

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

Una de las tareas más recurrentes mientras estudiaba el Grado de Maestro en Educación Primaria fue diseñar secuencias de enseñanza y aprendizaje (SEA a partir de ahora) en casi todas las asignaturas. Recuerdo que, al comenzar el proceso de cada diseño, eran múltiples las preguntas que me venían a la mente: ¿Para qué nivel educativo debería diseñar?, ¿qué quiero enseñar exactamente?, ¿qué enfoque de enseñanza?, ¿qué materiales voy a emplear?, etc. Tratar de dar respuesta a estas preguntas me hizo valorar la dificultad que supone el diseño de SEAs y, más aún, cuando eres un estudiante de grado o un maestro novel y no tienes unas herramientas concretas con las que llevar a cabo dicho proceso.

Para afrontar esta tarea, una de las recomendaciones más habituales por parte de los docentes universitarios era que la SEA partiera de fenómenos cercanos y cotidianos a los alumnos, de forma que el contenido tuviera sentido para ellos (Jiménez-Liso, 2020). Este consejo, que había escuchado en tantas ocasiones durante la carrera, vio su fiel reflejo en la asignatura de Didáctica de las Ciencias Experimentales (DCE a partir de ahora), dado que la profesora María Martínez-Chico, además de plantearlo a nivel teórico, fue coherente con su propia práctica en el aula. Fue la primera vez que un contenido de ciencias, que en este caso era el relativo al modelo Sol-Tierra (Martínez-Chico et al., 2013), tuvo sentido para mí.

Precisamente esta vivencia, y la ilusión por que otros alumnos tuvieran una experiencia similar a la mía, me hizo reflexionar, junto a mis directoras de Tesis, sobre la importancia que tiene incorporar los consensos alcanzados en la investigación didáctica a las SEAs. Sin embargo, trasladar los resultados de investigación al diseño de SEAs es complejo y, de hecho, se asocia a la famosa brecha entre investigación-aula (Zemal-Saul, 2017). De acuerdo con Guisasola & Oliva (2020) este problema tiene larga tradición en el área de DCE, como muestran los iniciales refinamientos de

secuencias de actividades o de programas-guías (Gil Pérez & Martínez Torregrosa, 1987) y las más recientes investigaciones basadas en diseño o *design-based research* (DBR; Easterday et al., 2016; Juuti & Lavonen, 2006; Nieveen et al., 2006), lo que nos estaría indicando la imperiosa necesidad de aclarar el proceso de diseño y operativizarlo en la medida de lo posible.

Enmarcados en el paradigma del DBR, y con el objetivo de superar la conocida brecha entre investigación y práctica docente, la investigación de diseño plantea tres fases: 1) investigación preliminar; 2) desarrollo del artefacto educativo; y 3) evaluación (Plomp, 2013; Romero-Ariza, 2014). Los artefactos educativos pueden ser las propias SEAs, pero también los principios de diseño, que, en palabras de Plomp (2013), hacen referencia a *experience-based suggestions* (p. 24) que, a modo de brújula, nos guían en el diseño de SEAs (Linn et al., 2004; van den Akker, 1999).

Así, la presente Tesis Doctoral tiene como objetivo clarificar los principios de diseño que nos han guiado en el diseño y posteriores refinamientos de una SEA sobre el fenómeno de flotación y hundimiento de objetos. Cabe mencionar que la SEA en cuestión forma parte del trabajo previamente realizado dentro del grupo de investigación Sensociencia, que tiene como uno de sus ejes principales de investigación el diseño, implementación y evaluación de SEAs fundamentadas en los enfoques de enseñanza de indagación y modelización.

La SEA objeto de investigación de la presente Tesis Doctoral, que recibe el nombre de *Ni flota ni se hunde* (Vokos et al., 2021; pp. 4-5), presenta como fenómeno central la flotación y hundimiento de objetos. La selección de este fenómeno no es casual, sino que, al contrario, lo consideramos muy relevante tanto para el alumnado de Educación Primaria y Secundaria como para la formación inicial de docentes. Se trata de un fenómeno ampliamente conocido y, por tanto, en mayor o menor medida, todos hemos observado algún suceso relacionado con él: un globo que se va hacia arriba, un barco que flota o juguetes en la bañera que flotan o se hunden (argumento de cotidianidad).

Por otro lado, y quizás por el hecho de ser un fenómeno tan cotidiano para el alumnado, aparece en diferentes currículos del mundo (argumento curricular), ya sea en el contexto hispanohablante (MEFP, 2022) o en el anglosajón (NCE, 2014; NESAs, 2017; NGSS, 2013). Además, este interés por el fenómeno de flotación y hundimiento de objetos ha quedado también reflejado en informes internacionales como PISA (OECD, 2012; p. 144), que incluye evaluaciones que lo toman en consideración como contexto.

Desde la DCE también se ha mostrado interés por el fenómeno de flotación, siendo objeto de estudio desde los comienzos de esta área de conocimiento (Rowell & Dawson, 1977b). A pesar del interés temprano por parte de la DCE en cuanto a la flotación (argumento didáctico), continua vigente, como muestran artículos recientes (Espindola et al., 2018; Gao et al., 2020).

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente expuesto, y atendiendo al objetivo de investigación que nos marcamos (clarificar nuestros principios de diseño), la Tesis Doctoral está estructurada en tres estudios que responden a los siguientes objetivos de investigación:

En el **Estudio 1** caracterizamos y describimos las contribuciones de la literatura didáctica sobre el fenómeno de flotación y hundimiento de objetos a través de una revisión sistemática. Ello nos permite responder a la siguiente pregunta de investigación:

- ¿Qué consensos arroja la investigación didáctica sobre la enseñanza y el aprendizaje del fenómeno de flotación y hundimiento de objetos? ¿Son transferibles al aula?

En el **Estudio 2** comparamos cinco SEAs sobre el fenómeno de flotación y hundimiento de objetos a fin de extraer las principales características de cada una de ellas y visibilizar la comparativa de SEAs como un proceso propio de la fase previa al diseño, además de las tradicionales revisiones de la literatura. Las preguntas de investigación a responder son:

- ¿Qué características presentan las SEAs disponibles sobre el fenómeno de flotación y hundimiento de objetos?
- ¿Cómo contribuye a la fase preliminar del diseño esta comparación de SEAs fundamentadas en la investigación (Research-based design)?
- En relación a la toma de datos, ¿podría ser posible un tratamiento sencillo de los datos que permita la comparación de SEAs sobre un tema científico?

En el **Estudio 3** analizamos el efecto de nuestra SEA *Ni flota ni se hunde* en la percepción de aprendizaje y emociones de estudiantes del Grado de Maestro en Educación Primaria. De esta forma, planteamos las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué percepción de aprendizaje presentan maestros en formación inicial a lo largo de una SEA sobre el fenómeno de flotación y hundimiento de objetos basada en la indagación y modelización?
- ¿Qué emociones perciben haber vivido maestros en formación inicial durante la vivencia de una SEA sobre el fenómeno de flotación y hundimiento de objetos basada en la indagación y modelización?
- ¿Qué información aportan los marcos teóricos del clima emocional y el flujo en relación a la percepción de aprendizaje y emociones de maestros en formación inicial?

Como consecuencia de estos tres estudios y de las conclusiones generales que se derivan de ellos, planteamos una sección final (Implicaciones) en la que mostramos de forma transparente cuáles han sido los principios de diseño que nos han guiado en el desarrollo de la SEA *Ni flota ni se hunde* y el rediseño de esta para adaptarla a Educación Primaria.

A continuación, en la Figure 1, mostramos una panorámica de la presente Tesis Doctoral, indicando los objetivos planteados para los tres estudios, un resumen de las preguntas de investigación descritas en párrafos anteriores y, finalmente, los productos que se van a obtener.

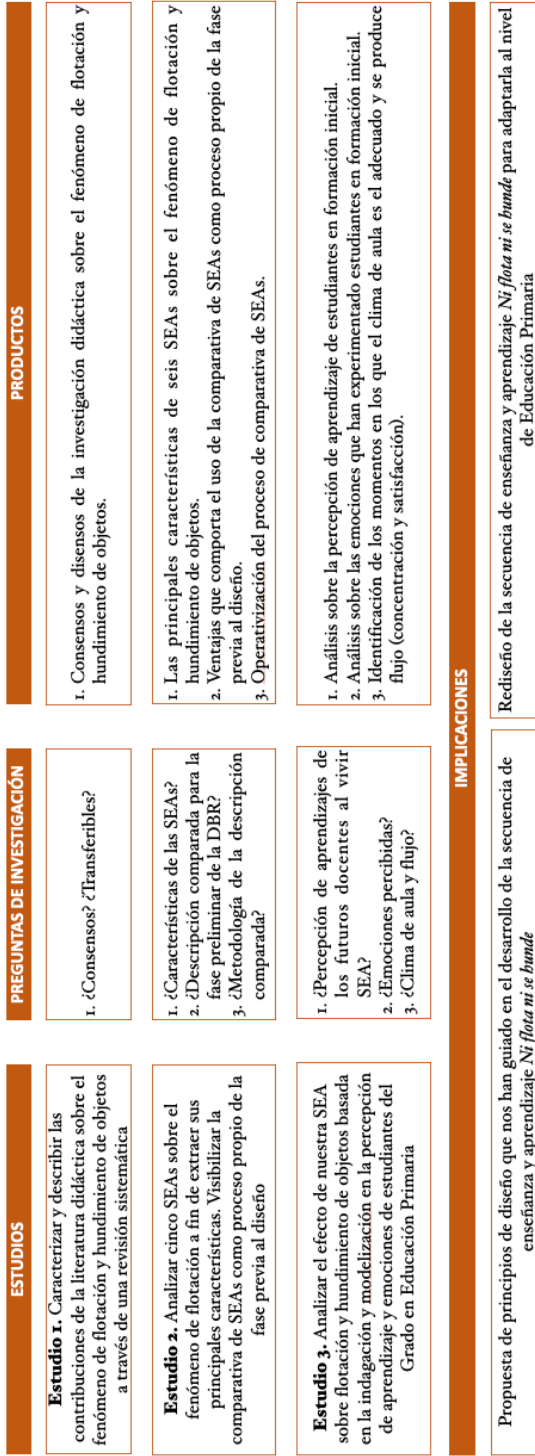


Figure 1. Esquema que aglutina los objetivos, las preguntas de investigación, los productos de los tres estudios y las implicaciones de la Tesis Doctoral.

Como se puede deducir de los párrafos anteriores, desde nuestro grupo de investigación (Sensociencia) hemos querido plantear dos SEAs sobre flotación: una para la formación inicial de maestros (que analizaremos parcialmente en el Estudio 3) y otra para Educación Primaria (que mostraremos en las implicaciones y anexos de esta Tesis Doctoral).

En el comienzo de la introducción, previo a las preguntas de investigación, hemos abordado la motivación que nos ha llevado a elegir el fenómeno de flotación, destacando su presencia en la vida cotidiana, en los currículos educativos y por su abundante investigación en artículos y proyectos. Todos estos argumentos (curricular, cotidiano, didáctico, etc.) fueron suficientes para justificar su incorporación a la formación inicial de maestros. No obstante, no fueron los únicos a valorar, pues también consideramos el argumento epistemológico: aprender sobre la flotación de objetos a través del modelo de fuerzas supone un verdadero choque epistemológico para los futuros docentes, que transitan desde descripciones tales como *flota/se hunde porque es más/menos denso que...* hasta explicaciones en términos de fuerzas. Esto, por tanto, iría en consonancia con las grandes ideas que la enseñanza de las ciencias debe promover (Harlen, 2015).

Otra ventaja epistemológica y procesual a valorar es que, con esta propuesta, los futuros maestros viven en primera persona lo que es un modelo en ciencias: un conjunto de ideas que permiten describir, explicar y predecir fenómenos de la naturaleza, pero también su dimensión instrumental a través de dibujos, maquetas, simulaciones, etc. (Oliva, 2019). De esta manera, al vivir en primera persona una SEA sobre flotación fundamentada en investigación y reflexionar sobre cómo han aprendido y qué han sentido (propuesta que hacemos desde Sensociencia) acortamos la brecha entre ambas pues somos coherentes con nuestra propia práctica docente en la formación inicial.

Además, y dado que la flotación aparece en el currículo español, estaríamos preparando (tanto a nivel didáctico como científico) a los futuros maestros para su enseñanza, ofreciéndoles SEAs, en este caso sobre flotación, basadas en indagación

y modelización que les servirán de ejemplo cuando tengan que abordar las diferentes temáticas en sus clases.

En la presente Tesis Doctoral tomamos el proceso de enseñanza y aprendizaje como objeto de investigación a tres niveles (macro, meso y micro), de manera que profundizamos sobre las acciones previas al diseño (revisión sistemática y comparación de cinco SEAs), sobre el propio diseño y sobre la implementación/evaluación del efecto que produce la SEA.

Como futuras líneas de investigación, ampliaremos el análisis micro estudiando las grabaciones de aula durante la implementación de nuestra SEA sobre flotación y continuaremos con la investigación sobre cómo diseñamos. Si queremos enseñar a diseñar a los futuros maestros, primero hemos de tener claro cómo lo hacemos. Una vez clarificado cómo diseñamos, pretendemos conectar la asignatura Didáctica de las Ciencias Experimentales del Grado de Maestro en Educación Primaria con el Practicum y con el Trabajo Fin de Grado, de manera que sea un anticipo de su propio desarrollo profesional docente.

2. MARCO TEÓRICO

Dada la estructura de esta Tesis Doctoral, cada uno de los estudios presenta una fundamentación teórica concreta y específica. Por ello, en este apartado nos centramos en las prácticas científicas, y, más concretamente, en la indagación centrada en modelos, como el marco teórico que aglutina a toda la Tesis. Esta decisión proviene, en primer lugar, de la importancia que supone el enfoque de enseñanza por indagación para el diseño de SEAs en el grupo Sensociencia, grupo al que pertenezco y en el que se ha generado la presente Tesis Doctoral. En segundo lugar, debido a que uno de los principales criterios para seleccionar las cinco SEAs que forman parte del Estudio 2 de esta Tesis Doctoral ha sido que estuvieran fundamentadas en indagación. Del mismo modo, la SEA analizada en el Estudio 3 (*Neither floats nor sinks*) está fundamentada en dicho enfoque de enseñanza.

Por todo ello, el marco teórico que aquí planteamos considera los siguientes apartados: las dimensiones de la indagación; las principales propuestas que se han realizado desde la literatura didáctica bajo este nombre; las posibles causas de su polisemia; y, finalmente, nuestro posicionamiento en cuanto a qué entendemos, en esta Tesis Doctoral, cuando nos situamos bajo el paraguas del enfoque de enseñanza por indagación.

2.1. Antecedentes del enfoque de enseñanza por indagación

A finales de la década de los 50, coincidiendo con el lanzamiento del Sputnik I, comenzó un periodo de reflexión en Estados Unidos sobre cómo enseñar y aprender ciencias en los colegios e institutos (Barrow, 2006). Esto supuso la publicación de múltiples documentos desde instituciones americanas como *Science for All Americans* (Rutherford & Ahlgren, 1989), *Benchmarks for Scientific Literacy* (American Association for the Advancement of Science, 1993), *National Science Education*

Standards (NRC, 1996), *Inquiry and the National Science Education Standards* (NRC, 2000), *Next Generation Science Standards* (NRC, 2013) pero también desde las europeas, destacando el *Informe Rocard* (Rocard et al., 2007) el *Proyecto Pollen* (Worth et al., 2009), *Fibonacci* (Harlen & Léna, 2010) o el *Science Education for Responsible Citizenship* (European Commission, 2015). Dichos informes, que fueron inspirados en la ingente investigación previamente realizada desde el ámbito académico (Alfieri et al., 2011; Lazonder & Harmsen, 2016; Morales et al., 2018; Romero-Ariza, 2017)2009, fueron, en primer lugar, un espaldarazo a la indagación y, en segundo lugar, a las prácticas científicas (Osborne, 2014a) y epistémicas (Kelly, 2008), como medio para enseñar y aprender ciencias.

2.1.1. Dimensiones de la indagación

Este consenso sobre la necesidad de enseñar indagando produjo una moda (Couso, 2014) sin una definición clara, convirtiéndose en un *cajón de sastre* en el que cabían numerosas propuestas de enseñanza muy dispares. De hecho, la definición de indagación puede ser tan amplia como se quiera: Suchman (1968), sin ir más lejos, estableció que la indagación puede ser considerada en sí misma como ciencia. Una definición tan amplia, sin embargo, no es operativa, por lo que se hace necesario acotarla.

En este sentido, Barrow (2006) trató de agrupar todas las definiciones en torno a tres grandes dimensiones:

En la primera de ellas, encontramos a la indagación entendida como un contenido de área cuyo objetivo es que el alumnado comprenda cómo hacen su trabajo los científicos (Jiménez Aleixandre, 2012; Kelly, 2008).

En la segunda, la indagación entendida como las destrezas de los estudiantes para hacer indagación científica. Esto es, las habilidades para hacer e identificar preguntas, planificar y diseñar experimentos, recolectar datos y conectar las pruebas con las explicaciones, etc. (Anderson, 2002; Minner et al., 2010).

En la tercera y última dimensión, la indagación entendida como un enfoque de enseñanza, para la que no hay una propuesta consensuada ni en la comunidad educativa ni en la investigadora (Costas et al., 2018).

Estas tres dimensiones propuestas por Barrow (2006) ponen de manifiesto la dificultad que supone encontrar una definición clara y operativa de indagación. Así, y para aclarar al lector, en la Tesis que aquí presentamos nos ubicamos en la tercera dimensión: la indagación como enfoque de enseñanza. Es por ello que, a continuación, aclaramos qué fases constituyen a la indagación como enfoque de enseñanza según la literatura didáctica.

2.1.2. Fases del enfoque de enseñanza por indagación

Han sido múltiples los intentos de concretar el enfoque de enseñanza por indagación en unos pasos o fases a seguir (Pedaste et al., 2015). Esto, lejos de considerarlo como algo negativo, podría ser un avance pues, por un lado, muestra una mayor transparencia en cuanto qué se entiende por indagación y, por otro lado, facilita el proceso de diseño de SEAs. De hecho, y aunque somos conscientes de que agrupar la actividad científica en torno a unos pasos o fases concretas es algo forzado y artificial y que podría propiciar una visión simplificada de la ciencia, el beneficio es claro: proporciona un marco de referencia muy útil en la presente Tesis Doctoral para, en primer lugar, analizar SEAs elaboradas por otros y, en segundo lugar, diseñarlas. A continuación, por tanto, mostramos algunas de las propuestas más destacadas de la literatura científica.

En el contexto americano, el National Research Council plantea las siguientes fases dentro del enfoque de enseñanza por indagación (NRC, 2000):

- Los estudiantes se enganchan con preguntas científicas, sucesos o fenómenos.
- Los estudiantes exploran ideas incluso en experiencias manipulativas, formulan hipótesis y las ponen a prueba, resuelven problemas y crean explicaciones para lo que observan.

- Los estudiantes analizan e interpretan datos, sintetizan sus ideas, construyen modelos y clarifican conceptos y explicaciones con los profesores y otras fuentes de conocimiento científico.
- Los estudiantes extienden su nueva comprensión y habilidades y aplican lo que ellos han aprendido a través de nuevas situaciones.

En el contexto europeo, el proyecto Pollen (Worth et al., 2009) destaca las siguientes fases: 1) involucrar o comprometer; 2) diseñar y llevar a cabo investigaciones científicas; 3) obtener conclusiones; y 4) comunicar a los demás. Estas fases, además, están sustentadas en seis actividades clave: discutir, cooperar, debatir, intercambiar, reflexionar y registrar.

Asimismo, una de las propuestas más citadas en el panorama internacional es la propuesta de Bybee, que abarca tanto a la indagación (Bybee, 2006) como la enseñanza STEM (Bybee, 2014). La propuesta en cuestión es denominada *5E learning cycle* y está organizada en torno a cinco fases: *engagement, exploration, explanation, elaboration* y *evaluation*.

Estas son tres de las propuestas más reconocidas a nivel internacional. Sin embargo, y dada la cantidad de las mismas, diferentes autores han tratado de reunir y sintetizar lo propuesto desde la literatura científica. The inquiry synthesis project (2006), por ejemplo, destaca cuáles son las características principales de la enseñanza por indagación a partir de una revisión de recursos y literatura. De esta forma, llegan a la conclusión de que la enseñanza por indagación tiene cinco componentes básicos: pregunta, diseño, datos, conclusión y comunicación (p. 4).

Pedaste et al. (2015), por su parte, realizan una revisión sistemática a partir de 32 artículos con el fin de identificar y resumir las características principales de las propuestas de indagación realizadas desde la literatura científica. Los autores de la revisión, tras tres rondas de análisis, identificaron cinco fases junto con algunas sub-fases: orientación, conceptualización (sub-fases: cuestionamiento y genera-