

Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias

Jenaro Guisasola 

Departamento de Física Aplicada y DoPER, Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa. Donostia. España. jenaro.guisasola@ehu.es

Jaume Ametller 

Departamento de Didácticas Específicas, Universitat de Girona. Facultat d'Educació i Psicologia. Girona. España. jaume.ametller@udg.edu

Kristina Zuza 

Departamento de Física Aplicada y DoPER, Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa. Donostia. España. kristina.zuza@ehu.es

[Recibido: 9 septiembre 2020. Revisado: 28 octubre 2020. Aceptado: 1 diciembre 2020]

Resumen: Desde hace unas décadas la investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje se ha convertido en una línea de investigación cada vez más aceptada con el objetivo de generar conocimiento sobre la naturaleza y las condiciones de la enseñanza y el aprendizaje, mediante el diseño y desarrollo de la innovación educativa en los entornos de aula. En la primera sección se realiza una breve revisión de las investigaciones centradas en estudios teóricos y empíricos de secuencias de enseñanza-aprendizaje en el entorno del aula. Así como, la relación de ésta tradición investigadora con el movimiento de las Investigaciones Basadas en el Diseño (IBD). La segunda sección se centra en el objetivo principal de este trabajo, la descripción de la IBD como una metodología de investigación, es decir como un procedimiento que proporciona pautas para desarrollo de una investigación. Finalmente, se discute sobre los elementos claves que definen la investigación basada en el diseño y se proponen ejemplo de trabajos publicados por los autores. En las conclusiones se discute sobre qué evidencias se ofrecen para apoyar los logros de este tipo de investigación y perspectivas de futuro.

Palabras clave: Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje, Investigación basada en el diseño, características metodología IBD

Designing Teaching Learning Sequences with Design Based Research: an emerging research line in science education

Abstract: For decades, design based research on Teaching-Learning Sequences has become an increasingly accepted line of research for the theoretical and empirical study of learning in the midst of complex educational interventions in the classroom. We begin with a brief review of the research tradition in Teaching-Learning Sequences in Science Education and its relationship to design-based research. Next, design-based research is described as a research methodology, that is, as a procedure that provides guidelines for research development. Finally, we discuss the key elements that define design-based research and what evidence is offered to support the achievements of this type of research.

Keywords: Teaching-Learning Sequences, Design-Based Research, DBR methodology characteristics

Para citar este artículo: Guisasola J., Ametller J., Zuza K. (2021) Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(1), 1801. doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801

Introducción

El aprendizaje y la enseñanza de las Ciencias son un fenómeno demasiado complejo para ser asumido por una única disciplina, perspectiva teórica o método de investigación. En su aplicación a la investigación educativa, la Investigación Basada en el Diseño (en inglés, Design

based Research) pretende generar conocimiento sobre la naturaleza y las condiciones de la enseñanza y el aprendizaje, mediante el diseño y desarrollo de la innovación educativa en los entornos de aula. La Investigación Basada en el Diseño (en adelante IBD) incluye necesariamente el diseño, implementación y evaluación de Secuencias de Enseñanza/Aprendizaje como investigaciones de carácter intervencionista que generan nuevo conocimiento didáctico (Kortland, & Klaassen 2010). Meheut y Psillos (2004) definen el término Secuencias de Aprendizaje/Aprendizaje (en adelante, SEA) como: “*A Teaching Learning Sequence is both an interventional research activity and a product, like a traditional curriculum unit package, which includes well-researched teaching-learning activities empirically adapted to student reasoning. Sometimes teaching guidelines covering expected student reactions are also included*” (p. 516).

Desde la década de los 80 del siglo pasado se han publicado diferentes propuestas didácticas que pretenden conectar la teoría y los resultados de investigación con el diseño de SEAs en diversos contextos. Esta tradición de investigación en diseño de SEA ha implicado una mejora del material de enseñanza existente, mediante el diseño de actividades de enseñanza basadas en los resultados de la investigación. Sin embargo, a principios de siglo surge la Investigación Basada en el Diseño (IBD) (Design-Based Research Collective 2003) que tiene como objetivo, no sólo ajustar empíricamente “lo que funciona” de una SEA, sino desarrollar teorías de intervención en el aula. Estas teorías son relativamente “humildes” en el sentido de que son conclusiones del análisis de los procesos de enseñanza/aprendizaje específicos en un dominio o tema concreto del currículum (Cobb *et al.* 2003). Más allá de simplemente crear diseños que sean efectivos, una teoría de diseño explica por qué los diseños de SEA funcionan y sugiere cómo pueden adaptarse a nuevas circunstancias. Por lo tanto, como otras metodologías, la IBD es un crisol para la generación y prueba de las teorías generales (Barab and Squire 2004)

En la siguiente sección exponemos una breve revisión de las investigaciones sobre el diseño e implementación de SEAs y su relación con la Investigación Basada en el Diseño (IBD). Existe una gran diversidad de propuestas de diseño de SEAs en la literatura que cubren una gran variedad de objetivos educativos reflejando diversas orientaciones en la didáctica de las ciencias y los cambios de objetivos curricular en las últimas décadas. Nuestra revisión se centra en propuestas que han tenido un impacto relevante en el campo y que focalizan los objetivos de aprendizaje en contenidos disciplinares de la ciencia –conceptuales y competenciales- y su naturaleza. A continuación resumiremos las características de la IBD y su utilización como metodología de investigación. Concluiremos con algunas consideraciones sobre las aportaciones de la IBD y sus perspectivas.

Estudios previos de investigaciones sobre Secuencias de Enseñanza/Aprendizaje y su relación con la línea de investigación basada en el diseño

A finales de los 80 del siglo pasado se publica el proyecto Childrens’ Learning in Science-CLIS (1987) promovido por R. Driver y colegas del Reino Unido, que se basaba en la epistemología genética de Piaget. La teoría de diseño del proyecto CLIS, incluye las siguientes fases: a) Estimular a los estudiantes para que presenten sus propias ideas y considerar las ideas de los compañeros; b) Introducir actividades que interactúan con las ideas previas de los estudiantes, reestructurando sus ideas hacia la visión escolar; c) Solicitarles que reflexionen sobre las formas en que han cambiado sus ideas. Esta teoría de diseño tuvo gran influencia en los proyectos de investigación intervencionistas en toda Europa (Lijnse 1994). A partir de las primeras propuestas como el proyecto CLIS, las diferentes teorías de diseño de SEAs incluyen también una descripción del aprendizaje de los individuos cuando se trabaja en el contexto social. Este interés en los contextos sociales de enseñanza y aprendizaje ha traído a la

investigación en Enseñanza de las Ciencias una segunda perspectiva de la teoría en psicología cognitiva con sus raíces en la psicología vygotskiana. Esta perspectiva está en la base de la teoría social-constructivista del aprendizaje que ha fundamentado la gran mayoría de las propuestas de diseño (Tobin and Tippins 1993).

En la década de los 90 del siglo pasado, existía una creciente preocupación de los grupos de investigación sobre la aplicación de los resultados de la investigación a la enseñanza en el aula. Se argumentaba la necesidad de una línea de investigación en Enseñanza de las Ciencias que incluyera "buenas prácticas docentes", en la que no sólo se tuvieran en cuenta los resultados de la investigación educativa relevante, sino que también se extendiese a nivel didáctico (Lijnse 1995). Diferentes grupos de investigación europeos comenzaron a desarrollar y continuar haciéndolo, estructuras didácticas para dirigir el diseño de SEAs. Estas estructuras didácticas proponen líneas de actuación que sirven para mediar entre la contribución de la teorías generales en las dimensiones epistemológicas y cognitivas y, el proceso de diseño de las actividades de la SEA (Ruthven *et al.* 2009).

De acuerdo con lo anterior, el grupo de la Universidad de Valencia liderado por D. Gil y C. Furió proponen una estructura didáctica basada en que los estudiantes construyan sus conocimientos como resultado de las indagaciones que realizan para resolver problemas planteados por el profesorado (Gil y Martínez-Torregrosa 1987, Gil *et al.* 1991). El enfoque de la enseñanza como "indagación orientada" incluye una estructura de "situaciones problemáticas" que orienta las actividades de la SEA, lo que obliga a pasar del diseño de "grano grande" al diseño de detalle o "grano fino" (Guisasola *et al.* 2008, Furió *et al.* 2012, Solbes *et al.* 2009). Estas investigaciones han contribuido a la producción de materiales didácticos cuya implementación ha obtenido resultados comparativamente buenos (Verdu y Martínez-Torregrosa 2004, Guisasola *et al.* 2017, Savall *et al.* 2019).

El Grupo de Enseñanza de la Física de la Universidad de Washington liderado por Lillian McDermott (McDermott 1991) ha desarrollado una estructura didáctica que se concreta en secuencias de enseñanza denominadas "Tutoriales". En este marco intermedio, la investigación en enseñanza de la física, el desarrollo curricular y la instrucción están estrechamente vinculados en un ciclo de mejora iterativa (Heron and McDermott 1998, Heron, Shaffer, and McDermott 2005). El enfoque de la estructura didáctica, es una enseñanza "intencional": cada actividad de una SEA se elige cuidadosamente con objetivos específicos y con vistas a los posibles procesos de pensamiento del alumno. Los materiales van acompañados de ideas para implementarlos en el aula (McDermott *et al.* 1996). Desde la publicación de la edición preliminar de "Tutorials" en 1998, decenas de miles de estudiantes han participado en cursos con tutoriales en la Universidad de Washington en docenas de colegios y universidades en los Estados Unidos y en el extranjero, tanto en inglés original como en traducción.

P. Lijnse y K. Klaassen de la Universidad de Utrech, en su teoría intermedia de "investigación de desarrollo" (Developmental Research) (Lijnse 1995) describen la estrategia didáctica "plantear problemas" (problem posing) para desarrollar SEAs sobre temas concretos del curriculum. Esta estructura didáctica incluye varias fases: a) resaltar el interés y el motivo del estudio del tema en cuestión; b) Reducir el motivo global a necesidades específicas objeto del tema concreto; c) Ampliar el conocimiento de los estudiantes de acuerdo al motivo global y las necesidades de conocimiento específicas; d) Aplicar el conocimiento a situaciones concretas y problemas; e) Reflexionar sobre la necesidad de orientación guiada por la teoría y desarrollar más conocimiento (Klaassen 2001, Lijnse y Klaassen 2004). Esta propuesta ha sido ampliamente seguida por el profesorado de Países Bajos en Primaria y Secundaria.

El grupo liderado por A. Tiberghien de la Universidad de Lyon, propone la estructura didáctica “Dos Mundos” como un marco intermedio para informar el diseño de SEAs en física para Secundaria (14-18 años). Utiliza dos orientaciones fundamentales de las grandes teorías. La primera, basándose en la epistemología de la ciencia, la modelización se trata como una base fundamental para construir el conocimiento científico. En segundo lugar, basándose en la teoría vygotskiana del aprendizaje, el aula de ciencias se ve como un lugar donde se invita a los estudiantes a participar en una comunidad educativa donde uno de los roles del profesor es replicar algunos de los conocimientos y prácticas de la comunidad científica (Tiberghien 1996). El proceso de diseño sigue la hipótesis de que cada vez que una persona o un grupo explica o hace una predicción sobre el mundo material, practica de alguna forma la actividad de modelización (Tiberghien, 2000, Tiberghien *et al.* 2009).

El grupo de la Universidad de Leeds liderado por J. Leach y P. Scott, construyen una teoría de diseño social constructivista para una estructura didáctica que orienta el diseño de SEAs (Amettler, Leach and Scott, 2007).. Este enfoque utiliza herramientas de diseño tales como las “Demandas de Aprendizaje” y el “Enfoque Comunicativo” de la acción docente (Leach *et al.* 2006). La herramienta de Demanda de Aprendizaje. (Leach y Scott, 2002) trata de identificar la diferencia entre los objetivos de aprendizaje requeridos y las ideas de los estudiantes, y el papel que puede jugar esta diferencia a la hora de planificar estrategias de enseñanza en el aula. La herramienta de enfoque comunicativo (Mortimer and Scott, 2003) se centra en el discurso en el aula y proporciona una perspectiva sobre cómo el maestro interactúa con los estudiantes para desarrollar ideas en el plano social del aula.

En esta breve revisión no podemos dejar de lado una estructura didáctica para el diseño de SEAs que tiene una enorme influencia en el sistema educativo Japonés en matemáticas y ciencias, la denominada “Lesson study” (Fernández y Yoshida 2004). Este enfoque, enraizado en un contexto cultural japonés, parte de que la reflexión que el profesorado en grupo dentro o fuera del aula, y que lleva a formas más sistemáticas de mejorar la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas y ciencias. En las recomendaciones de diseño “Estudio de la Lección” las SEA normalmente incluyen actividades de “resolución de problemas” (Hino, 2007), a menudo realizadas con el “método de enfoque abierto” (Nohda, 2000, Becker y Shimada, 1997). Este método organiza la lección en torno a “un problema abierto” que tiene múltiples respuestas correctas. Trata de fomentar tanto la resolución de problemas como la creatividad de los estudiantes. Hemos visto propuestas similares en otros enfoques y países, pero el contexto japonés se diferencia por la riqueza de los ejemplos, los medios de difusión que incluyen formación de docentes, libros de texto y planes de estudio a nivel nacional. Así como, la opinión favorable a este método de enseñanza de la gran mayoría del profesorado y educadores. En esta estrategia de Problema Abierto, el verdadero problema no es dar una respuesta, sino proporcionar argumentos convincentes a su favor.

Duit y colegas del IPN–Leibniz Institute for Science and Mathematics Education, Kiel (Alemania) proponen la estructura didáctica “Reconstrucción Educativa” (Educational Reconstruction) que incluye una estructura de recomendaciones para el desarrollo de secuencias de enseñanza-aprendizaje. Este enfoque combina la tradición alemana de análisis del contenido del curriculum de ciencias con la teoría constructivista del aprendizaje (Duit *et al.* 2005, Duit *et al.* 2012). El modelo resalta que los conceptos y principios, las concepciones sobre la ciencia y los procesos de investigación científica, no se pueden presentar de forma simplificada en la enseñanza. Aunque, desde el punto de vista científico la estructura del contenido científico escolar es más elemental, también es más rica en el sentido de que dicho contenido debe ponerse en contexto para que sea entendido por los estudiantes. Este modelo considera que la tendencia de algunos enfoques en centrarse en cambiar los métodos de

instrucción, sin cambiar también la estructura del contenido tradicional se queda corta (Fensham, 2001). Los resultados obtenidos en numerosas investigaciones basadas en esta estructura didáctica han demostrado la utilidad de las recomendaciones y, han llevado a que se haya convertido en el principal enfoque en el diseño de SEAs en el área de habla alemana.

Se podría esperar una amplia coherencia entre los esfuerzos teóricos o metodológicos en las propuestas de diseño de SEAs, pero como hemos visto en la breve revisión del apartado anterior, este no es el caso. En parte debido a la gran amplitud de las indagaciones que abarcan una amplia variedad de intervenciones escolares con diferentes aspectos concretos (aprendizaje, desarrollo cognitivo, estrategias de enseñanza, interacciones en el aula ...). La situación también se complica por el hecho de que el término “investigación en el aula” o “investigaciones de diseño” a menudo se aplica incorrectamente a propuestas de enseñanza donde los materiales se llevan a contextos educativos, sin ningún intento coordinado de participar en investigaciones empíricas teóricamente fundamentadas. Estas propuestas de enseñanza pueden ser innovaciones educativas, pero no son investigaciones de propuestas de enseñanza/aprendizaje basadas en SEAs. De hecho suele ser difícil para otros colegas e investigadores, aprender acerca de determinadas propuestas de enseñanza de temas concretos porque las prácticas y normas detalladas generalmente se han comunicado a través de las actividades cotidianas de los profesores implicados en la propuesta, pero no están accesibles para grupos externos.

El breve resumen que hemos realizado sobre la tradición de investigaciones en diseño de SEA muestra que la mayoría de estos enfoques comparten algunas características comunes. En general, tienen en cuenta las investigaciones sobre las ideas alternativas de los estudiantes, realizan un análisis epistemológico del contenido curricular para justificar los objetivos de enseñanza-aprendizaje, tienen una perspectiva social constructivista del aprendizaje, diseñan las actividades en función de los resultados de la investigación y presentan evidencias del aprendizaje logrado por los estudiantes. Sin embargo, con menos frecuencia se discute cómo las consideraciones anteriores informan el diseño, la implementación y la evaluación de TLS.

Por otra parte, la IBD ofrece perspectivas teóricas y enfoques didácticos que permiten mejorar las investigaciones en diseño de SEA. Las Investigaciones Basadas en el Diseño se distinguen de otras investigaciones en Enseñanza de las Ciencias por dos características principales. En primer lugar, la IBD se centra en comprender el desorden de la práctica de la enseñanza en el aula, con el contexto como una parte central de la investigación y no una variable que puede ser trivializada. El foco de la IBD es la caracterización de situaciones (en oposición a las variables de control), y en desarrollar una teoría humilde de intervención en el aula que caracterice el diseño en la práctica (en lugar de simplemente probar hipótesis) (Bell 2004, Barab & Squire 2004, van de Akker 1999).

La segunda característica principal es que la IBD implica la producción de cambios demostrables a nivel local. Las investigaciones de diseño tratan los cambios en contextos locales como evidencia necesaria para la viabilidad de una propuesta de enseñanza/aprendizaje. La IBD sugiere una filosofía pragmática, en la que el valor de una teoría radica en su capacidad para producir cambios en el mundo real. La investigación de diseño apoyaría el rigor metodológico y los modelos epistemológico de la filosofía pragmática (Dewey 1938, Cherryholmes 1992, Hookway 2000, Phillips 2006).

Las características comunes de la investigación sobre SEAs coincide con algunas de las características mencionadas para la IBD (Cobb *et al.* 2003; Kelly 2003; Design-Based Research Collective 2003; Reeves *et al.* 2005; van den Akker 1999, Brown 1992). En la tabla 1 se hace una comparación de las semejanzas y diferencias entre líneas de investigación. Lo que parece indicar más una continuidad con mejoras que una ruptura.

Tabla 1. Características de la investigaciones en SEA y en IBD

| Característica de la investigación | Diseño SEA | IBD |
|--|--|-----|
| <i>Intervencionista</i> : la investigación tiene como objetivo una intervención en el aula o contexto educativo real | Si | Si |
| <i>Orientada por la teoría</i> : el diseño se basa, principalmente, en teorías generales, y las evidencias empíricas del diseño contribuyen a genera y/o confirmar teorías | Si, aunque mayoritariamente la conexión no se explicita | Si |
| <i>Iterativa</i> : la investigación incorpora un proceso cíclico de diseño, evaluación y rediseño | La mayoría propone procesos iterativos | Si |
| <i>Orientada al proceso</i> : se evita una medición de situaciones “entrada-salida”, se centra en comprender y mejorar las intervenciones. | A veces. La mayoría de los trabajos se centran en evaluaciones finales tipo pos-test | Si |
| <i>Orientada al pragmatismo</i> : el mérito de un diseño se mide, en parte, por su utilidad para el profesorado en contextos reales. | No explícito. Algunas de las propuestas tienen elementos compatibles | Si |

De acuerdo con lo anterior, parece que la IBD tiene el potencial de ofrecer un conjunto de herramientas didácticas útiles para aquellos investigadores comprometidos con la comprensión de variables dentro de contextos de aula, hay cuestiones que debemos abordar para que esta línea de investigación resulte creíble para la comunidad. Se deben abordar cuestiones tales como: a) cuáles son los elementos claves que definen la investigación basada en el diseño; y b) qué evidencias se ofrecen para apoyar los logros de este tipo de investigación. En el apartado siguiente vamos a profundizar en los dos aspectos señalados. Además, se hará referencia a trabajos de investigación con ejemplificaciones concretas o aspectos teóricos específicos.

La investigación basada en el diseño como una metodología de investigación

Existe un consenso en la literatura que considera la IBD como una metodología de investigación, es decir como un procedimiento que proporciona pautas para desarrollo de una investigación (Design-based Research Collective 2003, Juuti & Lavonen 2006, Alghamdi & Li 2013, van den Akker 1999). Se han sugerido diferentes fases para desarrollar esta metodología y ayudar a la comunidad de enseñanza de las ciencias a tener una herramienta común para abordar las dificultades existentes que impiden que el diseño de SEA se convierta en un programa de investigación (Reeves 2006, Easterday *et al.* 2014). En esta sección explicaremos brevemente la metodología IBD, cómo se ha utilizado en la investigación educativa hasta el momento, por qué creemos que puede ayudar a cerrar las dificultades que hemos comentado en el diseño de SEA y cómo la hemos concretado en nuestros trabajos de investigación.

Existen diferentes opiniones sobre cómo definir la metodología IBD, pero la mayoría de los autores están de acuerdo en que un proyecto de IBD debe desarrollarse a través de ciclos de diseño, implementación, análisis y rediseño (McKenney & Reeves 2018). La metodología no asume una teoría educativa específica que la sustente o herramientas específicas para ninguna fase, lo que le da a los investigadores educativos una libertad considerable sobre cómo implementar IBD (Easterday *et al.* 2014). En nuestros trabajos planteamos cuatro fases en la investigación: a) Fundamentos teóricos que guían la investigación; b) diseño; c) Implementación; d) Evaluación y rediseño. Vamos a describir estas cuatro fases de IBD y para ilustrarlas haremos referencia a ejemplos de nuestro propio trabajo.

Fundamentos teóricos que guían la investigación

La mayoría de las estructuras didácticas mencionadas en la literatura sobre SEAs coinciden en que el conocimiento y la comprensión de la epistemología científica es un objetivo esencial de cualquier estructura didáctica en un primer nivel de aproximación a la definición de la secuencia de contenidos del tema específico, y que cualquier enfoque que falle en considerar cómo los científicos producen conocimientos corre el riesgo de producir estudiantes que no reconocen las concepciones científicas como racionales (Duschl 1990). Una segunda característica común es que se considera el aprendizaje desde una teoría psicológica social-constructivista. La casi totalidad de las IBD tienen en cuenta que los estudiantes tienen ideas alternativas a las científicas y que el aprendizaje escolar tiene una dimensión social. Sin embargo, la manera en que tienen de llevar a cabo esta teoría general en el desarrollo de estrategias de enseñanza varía de una a otra propuesta. Vamos a ilustrar con más detalle este punto mencionando las elecciones teóricas generales que realizamos en nuestros trabajos de investigación.

Los diseños para apoyar el aprendizaje científico del curriculum escolar que hemos desarrollado en la última década, se fundamentan en teorías generales derivadas de la psicología social-constructivista, la epistemología de la Ciencia y la investigación en Enseñanza de las Ciencias (Guisasola *et al* 2008). Una suposición fundamental del enfoque social-constructivista es que la cognición no se encuentra únicamente en la mente del individuo, sino que se trata principalmente de un proceso distribuido entre el alumno, el entorno en el que tiene lugar el aprendizaje, y la actividad en la que el aprendizaje tiene lugar (Gil *et al* 2002, Leach, & Scott 2003). Como veremos en la fase de diseño, esta teoría influye en tener en cuenta en las herramientas de diseño a nivel de “grano fino”.

Otro de los elementos teóricos tomados en consideración en nuestras investigaciones es la Historia y Filosofía de la ciencia (HFC) (Acevedo-Díaz, *et al* 2007). Las aportaciones de HFC muestran que la comprensión de los conceptos y las leyes de un tema concreto del curriculum requiere no solo el conocimiento de su significado, sino también entender cómo se adquiere y refina el conocimiento a través del tiempo (Matthews 1994). En nuestros trabajos esto ha implicado investigar las fuentes históricas y filosóficas primarias y secundarias relacionadas con los contenidos enseñar, que proporciona argumentos para justificar las ideas clave que definen los objetivos de aprendizaje del tema concreto del curriculum (Zuza *et al.* 2018). El conocimiento del desarrollo de las ideas explicativas, que finalmente evolucionaron en el modelo científico actual, puede proporcionar información sobre las barreras epistemológicas y ontológicas que tuvieron que superarse y las ideas que fomentaron el progreso (Guisasola 2014, Guisasola *et al.* 2005). Se utilizan las ideas de HPS para justificar epistemológicamente los objetivos de la enseñanza del tema para el nivel educativo elegido y para definir los "problemas o situaciones problemáticas" que son planteado a los estudiantes con la intención de ayudarlos a adquirir ideas preliminares de las tareas que se llevarán a cabo para lograr los objetivos de aprendizaje (Verdu y Martínez-Torregrosa 2004, Garzón *et al* 2014).

Nuestras investigaciones tienen en cuenta, de manera general, las indicaciones dadas por los nuevos curriculums que enfatizan la integración de conceptos y prácticas científicas. Los nuevos estándares coinciden en que no se trata de "aprender el contenido a través de una metodología de enseñanza", sino que para lograr que los alumnos vean más atractivas y fructíferas las concepciones científicas que las espontáneas han de tener oportunidades, reiteradas y duraderas, de poner en práctica procedimientos y criterios de prueba y aceptación, característicos del trabajo científico. Entendemos que la construcción de conocimientos no se plantea como un cuestionamiento de las ideas de los alumnos, sino como resultado de las

investigaciones realizadas para resolver problemas (Gil *et al.*1991, Lijnse y Klaassen 2004, Guisasola *et al.* 2017).

Sin embargo, facilitar el trabajo de los estudiantes, que enfatiza la integración de las prácticas científicas con el contenido, es un asunto complejo que requiere elecciones de “grano fino” adecuadamente justificadas con las recomendaciones de la investigación en Enseñanza de las Ciencias. En particular, utilizamos los resultados de la investigación sobre dificultades de los estudiantes, sobre resolución de problemas y sobre estrategias de enseñanza activa y en pequeños grupos en el aula (Amettler *et al.* 2007, Zuza *et al.* 2016, Guisasola *et al.* 2011, Heller *et al.* 1992). En un proceso similar a la formación inicial de futuros investigadores, donde se presentan a los estudiantes “escenarios-problema” y, mediante actividades, se formulan preguntas que les ofrecen oportunidades de usar evidencias para resolver los problemas presentados y utilizar la práctica epistémica para comunicar sus ideas. Por estas razones, llamamos a esta estrategia de enseñanza "Enseñanza como actividad de investigación orientada" ((Guisasola *et al.* 2011, Zuza *et al.* 2014)

Fase de diseño

La fase de diseño conecta explícitamente las teorías generales elegidas con el diseño de la intervención educativa. Esta fase conduce a un producto inicial (una SEA) que incluye un camino de aprendizaje hipotético consistente con la teoría. Esta fase comienza con una evaluación de los objetivos de aprendizaje para el nivel educativo elegido. Como la IBD tiene lugar en contextos reales de enseñanza, se deben identificar de manera explícita la mayoría de los elementos contextuales (plan de estudios, nivel educativo, audiencia, etc.) que limitarán el alcance de la SEA. El diseño de la SEA incluye también actividades estructuradas e hipótesis sobre los procesos de aprendizaje potenciales de los estudiantes y orientación sobre cómo el profesorado puede apoyar estos procesos. Una vez que los objetivos y la secuencia del programa se han establecido y justificado, se diseña una primera versión de las actividades que constituyen la secuencia a implementar. Se generan los documentos necesarios para la implementación, pautas de evaluación y material para el profesorado con información sobre el uso de materiales de trabajo (ver tabla 2). No todos los aspectos de estos materiales se derivan directamente de los diferentes elementos del diseño y, por lo tanto, es importante informar al profesorado que va a utilizar la SEA, qué aspectos son referentes de teoría e investigación, y cuáles son contribuciones de diseñadores personales basado en su conocimiento pedagógico del contenido.

Tabla 2. Fase de Diseño

| | | |
|--|--|--|
| Análisis del contexto educativo y de los aspectos epistemológicos del tema | Análisis de las ideas previas de los alumnos y dificultades conceptuales y de razonamiento | Necesidad de entornos interactivos que reflejen las habilidades y actitudes de la investigación científica |
| <i>Objetivos de aprendizaje</i> | <i>Dificultades de aprendizaje y Demandas de aprendizaje</i> | <i>Estrategias de enseñanza</i> |
| Construyendo tareas específicas que conducen a una propuesta de trayectoria de aprendizaje <i>Actividades de la SEA</i> <i>Guía del profesorado para la implementación de la SEA</i> | | |

De acuerdo con los elementos teóricos que hemos definido en el apartado anterior, nosotros establecemos herramientas diseño, tales como “Análisis Epistemológico” y “Demanda de Aprendizaje”, que explicamos brevemente a continuación. Utilizamos el término "herramientas de diseño", en la misma línea que Leach, Amettler y Scott (2010) para resaltar

que las ideas teóricas y empíricas se usan explícita e intencionalmente para tomar decisiones de diseño.

La herramienta de diseño de “Análisis Epistemológico” considera la estructura interna del dominio científico elegido para justificar una propuesta para la construcción de ese conocimiento en un entorno educativo específico. El resultado es un conjunto de ideas clave que deben ser articuladas para enseñar a los estudiantes.

La herramienta Análisis Epistemológico nos permite detectar las diferencias epistemológicas y ontológicas que pueden existir en la evolución de las teorías científicas o el cambio de una teoría a otra y la importancia que tiene una teoría particular en la determinación de las dificultades de aprendizaje de los estudiantes (Chi 1992). Por ejemplo, el concepto de campo no tiene la misma categoría ontológica que el concepto de fuerza (Furió y Guisasola 1998 , Zuza *et al.* 2018). El conocimiento de las barreras epistemológicas y ontológicas ayuda a definir los "problemas-guía", cuya resolución incluye un conjunto de actividades y orienta la secuencia de las actividades SEA (Furió *et al* 2003, Savall *et al* 2016, Savall *et al* 2019).

La herramienta de diseño “Demanda de Aprendizaje ”(Leach and Scott 2002) se utiliza para analizar las diferencias ontológicas y epistémicas entre las ideas de los estudiantes y los objetivos de aprendizaje definidos. Esto lleva, en primer lugar, a analizar la literatura sobre las dificultades que los estudiantes encuentran con el tema y las posibles soluciones propuestas para superar estas dificultades. Si la literatura de Enseñanza de las Ciencias no proporciona información sobre las ideas de los estudiantes con respecto a los conceptos específicos del tema, llevaremos a cabo una investigación empírica original de los mismos. Es necesario precisar que se busca información concreta sobre conceptos concretos del tema, no es suficiente una información general sobre dificultades del tema. En segundo lugar, esta herramienta hace una evaluación cualitativa de las diferencias entre la comprensión ontológica y epistemológica de los estudiantes de los conceptos que se enseñarán y la comprensión científica prevista al final de la enseñanza. Estas diferencias guiarán el camino de aprendizaje de la SEA al resaltar tanto el tipo como el grado de dificultad que podemos esperar que encuentren los estudiantes. En este punto, si es necesario, los objetivos de aprendizaje se reformulan. Es crucial definir clara y explícitamente estos objetivos de aprendizaje si queremos que los resultados de la evaluación SEA sean útiles en futuros diseños (Ametller *et al.* 2007, Guisasola *et al* 2010).

Implementación. Experimentos de enseñanza

La implementación en el aula de la SEA tiene como objetivo investigar la hipótesis de que el diseño conducirá a un mejor aprendizaje del estudiante, según lo juzgado por las estrategias de evaluación predeterminadas. Esta fase puede considerarse un "experimento de enseñanza". Como Cobb *et al.* (2003) afirman, "un objetivo principal para un experimento de diseño es mejorar el diseño inicial probando y revisando conjeturas según lo informado por el análisis continuo tanto del razonamiento de los estudiantes como del entorno de aprendizaje". En particular, la SEA tiene el objetivo de explicar en detalle las estrategias de enseñanza que se utilizan durante la implementación de la SEA en clase. La SEA sirve como guía para el profesorado sobre qué y cómo enseñar, cómo interactuar con los estudiantes y qué elementos clave del proceso de aprendizaje se deberían tener en cuenta. El profesor o el equipo docente puede sentir la necesidad de hacer ajustes en la SEA a medida que los alumnos progresan. Estos cambios pueden deberse a incidentes en el aula, tales como estudiantes que adoptan enfoques que no se habían previsto, actividades que son demasiado difíciles, etc. Estos ajustes generalmente no se aceptan en la investigación experimental comparativa, pero en la metodología IBD los cambios se realizan en el SEA para crear condiciones óptimas y se consideran elementos del cuerpo de datos. Esto significa que estos cambios deben estar bien

informados y respaldados por consideraciones teóricas (Ametller *et al* 2007). Estos aspectos deben tenerse en cuenta en los instrumentos de evaluación de la SEA como mencionamos a continuación.

Análisis retrospectivo: Evaluación y rediseño

En la fase de evaluación, la SEA inicial se prueba empíricamente. Sin embargo, la metodología IBD no define las herramientas de investigación que deberían usarse. Estas herramientas deben ser elegidas por los investigadores de acuerdo con los aspectos que se evalúan. No obstante, la IBD subraya la necesidad de que se incluyan diseños de evaluación múltiples y convergentes, que hagan explícitos los diferentes aspectos de la evaluación de la SEA (Nieveen 2009). En nuestras investigaciones proponemos un análisis retrospectivo de la implementación de la SEA en dos dimensiones (ver Tabla 3):

- (a) Análisis de la calidad de la secuencia, que incluye: a.1) problemas relacionados con la claridad de las actividades que deben realizar los estudiantes; a.2) problemas relacionados con el tiempo necesario para completar la secuencia; y a.3) problemas imprevistos inherentes al escribir una nueva secuencia con contenido innovador.
- (b) Análisis de los resultados del aprendizaje, que incluye la comprensión de los estudiantes: b.1) de los conceptos, teorías y modelos; y b.2) adquisición de habilidades científicas.

Tabla 3. Análisis retrospectivo. Instrumentos para el desarrollo iterativo de la SEA

| Instrumentos para detectar la calidad de la SEA (dificultades de interpretación) | Instrumentos para medir el aprendizaje logrado mediante la implementación de la SEA | Rediseño de la SEA |
|---|---|---|
| a.- Diario del Profesor/a b.- Cuaderno del estudiante c.- Informe observadores externos | - Cuestionarios sobre la comprensión de conceptos y leyes - Cuestionarios de problemas sobre comprensión de leyes y adquisición de habilidades científicas | - Redefinición de temas de escritura, analogías, enfoque, ... - Rediseño de la secuencia de actividades. - Rediseño de figuras, gráficos, ... - Rediseño de los requisitos previos de la secuencia y sus actividades. - Cambios de formato (hojas de trabajo, clics, documentos de trabajo de grupo, ...) |

Para la primera dimensión del análisis retrospectivo de la SEA (Tabla 2 primera columna), utilizamos una metodología de investigación cualitativa con herramientas como el "diario del docente" (Carr & Kemmis 1986), el "cuaderno de trabajo del estudiante" (Leslie-Pelecky 2000) y el "Informe de evaluadores externos". Es un informe de observación en el aula completado por un miembro del equipo de investigación que se centra en si el profesor sigue los objetivos de las actividades de la SEA. Estas herramientas se utilizan como fuente de datos y para analizar si el profesorado percibe los objetivos de las actividades como fueron diseñados por los investigadores. Así como, para detectar las dificultades encontradas al implementar una secuencia con contenido innovador. Aquí utilizamos herramientas de investigación cualitativa porque la IBD es de naturaleza exploratoria. Nuestro objetivo no es sólo obtener resultados generalizables sobre la efectividad de la SEA diseñada, sino determinar si la metodología IBD es útil para superar algunas de las dificultades identificadas en el diseño y rediseño de la SEA.

En la segunda dimensión del análisis del aprendizaje (Tabla 3 segunda columna), utilizamos herramientas de investigación cuantitativa tales como cuestionarios con preguntas abiertas

para evaluar la comprensión de los conceptos y las teorías de los estudiantes (pre y post cuestionarios para los grupos de control y experimentales) y pruebas de problemas que evalúan el aprendizaje de leyes y la adquisición de habilidades científicas.

De acuerdo con los datos obtenidos, inferimos aspectos problemáticos de las actividades, identificamos los tipos de dificultades de los estudiantes (dificultades metacognitivas, dificultades de razonamiento, dificultades relacionadas con la interpretación y comprensión de la información, etc.) y, procedemos a introducir modificaciones en las actividades y su secuenciación. El análisis de los datos nos permite rediseñar la SEA de acuerdo con las dos dimensiones que pretendemos evaluar. En particular, los resultados de la evaluación pueden influir en aspectos del rediseño de la SEA, como reescribir partes del texto, modificar las analogías utilizadas, analizar si las representaciones han sido comprendidas y el enfoque general del TLS; la re-secuenciación de actividades; el rediseño de imágenes y figuras; reajustar los requisitos previos para la secuencia; modificar el formato (hojas de trabajo, sistema de respuesta en el aula), etc (ver Tabla 2, tercera columna). El análisis de los resultados proporciona a los diseñadores comentarios sobre la validez de la SEA y sus supuestos teóricos. Esto mejora la probabilidad de encontrar un diseño efectivo que pueda verificarse posteriormente a través de la evaluación final (Guisasola *et al* 2017, Zuza, Sarriguarte, Ametller, Heron y Guisasola 2020, Zuza, De Cock, van Kampen, Kelly y Guisasola 2020).

Una pregunta importante que debe responder la IBD es qué se considera como evidencia aceptable. En investigación educativa un argumento metodológico sólido debe relacionarse con temas de validez, fiabilidad y utilidad, así como los diferentes contextos en los que los investigadores piensan que los resultados podrían generalizarse. En la IBD para demostrar que se han cumplido los criterios de validez y fiabilidad se utilizan métodos similares a los de otras investigaciones en educación (Cohen *et al.* 2013). Mientras que los criterios de generalización y validez externa, se suele mencionar con menos frecuencia al valorar el impacto de los resultados de la investigación.

En relación a la generalización de las investigaciones de diseño, una cosa es demostrar las ganancias de aprendizaje o mostrar que se han logrado diferencias estadísticas entre grupos de control y experimental, y otra cosa es demostrar la utilidad de la estructura didáctica que guía el diseño de la propuesta. Sin embargo, como se ha comentado, las investigaciones de diseño se realizan en contextos culturales locales y, dependiendo del tema y nivel educativo se hace difícil replicar los hallazgos de otros. Por ejemplo, en el caso de cursos de física introductoria en la universidad los contextos culturales locales (programa, libros de texto, audiencia ...) son similares a nivel internacional y esto facilita la replicabilidad de las propuestas de marcos didácticos (ver, p.e., McDermott 1996). Al contrario en niveles educativos de Secundaria obligatoria (12-16 años) los contextos culturales locales suelen ser bastante diferentes incluso a nivel nacional. En estos casos, el desafío es avanzar en teorías adaptativas flexibles que también sean útiles cuando se aplican a otros contextos locales. Esto implica no solo compartir la estructura diseñada, sino proporcionar descripciones ricas de contexto, características de diseño de la intervención y el impacto de estas características en la participación y el aprendizaje.

Llegados a este punto es necesario recordar que en investigación educativa, no siempre la generalización de los resultados de investigación se basa en generalizar de una muestra aleatoria a una población (generalización estadística), muchos enfoques de investigación apuntan a una generalización de una teoría o modelo presentando hallazgos como casos particulares de un modelo más general (Frick 1998). Se adopta una visión orientada a la evidencia circunstancial de los procesos observados y de que lo que sucedió probablemente sea causado por la intervención (Maxwell 2004). Este enfoque de las investigaciones de diseño,

se beneficia de la filosofía pragmática, que valida la teoría en función de su capacidad para explicar fenómenos y producir cambios en el mundo (Dewey 1938, Juuti y Lavonen 2006, Wong y Pugh 2001).

A modo de conclusión provisional

La importancia de las investigaciones en contextos específicos para aportar nuevo conocimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje y para apoyar con resultados concretos, las teorías generales, es una preocupación persistente desde que comenzó la investigación en enseñanza de las ciencias a principios del siglo XX. Hace más de 100 años el filósofo norteamericano J. Dewey, uno de los impulsores de la filosofía pragmática, afirmaba en su artículo del número 1 de la revista *General Science Quarterly* (hoy, *Science Education*) en 1916 y después reproducido a petición del editor en el vol. 49(3) de 1945:

“I can sum up by saying that it seems to me that our present methods too largely put the cart before the horse; and that when we become aware of this mistake we are all too likely to cut the horse entirely loose from the cart, and let him browse around at random in the pastures without getting anywhere. What we need is to hitch the horse of concrete experience with daily occupation and surroundings to a cart loaded with specialized scientific knowledge” (p. 8).

Así mismo, Toulmin en 1999 indicaba que:

“For the future, then, the key notion in any new theory of knowledge needs to be practice. In place of the foundationalists theories that held centre stage from Descartes to Russell, we shall do better to develop a new praxeology –the term is Kotarbinski’s (1965)- that asks what procedures are efficacious in any given rational enterprise, on what conditions, and for what practical purposes.” (p. 62).

Pensamos que las citas siguen teniendo vigencia, aunque una de ellas tiene más de un siglo, y reflejan el esfuerzo de contextualización de las investigaciones basadas en el diseño de unidades didácticas. Todavía estamos en nuestra infancia en términos de tener un acuerdo sobre lo que constituye la investigación basada en el diseño, por qué es importante y los métodos para llevarla a cabo. Sin embargo, se ha avanzado y ahora sabemos que este tipo de investigaciones intervencionistas en contextos educativos concretos, exigen explicaciones detalladas de las decisiones implícitas y explícitas que se toman con respecto al diseño y la implementación.

En esta nueva sección de *REurEDC* se pretende presentar trabajos que expliquen de forma detallada las estrategias de enseñanza que a menudo se tratan implícitamente, y que presenten procedimientos de evaluación que vayan más allá de mostrar el aprendizaje logrado por los estudiantes antes y después de la intervención. Trabajos que analicen el proceso de la intervención y que realicen descripciones detalladas del proceso iterativo de refinamiento de la propuesta de enseñanza. Se trata de explicar las investigaciones basadas en el diseño con transparencia, bien fundamentadas, y con unos requisitos explícitos de evaluación e iteración.

Es necesario que la comunidad de investigadores y profesores asumamos el desafío de fundamentar nuestras propuestas educativas en investigaciones creíbles y útiles, mientras contribuimos de manera más general a la base metodológica para avanzar nuevas teorías con respecto a la Enseñanza de las Ciencias. Durante los próximos años, a medida que en esta sección de *REurEDC* se acepten este tipo artículos, esperamos que otros puedan continuar el diálogo.

Afortunadamente, en la nueva sección que se inaugura en este número contamos con dos artículos importantes que sitúan la investigación basada en el diseño y desafían a la comunidad

con nuevos ejemplos que ayudan a avanzar en este tipo de investigaciones de manera que otros juzguen que vale la pena.

Agradecimientos

Financiado parcialmente por el proyecto MINECO PID2019-105172RB-100 y el proyecto del Gobierno Vasco PIBA 2018/16.

Referencias

- Acevedo -Díaz, J. A., Vázquez-Alonso, Á., Manassero-Mas, M. A., & Acevedo-Romero, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: aspectos epistemológicos. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 4(2), 202-225
- Alghamdi, A. H., & Li, L. (2013). Adapting design-based research as a research methodology in educational settings. *International Journal of Education and Research*, 1(10), 1-12.
- Ametller, J., Leach, J., & Scott, P. (2007). Using perspectives on subject learning to inform the design of subject teaching: an example from science education. *The curriculum journal*, 18(4), 479-492.
- Barab, S., & Squire, K. (2004). Design-based research: Putting a stake in the ground. *The journal of the learning sciences*, 13(1), 1-14.
- Becker, J. P., & Shimada, S. (Eds.) (1997). *The open-ended approach: A new proposal for teaching mathematics*. Virginia: NCTM.
- Bell, P. (2004). On the theoretical breadth of design-based research in education. *Educational psychologist*, 39(4), 243-253.
- Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *Journal of the Learning Sciences*, 2, 141-178.
- Carr W. and Kemmis, S. (1986) *Becoming Critical: Education Knowledge and Action Research* (Routledge, Taylor & Francis, London)
- Cherryholmes, C. H. (1992). (Re)clamación de pragmatismo para la educación. *Revista de educación*, (297), 229-261.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science: Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, (pp. 129–186). Minneapolis, MN:University of Minnesota Press
- Children's Learning in Science. Project CLIS. (1987) *CLIS in the classroom. Approaches to teaching*. Leeds, UK. University of Leeds. Centre for Studies in Science and Mathematics Education
- Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, 32(1), 9–13.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2013). *Research methods in education*. Routledge.
- Collins, A. (1992) Toward a design science of education. In E. Scanlon, & T. O'Shea (Eds.), *New directions in educational technology* (pp. 15-22). New York: Springer-Verlag.
- Design-based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5–8.

- Dewey, J. (1916). Method in science teaching. *Science Education*, 1, 3-9. Reproducido con una nueva introducción del autor(1945). *Science Education*, 29, 119-123.).
- Dewey, J. (1938). *Logic, the theory of inquiry*. New York: H. Holt and Co.
- Duit, R., Gropengiesser, H. and Kattmann, U. (2005) Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction. In H.E. Fischer, Ed., *Developing standards in research on science education (pp. 1-9)*. London: Taylor & Francis.
- Duit, R., Gropengiesser, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction—A framework for improving teaching and learning science. In D. Jorde and J. Dillon (eds.), *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective (13–37)*. Sense Publishers..
- Duschl, R. A. (1990). *Restructuring science education*. New York: Teachers College Press.
- Easterday M., Rees Lewis D., and Gerbe E., (2014) Design-based research process: Problems, phases, and applications, in Proceedings of International Conference of Learning Sciences, edited by J. L. Polman, E. A. Kyza, D. K. O'Neill, I. Tabak, W. R. Penuel, A. S. Jurow, K. O'Connor, T. Lee, and L. D'Amico (International Society of the Learning Sciences, Boulder, CO), pp. 317–324.
- Fensham, P. (2001). Science content as problematic - issues for research. In H. Behrendt, H. Dahncke, R. Duit, W. Gräber, M. Komorek, A. Kross & P. Reiska (Eds.), *Research in Science Education - past, present, and future (pp. 27–41)*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Fernández, C., & Yoshida, M. (2004). *Lesson study. A Japanese approach to improving mathematics learning and teaching*. Mahwah: Erlbaum.
- Frick, R. W. (1998) Interpreting statistical testing: Process and propensity, not population and random sampling, *Behavior Research Methods, Instrument and Computer* 30, 527
- Furió, C., & Guisasola, J. (1998). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, 82(4), 511-526.
- Furió, C., Guisasola, J., Almudí, J., & Ceberio, M. (2003). Learning the electric field concept as oriented research activity. *Science Education*, 87(5), 640-662.
- Furió-Más, C., Domínguez-Sales, M. C., & Guisasola, J. (2012). Diseño e implementación de una secuencia de enseñanza para introducir los conceptos de sustancia y compuesto químico. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 30(1), 113-129.
- Garzón, I., De Cock, M., Zuza, K., Van Kampen, P., & Guisasola, J. (2014). Probing university students' understanding of electromotive force in electricity. *American Journal of Physics*, 82(1), 72-79.
- Gil, D., & Martínez Torregrosa, J. (1987). Los programas-guía de actividades: una concreción del modelo constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Revista Investigación en la Escuela*, 3, 3-12.
- Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C., & Martínez-Torregrosa, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori, 232.
- Gil, D., Guisasola, J., Moreno, A., Cachapuz, A., De Carvalho, A. M. P., Torregrosa, J. M., ... & Dumas-Carré, A. (2002). Defending constructivism in science education. *Science & Education*, 11(6), 557-571.

- Guisasola, J. (2014). Teaching and learning electricity: The relations between macroscopic level observations and microscopic level theories. In M. Matthews (ed.) *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 129-156). Springer, Dordrecht.
- Guisasola, J., Zubimendi, J. L., & Zuza, K. (2010). How much have students learned? Research-based teaching on electrical capacitance. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6(2), 020102.
- Guisasola, C. Furió, and M. Ceberio (2008) Science Education based on developing guided research, edited by M. V. Thomase, *Science Education in Focus*, Nova Science Publisher, 55-85.
- Guisasola, J., Almudí, J. M., & Furió, C. (2005). The nature of science and its implications for physics textbooks. *Science & Education*, 14(3-5), 321-328
- Guisasola J., Ceberio, J.M., Almudí & J.L. Zubimendi (2011). La resolución de problemas basada en el desarrollo de investigaciones guiadas en cursos introductorios de física universitaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(3), 0439-452) o poner aquí ya los resultados de alternativas?
- Guisasola, J., Zuza, K., Ametller, J., & Gutierrez-Berraondo, J. (2017). Evaluating and redesigning teaching learning sequences at the introductory physics level. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 020139.
- Heller, P., Keith, R. & Anderson, S. (1992). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving. *American Journal of Physics*, 60(7), 627-636)
- Heron, P.R. and McDermott, L. C. (1998) Bringing the gap between teaching and learning in geometrical optics, *Optics and photonics new* 9, 30
- Heron, P. R. Shaffer, P.S. and McDermott, L. C. (2005) Research as a Guide to Improving Student Learning: An Example from Introductory Physics, Assessment and Education Research, En *Invention and impact: building excellence in undergraduate science, technology, engineering and mathematics (STEM) education* 33-37. Whashington,DC: American Association for Advancement of Science.
- Hino, K. (2007). Toward the problem-centered classroom: Trends in mathematical problem solving in Japan. *ZDM. International Journal on Mathematics Education*, 39(5-6), 503-514.
- Hookway, C. (2000). Pragmatism: commonsense and limits of Science. In M. W. F.Stone & Wolff, J. (Eds.) *The Proper Ambition of Science*, 2, 103-121. Routledge.
- Isoda, M., Stephens, M., Ohara, Y., & Miyakawa, T. (2007). Japanese lesson study in mathematics: Its impact, diversity and potential for educational improvement. Singapore: World Scientific.
- Juuti, K., & Lavonen, J. (2006). Design-based research in science education: One step towards methodology. *NorDiNa*, 4, 54-68.
- Kelly, A. (2003). Research as design. *Educational Researcher*, 32(1), 3-4.
- Kortland, J., & Klaassen, C. J. W. M. (2010). Designing theory-based teaching-learning sequences for science. In *Proceedings of the symposium in honour of Piet Lijnse at the time of his retirement as professor of Physics Didactics at Utrecht University*.
- Leach, J., & Scott, P. (2003). Individual and sociocultural views of learning in science education. *Science & education*, 12(1), 91-113.

- Leach, J. y Scott P. (2002). Designing and Evaluating Science Teaching Sequences: An Approach Drawing upon the Concept of Learning Demand and a Social Constructivist Perspective on Learning. *Studies in Science Education*, 38, 115.
- Leach, J., Ametler, J., Hind, A., Lewis, J., & Scott, P. (2006). Implementing and evaluating teaching interventions: Towards research evidence-based practice? In R. Millar, J. Leach, J. Osborne, & M. Ratcliffe (Eds.), *Improving teaching and learning in science: Towards evidence-based practice* (pp. 79–99). London: RoutledgeFalmer.
- Leach J., Ametler J. and Scott, P. (2010) Establishing and communicating knowledge about teaching and learning scientific content: The role of design briefs. In K. Kortland & K. Klaassen (eds.), *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education* (pp. 7-36). CDBeta Press, Utrecht.
- Leslie-Pelecky, D. L. (2000). Interactive worksheets in large introductory physics courses. *The Physics Teacher*, 38(3), 165–167.
- Lijnse, P. L. (1995). “Developmental research” as a way to an empirically based “didactical structure” of science. *Science education*, 79(2), 189-199.
- Lijnse, P. L. (1994). Trends in European research in science education. *Second European Summerschool, Tessaloniki*.
- Lijnse, P.L., and Klaassen, C. W. J. M. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26, 537-554.
- Matthews, M.R.: 1994, *Science teaching: the role of history and philosophy of science*. Taylor & Francis Inc.
- Maxwell, J. A. (2004) Causal explanation, qualitative research and scientific inquiry in education. *Educational Researcher* 33, 3.
- McDermott, L. C. (1991). Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned—Closing the gap. *American journal of physics*, 59(4), 301-315.
- McDermott, L. C., Shaffer, P. S., & the Physics Education Group at University of Washington (1996), *Physics by Inquiry*. John Wiley & Sons. Inc. NY.
- McKenney, S. & Reeves, T. C. (2018) *Conducting educational design research*. Routledge
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.
- Mortimer, E. F., & Scott, P. H. (2003). Meaning making in secondary science classrooms. Maidenhead: Open University Press
- Nieveen N. (2009), Formative evaluation in educational design research, T. Plomp and N. Nieveen (Eds.) *An introduction to educational design research* (Enschede: SLO) pp. 89-101.
- Nohda, N. (2000). Teaching by open-approach method in Japanese mathematics classroom. In T. Nakahara & M. Koyama (Eds.), *Proceedings of the 24th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (vol. 1, (pp. 39–53)). Japan: PME, Hiroshima University.
- Phillips, D. C. (2006). Assessing the quality of design research proposals: Some philosophical perspectives. *Educational design research*, 93-99.
- Reeves, T. C. (2006). Design research from a technology perspective. In J. van Den Akker, K. Gravemeijer, S. Mckenney & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research* (pp. 52-66): Routledge.

- Reeves, T., Herrington, J., and Oliver, R. (2005). Design research: A socially responsible approach to instructional technology research in higher education. *Journal of Computing in Higher Education*, 16(2), 97–116.
- Ruthven, K., Laborde, C., Leach, J., & Tiberghien, A. (2009). Design tools in didactical research: Instrumenting the epistemological and cognitive aspects of the design of teaching sequences. *Educational researcher*, 38(5), 329-342.
- Savall, F., Domènech-Blanco, J. L., Guisasola, J., & Martínez-Torregrosa, J. (2016). Identifying student and teacher difficulties in interpreting atomic spectra using a quantum model of emission and absorption of radiation. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010132)
- Savall, F., Guisasola, J., Cintas, S. R., & Martínez-Torregrosa, J. (2019). Problem-based structure for a teaching-learning sequence to overcome students' difficulties when learning about atomic spectra. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2), 020138.
- Scott, P. H., Mortimer, E. F., & Aguiar, O. G. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science education*, 90(4), 605-631.
- Solbes, J., Guisasola, J., & Tarín, F. (2009). Teaching energy conservation as a unifying principle in physics. *Journal of Science Education and Technology*, 18(3), 265-274.
- Tiberghien, A. (1996). Construction of prototypical situations in teaching the concept of energy. *Research in science education in Europe*, 100-114.
- Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In *Improving science education: The contribution of research*, 27-47.
- Tiberghien, A., Vince, J., & Gaidioz, P. (2009). Design-based Research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2275-2314.
- Tobin, K., & Tippins, D. (1993). Constructivism: A paradigm for the practice of science education. *The practice of constructivism in science education*, 3-21.
- Toulmin, Stephen (1999). Knowledge as shared procedures. In Yrjö Engeström, Reijo Miettinen & Raija-Leena Punamäki-Gitai (eds.), *Perspectives on Activity Theory*. Cambridge University Press. pp. 53--64.
- van den Akker, J. (1999). Principles and methods of development research. In J. van den Akker, N. Nieveen, R. M. Branch, K. L. Gustafson & T. Plomp (Eds.), *Design methodology and developmental research in education and training* (pp. 1-14). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers
- Verdu, R. y Martínez-Torregrosa, J. (2004). *La estructura problematizada de los temas y cursos de Física y Química como instrumento de mejora de su enseñanza y aprendizaje* (Resis doctoral, Universitat de València). Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/2782/1/tesis.pdf>
- Wong, D., y Pugh, K., (2001), *Learning Science: A Deweyan Perspective*, *Journal. of Research in Science Teaching*, 38(3) 317-336.
- Zuza, K. Almudi, J.M. Leniz, A., and Guisasola, J. (2014) Addressing students' difficulties with Faraday's law: A guided problem solving approach, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 10, 010122 .

- Zuza, K., Garmendia, M., Barragués, J. I., & Guisasola, J. (2016). Exercises are problems too: implications for teaching problem-solving in introductory physics courses. *European Journal of Physics*, 37(5), 055703
- Zuza, K., van Kampen, P., De Cock, M., Kelly, T., & Guisasola, J. (2018). Introductory university physics students' understanding of some key characteristics of classical theory of the electromagnetic field. *Physical Review Physics Education Research*, 14(2), 020117
- Zuza, K., De Cock, M., van Kampen, P., Kelly, T., & Guisasola, J. (2020) Guiding students towards an understanding of the electromotive force concept in electromagnetic phenomena through a teaching-learning sequence *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 020110
- Zuza, K., Sarriugarte, P., Ametller, J., Heron, P.R.L. y Guisasola, J. (2020) Towards a research program in designing and evaluating teaching materials: An example from DC resistive circuits in introductory physics. *Physical Review Physics Education Research* (aceptado para su publicación)