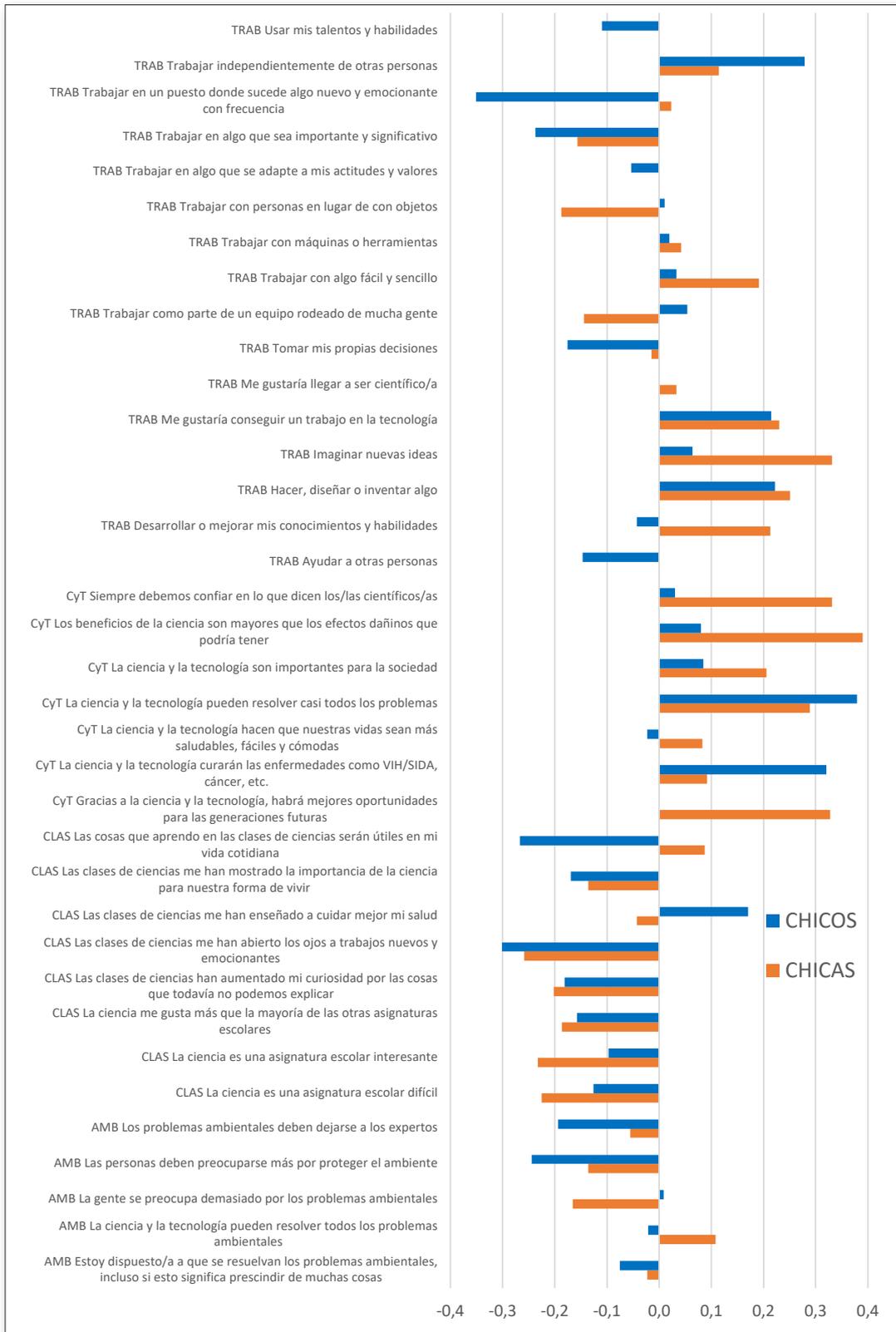


Fig. 5. Tamaño del efecto de las diferencias pos-pre de chicos y de chicas.

Los cambios negativos pos-pre son siempre una llamada de atención como debilidades del proceso educativo, de modo que las coincidencias y discrepancias en los signos de los cambios actitudinales pos-pre para chicos y chicas pueden aportar nuevas perspectivas acerca del efecto diferencial de los juegos según el género. El análisis cruzado según el signo del cambio pos-pre en ambos géneros produce cuatro combinaciones: dos grupos donde chicos y chicas tienen el mismo signo del cambio de actitud, bien ambos positivos (13) o bien ambos negativos (9), y dos grupos donde chicos y chicas tienen distinto signo (positivo y negativo alternativamente).

Además, para cada cuestión se ha calculado la magnitud del cambio diferencial entre chicas y chicos, restando el TdE pos-pre de las chicas menos el TdE de los chicos, de modo que los valores positivos del cambio indican que las chicas tienen un cambio actitudinal mayor que los chicos, mientras que los negativos indican un cambio actitudinal de los chicos mayor que las chicas.

La figura 5 muestra que tanto chicos como chicas coinciden en el signo de su cambio actitudinal en 22 cuestiones (13 coincidencias positivas y 9 negativas) y, además, que las chicas mejoran más que los chicos en la mayoría de los cambios positivos (8). En las restantes cuestiones (14) chicos y chicas tienen signos de cambio diferentes en sus actitudes a lo largo del curso, bien porque las chicas mejoran y los chicos empeoran o viceversa.

Los rasgos que muestran cambios actitudinales negativos suponen un efecto diferencial indeseado, que requeriría una intervención educativa de mejora, acorde con su perfil de género entre chicos y chicas. Obviamente, las 9 cuestiones donde tanto chicos como chicas coinciden en el signo negativo del cambio justifican la intervención más severa, pues diagnostican debilidades generales de la educación, y más si se tiene en cuenta que la mayoría de ellas se refieren a las clases de ciencias (desinterés, falta de apertura a trabajos nuevos, menor gusto por la asignatura de Ciencias, no aumentar la curiosidad y no mostrar la importancia de la ciencia para nuestra forma de vivir). Otras dos se refieren a la educación ambiental, a la disposición personal a resolver los problemas ambientales y a que todos deben preocuparse más por proteger el medio ambiente. Finalmente, también disminuye la preferencia por trabajos futuros que supongan tomar decisiones propias o trabajos importantes y significativos.

Los dos grupos de cambios negativos opuestos entre chicos y chicas también diagnostican debilidades, pero como solo son negativos para un grupo añaden una diferencia de género importante. Las debilidades de las chicas se refieren a las clases de ciencias (enseñar a cuidar mejor la salud) y las preferencias por trabajar con personas o con equipos de gente. Las debilidades de los chicos se refieren a que la CyT hace que nuestras vidas sean más saludables y pueden resolver los problemas ambientales, la utilidad de los aprendizajes de ciencias y varias preferencias de trabajo (ayudar a personas, usar talentos y habilidades, la adaptación a mis actitudes y valores, donde sucede algo nuevo y emocionante con frecuencia y mejora mis conocimientos y habilidades). Como estas debilidades afectan diferencialmente a chicos o a chicas, pero no a ambos, la intervención educativa de mejora requiere una perspectiva de atención a la diversidad de género centrada en lograr la equidad.

En suma, el análisis del efecto de los juegos sobre las actitudes según el género sugiere que las diferencias entre chicos y chicas antes y después de los juegos son pequeñas, más próximas entre sí después y, además, las actitudes de las chicas mejoran más que los chicos, reduciendo las diferencias con una inversión del patrón masculino inicial, en favor de un patrón final más femenino. El análisis diagnostica los rasgos actitudinales específicos que empeoran para chicos y chicas y que implican medidas de intervención educativa de mejora, y muy especialmente las medidas de atención a la diversidad de género, para adaptar al grupo las cuestiones cuando los signos son diferentes en chicos y chicas (unos mejoran y otros empeoran).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este estudio plantea una enseñanza innovadora de la NdC y el PCC mediante cuatro juegos epistémicos como respuesta a las dificultades de esa enseñanza (falta de recursos, escasa formación docente y ausencia de desarrollo en el alumnado) mediante la poderosa y simple analogía explícita de la práctica científica representada en los retos de cada juego. Además, se plantea en educación primaria, un escenario menos atendido por la investigación y más difícil de investigar, por el menor desarrollo cognitivo del alumnado (Cofré et al., 2019; Tena y Couso, 2023). Los investigadores verificaron que los docentes llevaron a cabo la apropiación autocrítica y trasposición didáctica de los juegos a sus aulas adecuadamente.

Las situaciones de aprendizaje de los juegos enseñan aspectos simples de la NdC mediante una metodología explícita, reflexiva y adaptada al desarrollo cognitivo del alumnado. Los investigadores y el profesorado constataron que el alumnado se implicó con alta motivación para resolver el reto y ganar cada juego, de modo que los juegos amplifican las oportunidades de practicar y desarrollar las estrategias de pensamiento de manera natural, colaborativa y lúdica, lo que supone el primer paso para superar las barreras pedagógicas y construir aprendizajes significativos en NdC (Khishfe, 2020; Lederman, 2007; Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2020) y desarrollo del pensamiento (Chater, 2018; Willingham, 2010).

Este estudio se justifica por la naturaleza innovadora, accesible y emocionante de los juegos y las contribuciones cualitativas a la NdC y el PCC: la aportación de un recurso didáctico donde estos escasean, la transformación del dificultoso aprendizaje de NdC en uno motivador para el alumnado y, paralelamente, el fluido desarrollo profesional del profesorado en su práctica educativa. A través de las atractivas actividades de resolver el reto en cada juego, el alumnado tiene oportunidades continuas de practicar destrezas de PCC (crear hipótesis, argumentar con base en pruebas, explicar y predecir observaciones, investigar, etc.) en procesos vinculados con aspectos sociales en grupo (comunicar, convencer, cooperar), actitudinales (curiosidad, apertura, escepticismo, etc.) y epistémicos (coordinación evidencia-razonamiento). Como objetivos pedagógicos, el alumnado aprende a compartir proyectos, ideas y conceptos, participa en debates responsables y constructivos y coopera para ganar el juego. Simultáneamente, la flexibilidad de estos juegos permite su adaptación a las necesidades cambiantes de estudiantes y profesorado de primaria, y su sencillez garantiza su sostenibilidad para consolidar la enseñanza de temas de NdC en primaria (Manassero-Mas y Vázquez-Alonso, 2020).

La principal conclusión del análisis cuantitativo es que los juegos resultan funcionales para mejorar aspectos sencillos de la NdC, pues todas las frases de la escala de imagen de la CyT mejoran su puntuación media, aunque las diferencias sean modestas. La mejora más relevante la logra la idea epistémica de que la CyT resuelve problemas, lo que coincide con la práctica vivida en cada juego (resolver el reto). También mejoran mucho la percepción de algunos aspectos de un trabajo futuro directamente relacionado con la práctica científica (hacer, crear o inventar algo) y la alta mejora de la expectativa acerca de tener un trabajo tecnológico, ambos resultados coherentes entre sí. La respuesta a la primera pregunta de investigación es positiva: los juegos son eficaces para promover actitudes favorables en el alumnado, pues el perfil actitudinal final de este mejora la imagen de la CyT.

Otro efecto cuantitativo de los juegos es la reducción de las diferencias de género en las actitudes. Después de los juegos, chicos y chicas exhiben actitudes más próximas entre sí que con anterioridad a estos juegos, ya que el patrón ligeramente masculino de las diferencias de género al inicio se convierte en un patrón ligeramente femenino al final, pues las chicas mejoran sus actitudes con los juegos más que los chicos. A diferencia de lo que ocurre con las actividades de laboratorio, este análisis exploratorio muestra que los juegos transmiten una imagen de CyT más realista, emocionante y motivadora para las chicas y para sus aspiraciones de trabajo, así como alejada del estereotipo masculino (Abrahams y Reiss, 2012; Archer et al., 2020; Holmes et al., 2022).

La respuesta a la segunda pregunta destaca las grandes mejoras en aspectos concretos de la imagen de la CyT (por ejemplo, la CyT resuelve los problemas) y en los rasgos importantes de un trabajo futuro (conseguir un trabajo en tecnología; hacer, diseñar o inventar algo). Paralelamente, las actitudes ambientales no cambian y diversos aspectos de las clases de ciencias empeoran, cuya interpretación es que estos aspectos no se relacionan con los juegos y, por ello, estos no influyen en aquellos.

Los aspectos actitudinales que empeoran sugieren distintas oportunidades para mejorar la educación científica. Por ejemplo, el descenso general del acuerdo con las frases sobre las clases de ciencias es una llamada de atención a renovar la enseñanza de la ciencia. Además, los aspectos donde chicas y chicos empeoran (un bajo interés en la ciencia escolar) requieren una intervención educativa prioritaria (hacer la ciencia más interesante). Sin embargo, los aspectos donde chicos y chicas exhiben resultados de signo opuesto, tales como el cuidado de la salud (las chicas empeoran y los chicos mejoran), o, al contrario, la utilidad del aprendizaje para la vida cotidiana (las chicas mejoran y los chicos empeoran), plantean un desafío mayor porque su mejora requiere medidas adaptadas a la diversidad de género observada en este análisis. En suma, las actitudes empeoradas sugieren sendos objetivos de mejora del aprendizaje STEM en primaria, cruciales para favorecer la participación del alumnado en STEM (Aguillon et al., 2020; Holmes et al., 2022; Quinn et al., 2020).

No obstante, la experiencia tiene algunas limitaciones contextuales. Las limitaciones de espacio restringen los resultados presentados a las respuestas a un cuestionario y algunos elementos observados (motivación, interés, demandas, etc.), cuyo complemento natural serían los análisis de las guías del alumnado mediante otras técnicas como tarea de futuro. El carácter analógico de los juegos es una limitación constitutiva respecto a la práctica científica real. Las lecturas tratan de compensarla proporcionando al alumnado ejemplos reales de la historia de la ciencia que conecten el juego con el currículo escolar (Fouad et al., 2015), como andamio para relacionar (pensando) el juego con el aprendizaje sobre la práctica científica y los conceptos curriculares (Abrahams y Reiss, 2012; Chater, 2018; Willingham, 2010). Por otro lado, las ideas de NdC evaluadas se limitan a frases sencillas de imagen de la CyT, porque una mayor profundidad epistémica resultaría desproporcionada para el alumnado. Asimismo, el modesto tiempo medio dedicado a los juegos en cada escuela frente al tiempo total de ciencias (apenas 6 %) y su descompensación entre juegos (el juego de cartas fue el más practicado y la caja misteriosa menos) no permiten esperar grandes efectos directos, aunque las tendencias identificadas son aportaciones valiosas.

El profesorado da cuenta de la gran impulsividad del alumnado por buscar la recompensa inmediata (ganar rápidamente), lo que inhibe la reflexión, necesaria para aprender eficazmente NdC y pensar. La impulsividad y sus contrapartes (la desmotivación o el abandono prematuro ante tareas exigentes) son nocivos para aprender y pensar, pues ambos requieren calma y tiempo para escuchar y abrirse (Kahneman, 2012). La norma de aceptar solo ideas que conlleven razones o evidencias de apoyo es una medida de inhibición de la impulsividad, fiel a la práctica científica y a la actividad de pensar como elemento fundamental para el aprendizaje, que podría mejorarse (por ejemplo, estableciendo un mínimo de observaciones o inscripciones en las guías antes de proponer, imponer penas por errar, planificar cada juego de simple a complejo, aplazar la cumplimentación de guías al final del juego para favorecer los procesos de meta y autorreflexión, reconstruir pensamientos y tomar conciencia de errores, de razones ignoradas y de oportunidades perdidas en cada jugada). El profesorado modera, anima y proporciona andamios para educar la resiliencia, ampliar y profundizar las reflexiones, contribuir a la comprensión y al éxito global del proceso en todo el grupo y evitar fracasos por decisiones impulsivas (Cofré et al., 2019; Willingham, 2012). Finalmente, aunque la muestra de participantes es diversa, su pequeño tamaño invita a una nueva replicación del estudio a mayor escala para apoyar la generalización de los resultados.

Como recursos educativos, los juegos aportan flexibilidad y autosostenibilidad, garantías de buena prospectiva. La flexibilidad deriva de la versatilidad de los juegos, cuyos contenidos son adaptables a diferentes edades, niveles y materias, así como a la propuesta del DUA (inclusividad, diversificación, motivación, creatividad y toma de decisiones). Por ejemplo, los cubos podrían representar números (matemáticas), letras (lenguas) o figuras (geometría) –diversificación y motivación–; incluir información única (simple) o múltiple (compleja) –inclusividad–; el juego de cartas podría intercambiar los roles de científico y naturaleza (creatividad), establecer limitaciones de respuestas (decisiones), organizar ligas, etc. Asimismo, los juegos son autosostenibles porque sus materiales son sencillos, baratos, duraderos, autodesarrollables y reutilizables en múltiples aulas o niveles. La flexibilidad y la sostenibilidad contribuyen a proyectar múltiples funcionalidades didácticas y facilitar la integración de los juegos en los programas de centro, graduando y adaptando sus contenidos de acuerdo con los principios de los recursos educativos abiertos (Wiley et al., 2014).

Aunque el efecto de los juegos se inscribe en el marco específico del currículo de ciencias de primaria (investigación científica), produce también transferencias de aprendizajes globales para el alumnado y los docentes, ya que potencian el aprendizaje de competencias transversales y generales mediante las destrezas del PCC: hacer (y responder) preguntas, observar, buscar datos, argumentar con base en la evidencia, discutir, etc. (NGSS, 2013). Los docentes se forman en la práctica, enseñando NdC y PCC, elaborando su plan, usando los materiales, aplicando y desarrollando las actividades para lograr un auténtico desarrollo profesional docente, donde la cooperación entre docentes aportaría una motivación social añadida (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2017b). Además, el aprendizaje de destrezas transversales y globales de PCC ofrece a estudiantes y docentes una vacuna contra la actual epidemia de información, desinformación, negacionismos y pseudociencias, claves en la vida ciudadana actual (Fourez, 1994; National Literacy Trust, 2018).

REFERENCIAS

- Abrahams, I. y Reiss, M. J. (2012). Practical work: Its effectiveness in primary and secondary schools in England. *Journal of Research in Science Teaching*, 49, 1035-1055.
<https://doi.org/10.1002/tea.21036>
- Aguillon, S. M., Siegmund, G. F., Petipas, R. H., Drake, A. G., Cotner, S. y Ballen, C. J. (2020). Gender differences in student participation in an active-learning classroom. *CBE Life Sciences Education*, 19(2), 12.
<https://doi.org/10.1187/cbe.19-03-0048>
- Allchin, D. y Zemplén, G. Á. (2020). Finding the place of argumentation in science education: Epistemics and Whole Science. *Science Education*, 104, 907-933.
<https://doi.org/10.1002/scs.21589>
- Andersen, H. (2001). Gender inequality and paradigms in the social sciences. *Social Science Information*, 40(2), 265-289.
<https://doi.org/10.1177/053901801040002004>
- Archer, L., Moote, J., MacLeod, E., Francis, B. y DeWitt, J. (2020). *ASPIRES 2: Young people's science and career aspirations, age 10-19*. UCL Institute of Education.
- Arztmann, M., Hornstra, L., Jeurig, J. y Kester, L. (2022). Effects of games in STEM education: a meta-analysis on the moderating role of student background characteristics. *Studies in Science Education*, 59, 109-145.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2057732>

- Capraro, R. M., Capraro, M. M. y Morgan, J. R. (2013). *STEM Project-Based Learning*. Sense Publishers.
- Chater, N. (2018). *The mind is flat*. Allen Lane.
- Cheryan, S., Ziegler, S. A., Montoya, A. K. y Jiang, L. (2017). Why are some STEM fields more gender-balanced than others? *Psychological Bulletin*, 143(1), 1-35.
<http://dx.doi.org/10.1037/bul0000052>.
- Clark, D. B., Tanner-Smith, E. E. y Killingsworth, S. S. (2016). Digital Games, Design, and Learning: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 86, 79-122.
<https://doi.org/10.3102/0034654315582>
- Cofré, H., Nuñez, P., Santibáñez, D., Pavez, J. M., Valencia, M. y Vergara, C. (2019). A critical review of students' and teachers' understandings of nature of science. *Science & Education*, 28, 205-248.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2022.2152294>
- Erduran, S. y Dagher, Z. R. (Eds.) (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education. Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories*. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-94-017-9057-4>
- Erduran, S. y Kaya, E. (2018). Drawing nature of science in pre-service science teacher education: Epistemic insight through visual representations. *Research in Science Education*, 48, 1133-1149.
<https://doi.org/10.1007/s11165-018-9773-0>
- Fensham, P. J. (2009). Real world contexts in PISA science: Implications for context-based science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 884-896.
<https://doi.org/10.1002/TEA.20334>
- Ford, C. L. y Yore, L. D. (2012). Toward convergence of critical thinking, metacognition, and reflection: Illustrations from natural and social sciences, teacher education, and classroom practice. En A. Zohar y Y. J. Dori (Eds.), *Metacognition in science education* (pp. 251-271). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-94-007-2132-6_11
- Fouad, K. E., Masters, H. y Akerson, V. L. (2015). Using History of Science to Teach Nature of Science to Elementary Students. *Science & Education*, 24, 1103-1140.
<https://doi.org/10.1007/S11191-015-9783-5>
- Fourez, G. (1994). *La construcción del conocimiento científico*. Narcea.
- García-Carmona, A. (2022). La comprensión de aspectos epistémicos de la naturaleza de la ciencia en el nuevo currículo de Educación Secundaria Obligatoria, tras la LOMLOE. *Revista Española de Pedagogía*, 80 (283), 433-450.
<https://doi.org/10.22550/REP80-3-2022-01>
- Gericke, N., Höglström, P. y Wallin, J. (2022). A systematic review of research on laboratory work in secondary school. *Studies in Science Education*.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2090125>
- Greene, J. A., Sandoval, W. A. y Bråten, I. (2016). *Handbook of epistemic cognition*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315795225>
- Hofer, B. K. (2016). Epistemic cognition as a psychological construct: Advancements and challenges. En J. A. Greene, W. A. Sandoval y I. Bråten (Eds.), *Handbook of epistemic cognition* (pp. 19-38). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315795225>
- Holmes, N. G., Heath, G., Hubenig, K., Jeon, S., Kalender, Z. Y., Stump, E. y Sayre, E. C. (2022). Evaluating the role of student preference in physics lab group equity. *Physical Review Physics Education Research*, 18.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010106>

- Jidesjö, A., Oskarsson, M. y Westman, A-K. (2021). *Trends in Student's Interest in Science and Technology: Developments and Results from the Relevance of Science Education Second (Roses) Study*. IOSTE 2020 Symposium. Kyungpook National University, Daegu, Korea (4-5 February).
- Kahneman, D. (2012). *Pensar rápido, pensar despacio*. Debate.
- Khishfe, R. (2020). Explicit Instruction and Student Learning of Argumentation and Nature of Science. *Journal of Science Teacher Education*, 32, 325-349.
<https://doi.org/10.1080/1046560X.2020.1822652>
- Khishfe, R., Alshaya, F. S., BouJaoude, S., Mansour, N. y Alrudiyan, K. I. (2017). Students' understandings of nature of science and their arguments in the context of four socio-scientific issues, *International Journal of Science Education*, 39, 299-334.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1280741>
- Kreitchmann, R. S., Abad, F. J., Ponsoda, V., Nieto, M. D. y Morillo, D. (2019). Controlling for response biases in self-report scales: Forced-choice vs. psychometric modeling of Likert items. *Frontiers of Psychology*, 10.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02309>
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, present, and future. En S. K. Abell y N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-879). Lawrence Erlbaum Associates.
<https://doi.org/10.4324/9780203097267>
- Lederman, N. G. y Lederman, J. S. (2019). Teaching and Learning of Nature of Scientific Knowledge and Scientific Inquiry: Building Capacity through Systematic Research-Based Professional Development. *Journal of Science Teacher Education*, 30, 737-762.
<https://doi.org/10.1080/1046560X.2019.1625572>
- Li, M-C. y Tsai, C-C. (2013). Game-Based Learning in Science Education: A Review of Relevant Research. *Journal of Science Education and Technology*, 22, 877-898.
<https://doi.org/10.1007/s10956-013-9436-x>
- Manassero-Mas, M. A. y Vázquez-Alonso, A. (2019). Conceptualización y taxonomía para estructurar los conocimientos acerca de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16, 3104.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i3.3104
- Manassero-Mas, M. A. y Vázquez-Alonso, Á. (2020). Pensamiento científico y pensamiento crítico: competencias transversales para aprender. *Indagatio*, 12, 401-419.
<https://doi.org/10.34624/2Fid.v12i4.21808>
- Manassero Mas, M. A. y Vázquez Alonso, A. (2024). El impacto de juegos epistémicos para aprender sobre naturaleza de la ciencia en primaria. *Repositorio Institucional UIB*. <http://hdl.handle.net/11201/164427>
- Mullis, I. V. S., Martin, M. O. y von Davier, M. (2021). *TIMSS 2023 Assessment Framework*. Boston College. <https://timssandpirls.bc.edu/index.html>
- National Literacy Trust. (2018). *Fake news and critical literacy*. National Literacy Trust. literacytrust.org.uk/fake-news-resources.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/18290>
- OECD. (2017). *The Pursuit of Gender Equality: An Uphill Battle*. OECD Publishing.
- Oubahssi, L., Piau-Toffolon, C., Loup, G. y Sanchez, É. (2020). From Design to Management of Digital Epistemic Games. *International Journal of Serious Games*, 7, 23-46.
<https://doi.org/10.17083/ijsg.v7i1.336>
- Plass, J. L., Mayer, R. E. y Homer, B. D. (2019). *Handbook of Game-based Learning*. The MIT Press.

- Quinn, K. N., Kelley, M. M., McGill, K. L., Smith, E. M., Whipps, Z. y Holmes, N. G. (2020). Group roles in unstructured labs show inequitable gender divide. *Physical Review Physics Education Research*, 16.
<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.010129>
- Ramsden, J. M. (1998). Mission impossible? Can anything be done about attitudes to science? *International Journal of Science Education*, 20(2), 125-137.
<https://doi.org/10.1080/0950069980200201>
- Roberts, D. A. (2011). Competing visions of scientific literacy: The influence of a science curriculum policy image. En C. Linder, L. Östman, D. A. Roberts, P.-O. Wickman, G. Erickson y A. MacKinnon (Eds.), *Exploring the landscape of scientific literacy* (pp. 11-27). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203843284>
- Rudge, D. W. y Howe, E. M. (2009). An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science & Education*, 18, 561-580.
<https://doi.org/10.1007/s11191-007-9088-4>
- Saido, G. A. M., Siraj, S., DeWitt, D. y Al-Amedy, O. S. (2018). Development of an instructional model for higher order thinking in science among secondary school students: a fuzzy Delphi approach. *International Journal of Science Education*, 40, 847-866.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1452307>
- Settlage, J. y Southerland, S. A. (2020). Epistemic tools for science classrooms: The continual need to accommodate and adapt. *Science Education*, 103, 1112-1119.
<https://doi.org/10.1002/sce.21510>
- Simonneaux, L. (2014). From promoting the techno-sciences to activism – A variety of objectives involved in the teaching of SSIS. En L. Bencze y S. Alsop (Eds.), *Activist science and technology education* (pp. 99-112). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-94-007-4360-1_6
- Sjøberg, S. y Schreiner, C. (2019). *ROSE (The Relevance of Science Education.) The development, key findings and impacts of an international low-cost comparative project. ROSE Final Report, Part 1.* University of Oslo. https://www.academia.edu/40272545/The_ROSE_project._The_development_key_findings_and_impacts_of_an_international_low_cost_comparative_project_Final_Report_Part_1_of_2_
- Sjöström, J. y Eilks, I. (2020). Correction to: Reconsidering Different Visions of Scientific Literacy and Science Education Based on the Concept of *Bildung*. En Y. J. Dori, Z. R. Mevarech y D. R. Baker (Eds.), *Cognition, Metacognition, and Culture in STEM Education*. Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-66659-4_4
- Tena, E. y Couso, D. (2023). El diseño de preguntas investigables en el ciclo superior de primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 41(1), 101-123.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5573>
- Vázquez, A. y Manassero, M. A. (2007). *La relevancia de la educación científica*. Universitat de les Illes Balears.
- Vázquez-Alonso, Á. y Manassero-Mas, M. A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 2): Una revisión desde los currículos de ciencias y la competencia PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 34-55, <http://reuredc.uca.es/index.php/tavira/article/view/222>
- Vázquez-Alonso, A. y Manassero-Mas, M. A. (2016). Training secondary teachers about nature of science: a simple explicit-reflective model. En J. Lavonen, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto y K. Hahl (Eds.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2015 Conference* (pp. 916- 927). University of Helsinki. eBook2015_Part_6_links.pdf (dropbox.com)

- Vázquez-Alonso, Á. y Manassero-Mas, M. A. (2017a). Contenidos de naturaleza de la ciencia y la tecnología en los nuevos currículos básicos de educación secundaria. *Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, 21, 294-312. <https://recyt.fecyt.es/index.php/profesorado/article/view/58064>
- Vázquez-Alonso, A. y Manassero-Mas, M. A. (2017b). Juegos para enseñar la naturaleza del conocimiento científico y tecnológico. *Educar*, 53, 149-170. <https://doi.org/10.5565/rev/educar.839>
- Wiley, D., Bliss, T. J. y McEwen, M. (2014). Open Educational Resources: A Review of the Literature. En J. Spector, M. Merrill, J. Elen y M. Bishop (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. 781-789). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5>
- Willingham, D. T. (2012). *Why Don't Students Like School?* Jossey-Bass. <https://doi.org/10.1002/9781118269527>

The Impact of Epistemic Games on Learning about the Nature of Science in Primary Education

María Antonia Manassero-Mas

Facultad de Psicología, Universidad de las Islas Baleares, Palma, Islas Baleares, España.

ma.manassero@uib.es

Ángel Vázquez-Alonso

Instituto de Investigación e Innovación Educativa, Universidad de las Islas Baleares, Palma, Islas Baleares, España.

angel.vazquez@uib.es

Learning the nature of science (NoS) is difficult due to its metacognitive nature, which deals with the need to master thinking skills, the scarce teacher training, and the lack of didactic resources for teaching. These difficulties are amplified in primary education because the students' cognitive skills are still developing. This study precisely copes with the innovation of teaching NoS so that primary students may get real learning opportunities. To this aim, four epistemic games (tangram, cubes, cards, and mystery box) that simulate the scientific practice and highlight some key scientific thinking skills involved in knowledge validation are here presented. The games teach and learn some basic aspects of NoS (change, observation, pattern recognition, interpretation, investigation), by means of an explicit and reflective pedagogy as well as the practice of scientific thinking skills. The exploratory objective of this study is twofold: the self-critical appropriation of the innovative didactic materials of games by teachers and the motivation of the students to participate in the learning activities. Furthermore, the study explores the effectiveness of games on some students' attitudes to science.

The study methodology describes the material and normative elements of each game, their didactic materials for teachers and students, the instruments developed for the exploratory analysis, the procedures followed along the whole innovation, and the participants. The format of the innovative teaching-learning sequences adopts the question-challenge design, which must be answered by a small group of students as a research cooperative project that anticipated the format of the learning situations of the current Spanish educational law. The exploratory analysis corresponds to a quasi-experimental pre-post-test design, which involves the application of the attitudinal instrument before and after the students played the games in order to comparatively check the educational impact of games on some affective variables (the image of science, perceptions of science classes, environmental attitudes and preferred features of a job). The participants perform a convenience sample of five schools that freely decided to participate in the game plan; the teachers implemented the game activities in their classrooms for their sixth-grade primary school students with the support of the researchers. Technically, the game activities developed the contents on scientific research of the Spanish primary science curriculum.

The direct observation and the collaboration between researchers and teachers indicated good acceptance, reception and self-critical appropriation of the game materials by the teachers. Likewise, students showed big enthusiasm and interest along the game activities and insistently demanded to continue playing beyond the scheduled time, as the teachers reported and the researchers observed within the classrooms, which point to the large motivation and significant learning. The comparison between pre-test and post-test data display improvements on the image of science and the preferences for future work, while environmental attitudes do not change and the perception of science classes even decreases. However, only a few specific aspects have got relevant and significant improvements: the growing appreciation for technology jobs and some epistemic aspects, such as the idea that science and technology can solve almost all problems and trust on scientists. Gender comparisons also yield an interesting global effect: girls' attitudes improve more than boys' attitudes. Thus, the experience of games seems to be more effective and friendly for girls, unlike some results of the laboratory activities, which traditionally displayed a male gender bias.

The feasibility and effectivity of teaching NoS through games to develop thinking and attitudes towards science is the main conclusion of this study. Then, some limitations of this study, as well as the prospective potential of games due to their flexibility and sustainability, are emphasized.

