



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

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

Beatriz Crujeiras-Pérez

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

Ana Aragüés-Díaz

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

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

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

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

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

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

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

INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

MARCO TEÓRICO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Enseñanza y aprendizaje de la flotación

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

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

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

OBJETIVOS

Los objetivos de investigación de este trabajo son:

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

METODOLOGÍA

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

Participantes y contexto

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

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

Diseño de la intervención

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

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

Fase 1. Análisis del problema

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

Fase 2. Diseño de la solución

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

Fase 3. Elaboración del prototipo a partir del diseño

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

Fase 4. Testado del prototipo

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

Fase 5. Revisión del prototipo

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

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

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

Instrumentos para la recogida de datos y de análisis

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

RESULTADOS

Análisis de los conocimientos científicos aplicados en el proceso de diseño

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

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

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

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

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

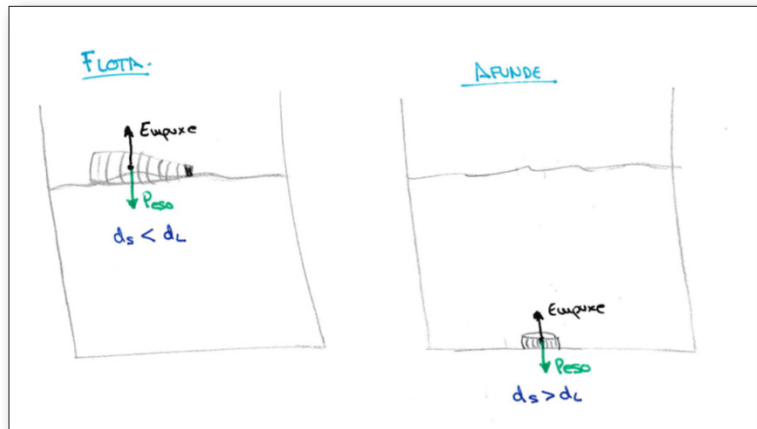


Fig. 1. Diseño elaborado por G4.

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

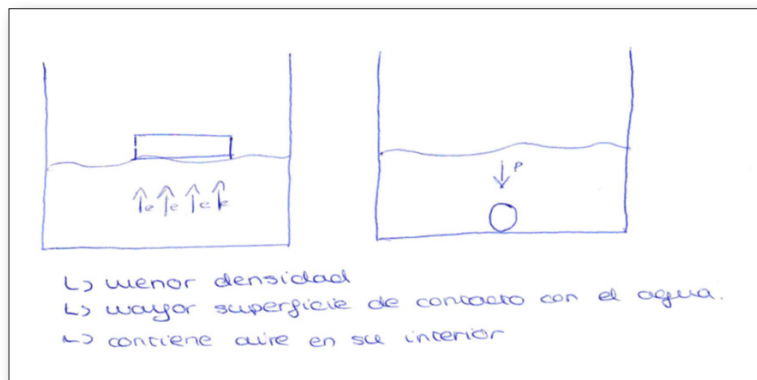


Fig. 2. Diseño elaborado por G11

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

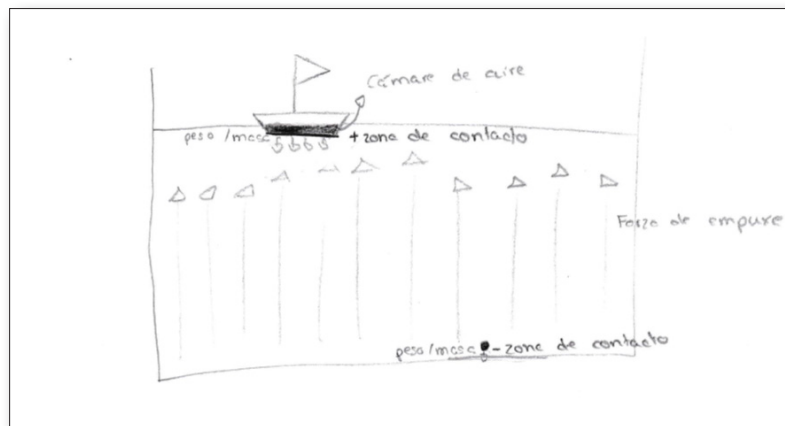


Fig. 3. Diseño elaborado por G1

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

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

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

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

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

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

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

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

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

a) Prácticas de producción de conocimiento

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

EP1. Identificar problemas

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

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

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

EP2. Considerar los problemas en contexto

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

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

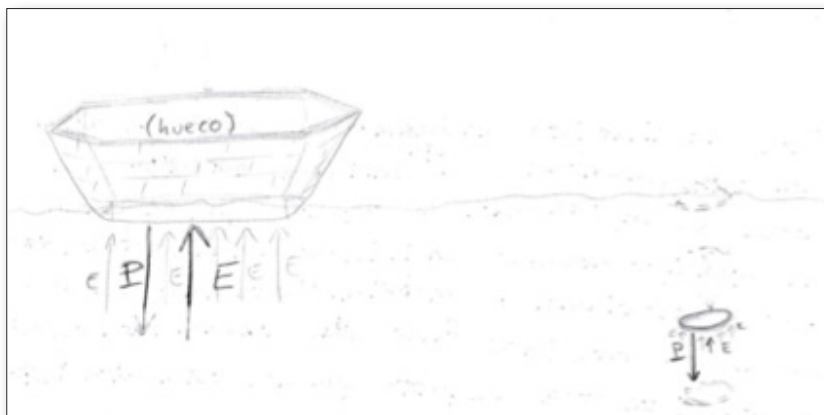


Fig. 4. Ejemplo de diseño contextualizado.

EP3. Aplicar el conocimiento y razonamiento científico

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

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

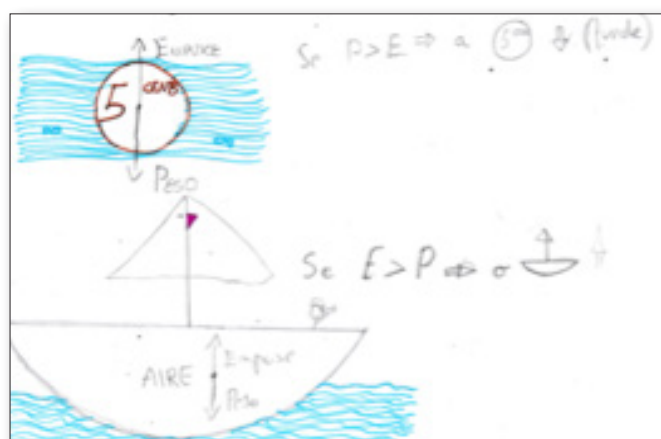


Fig. 5. Diseño elaborado por G9 utilizando el conocimiento científico.

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

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

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

EP4. Construir modelos y prototipos

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

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

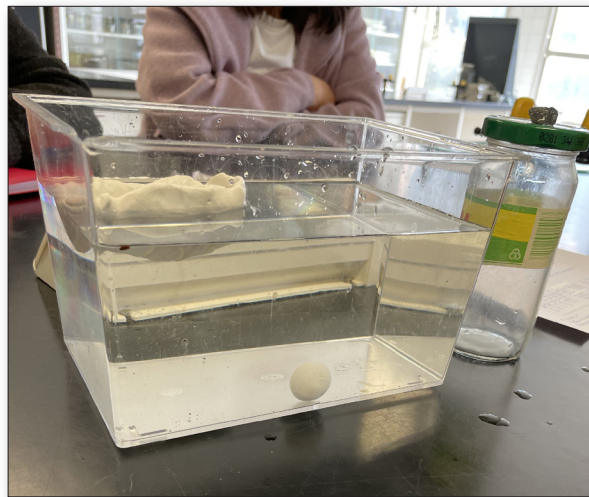


Fig. 6. Prototipo elaborado por G8.

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

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

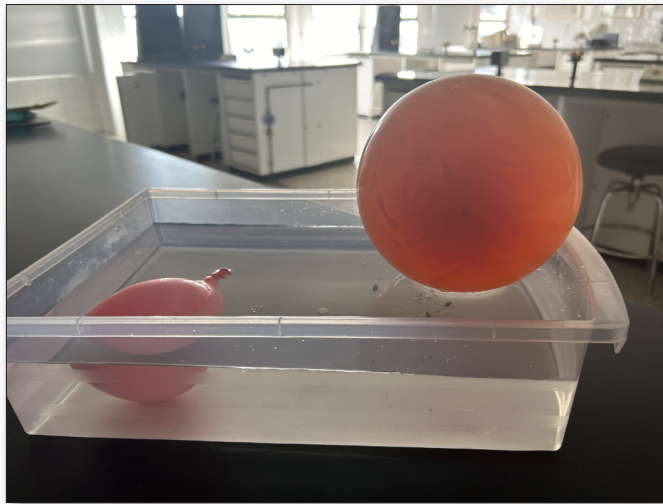


Fig. 7. Ejemplo de prototipo creado por G4.

EP7. Persistir y aprender de los errores

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

b) Prácticas de evaluación de conocimiento

EP5. Utilizar datos para tomar decisiones

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

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

c) Prácticas de comunicación de conocimiento

EP8. Comunicar de forma efectiva

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

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

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

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

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

d) Prácticas de legitimación de conocimiento

EP6. Tomar decisiones basadas en pruebas

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

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

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

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

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

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

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

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

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

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

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

IMPLICACIONES EDUCATIVAS Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

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

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

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

AGRADECIMIENTOS

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

REFERENCIAS

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

- Blanco, A. (2010). «¿Flota o se hunde? Una secuencia de enseñanza para trabajar la competencia en el conocimiento e interacción con el mundo físico», en A. de Pro (ed.), *Competencias en el conocimiento e interacción con el mundo físico: la comprensión del entorno próximo*, Ministerio de Educación, pp. 137-162.
- Butts, D. P., Hofman, H. y Anderson, M. (1993). Is hands-on experience enough? A study of young children's view of sinking and floating objects. *Journal of Elementary Science Education*, 5(1), 50-64. <https://doi.org/10.1007/BF03170644>
- Bybee, R. W. (2011). Scientific and Engineering Practices in K–12 Classrooms Understanding A Framework for K–12 Science Education. *Science Scope*, 35(4), 6-11.
- Casas-Quiroga, L. y Crujeiras-Pérez, B. (2020). Epistemic operations performed by high school students in an argumentation and decision-making context: Setrocia's alimentary emergency. *International Journal of Science Education*, 42(16), 2653-2673. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1824300>
- Chiabrando, L. y Dibar, M. C. (2014). ¿Qué estrategias utilizan los niños de escolaridad primaria para evaluar explicaciones sobre fenómenos físicos? *Revista de Enseñanza de la Física*, 26, 65-74. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/9734>
- Christodoulou, A. y Osborne, J. (2012). A comparison of epistemic features of student and teacher talk during argument-based instruction. Comunicación presentada en la 12 International Conference of NARST. <http://eprints.soton.ac.uk/id/eprint/451857>
- Cunningham, C. M. y Carlsen, W. S. (2014). Teaching Engineering Practices. *Journal of Science Teacher Education*, 25, 197-210. <https://doi.org/10.1007/s10972-014-9380-5>
- Cunningham, C. M. y Kelly, G. J. (2017). Epistemic Practices of Engineering for Education, *Science Education*, 101, 486-505. <https://doi.org/10.1002/sc.21271>
- Dorland, A. (2021). That's a Good Question: Using Design Thinking to Foster Question Formulation Skill Development. *Journal of Effective Teaching in Higher Education*, 5(1), 30-52. <https://doi.org/10.36021/jethe.v5i1.115>
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1999). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia* (4.ª ed.). Morata.
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(3). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>.
- English, L. D. (2020). Facilitating STEM integration through design. En J. Anderson y Y. Li (Eds.), *Integrated approaches to STEM education: an international perspective* (pp. 45-66). Springer.
- Fernández Monteiro, S., Álvarez Pérez, V. M., Crujeiras Pérez, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2014). Explicación de fenómenos científicos en la formación inicial del profesorado: la flotabilidad de los cuerpos. En M. A. De las Heras Pérez et al. (Coords.) *26 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (pp. 837-843).
- García Cabrero, B. y Jiménez Vidal, S. (1996). Redes semánticas de los conceptos de presión y flotación en estudiantes de bachillerato. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 1(2), 343-361. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14000205>
- Gaston, J. P., Guffey-McCorrison, S. K. y Rand, A. D. (2023). Using video and written reflection to assess second-grade students' design thinking and conceptual understanding in an engineering and design challenge. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology (IJEM-ST)*, 11(4), 820-843. <https://doi.org/10.46328/ijemst.2746>
- Greca I. M., Ortiz-Revilla J. y Arriasec, I. (2021). Diseño y evaluación de una secuencia de enseñanza-aprendizaje STEAM para Educación Primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1802. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1802

- Güler Nalbantoğlu, F., Çakıroğlu, J. y Yılmaz Tüzün, Ö. (2023). Engineering design-based activity for middle school students: Thermal insulation. *Journal of Inquiry Based Activities*, 13(1), 29-53. <https://ated.info.tr/index.php/ated/article/view/167>
- Hanson, J. R., Hardman, S., Luke., S. y Lucas, B. (2021). Developing pre-service primary teachers' understanding of engineering through engineering habits of mind and engagement with engineers. *International Journal of Technology and Design Education*, 32, 1469-1494. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09662-w>
- Harriet, R. T, Rappolt-Schlichtmann, G. y Vogel Zanger, V. (2004). Children's learning about water in a museum and in the classroom. *Early Childhood Research Quarterly*, 19(1) 40-58. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2004.01.008>
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Mortimer, E. F., Silva, A. C. T. y Díaz, J. (2008). Epistemic practices: An analytical framework for science classrooms. Comunicación presentada en Annual meeting of the American Educational Research Association (AERA).
- Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. En R. A. Duschl y R. E. Grandy (Eds.), *Teaching Scientific Inquiry*. Sense Publishers. https://doi.org/10.1163/9789460911453_009
- Kelly, G. J. y Licona, P. (2018). Epistemic Practices and Science Education. En M. R. Matthews (Ed.), *History, Philosophy and Science Teaching*, Science: Philosophy, History and Education (pp. 139-165). Springer.
- Khishfe, R. y Abd-El-Khalick, F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551-578. <https://doi.org/10.1002/tea.10036>
- Lederman, N. G., Lederman, J. S. y Antink, A. (2013). Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 1(3), 138-147. <https://eric.ed.gov/?id=ED543992>
- Li, Y., Schoenfeld, A., diSessa, A. A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D. y Duschl, R. A. (2019). Design and Design Thinking in STEM Education. *Journal for STEM Education Research*, 2, 93-104. <https://doi.org/10.1007/s41979-019-00020-z>
- Mazitelli, C., Maturano, C., Núñez, G. y Pereira, R. (2006). Identificación de dificultades conceptuales y procedimentales de alumnos y docentes de EGB sobre la flotación de los cuerpos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las ciencias*, 3(1), 33-50. <http://hdl.handle.net/10498/16223>
- Mazitelli, C., Maturano, C. I., Núñez, G. I., Pereira, R. y Macías, A. (2005). ¿Aportan los libros de texto soluciones a las dificultades de los alumnos sobre la flotación de los cuerpos? *Enseñanza de las Ciencias* (extra).
- Mayring, P. (2014). *Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution*. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173>.
- Mumba, F., Rutt., A. y Chabalengula, V. M. (2023). Representation of Science and Engineering Practices and Design Skills in Engineering Design-Integrated Science Units Develop by Pre-service teachers. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 21, 439-461. <https://doi.org/10.1007/s10763-022-10266-6>
- National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts and core ideas*. National Academy Press.
- Newell, G. E. y Misar, K. S. (2022). Argumentative writing as an Epistemic Practice in Middle School Science. *Journal of Literacy Research*, 54(3), 272-297. <https://doi.org/10.1177/1086296X221116860>
- Ozkizilcik, M. y Cebesoy, U. B. (2024). The influence of an engineering design-based STEM course on pre-service science teachers' understanding of STEM disciplines and engineering design process. *International Journal of Technology and Design Education*, 34, 727-758. <https://doi.org/10.1007/s10798-023-09837-7>

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

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

Beatriz Crujeiras-Pérez

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

Ana Aragüés-Díaz

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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