

Una propuesta de diseño y evaluación de secuencias de enseñanza-aprendizaje en Física: el caso de las leyes de Newton

A proposal for the design and evaluation of teaching-learning sequences in Physics: the case of Newton's Laws

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Jenaro Guisasola¹; Kristina Zuza¹ y Mikel Sagastibeltza¹

¹*DOPER Research Group, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), departamento de Física Aplicada, Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa, Plaza Europa 1; Donostia-San Sebastian, 20018.*

E mail: jenaro.guisasola@ehu.eus

(Recibido el 4 de octubre de 2019; Aceptado el 6 de diciembre de 2019)

Resumen

En este artículo presentamos una propuesta de diseño y evaluación de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje (SEA) para secundaria y Universidad. Se tienen en cuenta aportaciones relevantes en el diseño de secuencias de enseñanza fundamentadas en la metodología de Investigación Basada en el Diseño y discutiremos cómo las SEA, diseñadas según esta propuesta, se relacionan con la progresión de los estudiantes en el aprendizaje. Se presenta la metodología iterativa Investigación Basada en el Diseño que permite evaluar y rediseñar SEA. El contexto de nuestra implementación y evaluación es un innovador curso de física para estudiantes de primer año de Secundaria post-obligatoria en España. Se presenta la concreción de cada fase de la metodología de Investigación Basada en el Diseño (siglas en inglés DBR), explicando cómo se diseña la secuencia y cómo se evalúa. Los resultados obtenidos en el primer año de implementación son esperanzadores en cuanto al aprendizaje logrado por los estudiantes. Se analizan las fortalezas y debilidades de la SEA después de esta primera implementación.

Palabras clave: Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje, evaluación y rediseño de secuencias, Enseñanza de trabajo y energía, Física introductoria universitaria.

Abstract

We present a proposal for the design and evaluation of Teaching-Learning Sequences (TLS) at the high-school and university levels. Relevant contributions in the design of teaching sequences based on the Design-Based Research methodology are taken into account and the relation of these TLSs to students' learning is discussed. We present the iterative Design-Based Research methodology that allows TLSs to be evaluated and redesigned. The context of our implementation and evaluation is an innovative Physics course for students in the first year after post-compulsory Secondary education in Spain. It presents the concretion of each phase of the Design-Based Research (DBR) methodology, explaining how the sequence is designed and how it is evaluated. The results obtained in the first year of implementation are encouraging in terms of the learning achieved by the students. The strengths and weaknesses of the TLS are analyzed after this first implementation.

Keywords: Teaching-Learning Sequences, sequence assessment and re-design, teaching of work and energy, Introductory University Physics.

I. INTRODUCCIÓN

Desde los años 80 del siglo pasado la investigación en enseñanza de la física ha demostrado reiteradamente que los estudiantes no alcanzan el aprendizaje esperado. Los estudiantes de Secundaria y Universidad, a pesar de los años de escolarización, siguen teniendo concepciones alternativas a los científicos (Pfundt y Duit, 1994). A partir de estos trabajos, la investigación en Enseñanza de la Física ha desarrollado diferentes enfoques de enseñanza basados en la investigación. Una importante línea de investigación que se originó a principios de la década de, 1990 (McDermott y Shaffer, 1992; Gil y Carrascosa, 1994) se centra en el diseño y la evaluación de productos curriculares de mediana escala que cubren la enseñanza y el aprendizaje de un tema científico. Estos trabajos incluyen secuencias de actividades de enseñanza con

el objetivo de mejorar el aprendizaje de los estudiantes de temas específicos a nivel de pequeña escala (por ejemplo, algunas sesiones de enseñanza) o de nivel medio (una secuencia completa de lecciones sobre un tema en particular) pero generalmente no aborda el nivel a gran escala de un programa completo (de uno o varios cursos académicos). La literatura se refiere a actividades de enseñanza como Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje (en adelante SEA) (Meheut y Psillos, 2004). Una característica distintiva de la SEA es su carácter dual que implica tanto investigación como desarrollo, apuntando a un fuerte vínculo entre la enseñanza y el aprendizaje de un tema en particular.

Una SEA puede definirse en términos generales como "una actividad de investigación intervencionista y un producto, similar a una unidad curricular tradicional, que incluye actividades de enseñanza-aprendizaje bien investigadas y adaptadas empíricamente al razonamiento de los estudiantes" (Meheut y Psillos, 2004). Por lo tanto, el diseño de SEA refleja la interrelación entre el desarrollo de herramientas y entornos de aprendizaje y el desarrollo de la teoría. Esta interconexión es un proceso complejo y cíclico en el que los principios de educación general se aplican a la enseñanza de temas específicos en contextos específicos (Sebastiá y Martínez-Torregrosa, 2005; Lijnse, P. L. y Klaassen, 2004). En cada fase de desarrollo hay oportunidades para probar conjeturas sobre el aprendizaje de los estudiantes y para refinar esas conjeturas sobre la base de la experiencia, así como para rediseñar la propuesta de SEA. Como consecuencia, los investigadores han elaborado marcos de desarrollo, para ser utilizados por los diseñadores, como interfaces entre las grandes teorías y las necesidades asociadas con el desarrollo de una SEA sobre temas específicos. La mejora obtenida en la investigación basada en el uso de SEA, ha demostrado en algunos casos ser significativa, incluso para profesores con poca experiencia en el uso de SEA (Leach y otros, 2006, Martínez-Torregrosa y otros, 2016; Savinainen y otros, 2017).

Con el objetivo de diseñar e implementar una enseñanza de las ciencias más eficaz y acorde con las necesidades de la ciudadanía en un mundo globalizado y tecnológicamente avanzado, durante las tres últimas décadas, se han realizado muchas contribuciones sobre diversos modelos que permiten diseñar SEA en diferentes niveles educativos. Generalmente se estructuran como materiales educativos (Chevallard, 1991; Buty, Tiberghien y Le Maréchal, 2004; Tiberghien, A. Vince, J. Gaidioz, 2009) de temas científicos (a veces denominados "ciencia escolar") acompañados de indicaciones didácticas sobre cómo implementarlos, que pueden incluir conocimientos teóricos, resultados de investigaciones empíricas y el conocimiento tácito del profesor. Aunque la mayoría de estas propuestas se han situado en el marco social constructivista que ha dominado el campo de la educación científica e incluyen algunos resultados de la investigación comunes, como la conocida literatura sobre ideas alternativas de los estudiantes, presentan diferencias significativas (Méheut y Psillos, 2004). Desafortunadamente, no siempre se explicita la forma en que estas diferencias se derivan de los modelos teóricos fundamentales y, la elección de sus objetivos en relación con los resultados empíricos que se incluyen en las SEA no siempre están justificadas. Algunas de las propuestas de SEA en la literatura, aunque no todas, incluyen información sobre los resultados de aprendizaje obtenidos durante sus implementaciones. Si bien estos resultados pueden ser firmes defensores de su eficacia, en términos de mejorar el objetivo del aprendizaje científico, hay cuestiones no resueltas en relación con la evaluación de la SEA, que dificultan su impacto en la mejora de la enseñanza-aprendizaje científico y en el avance de la investigación en educación científica (Psillos y Kariotoglou, 2016). La diversidad de metodologías de evaluación que se encuentra en la literatura apunta a diferentes opiniones sobre cómo decidir sobre la efectividad de las SEA propuestas, por ejemplo, utilizando pre y post-test para el aprendizaje de los estudiantes (Andersson y Bach, 2005) o entrevistas y el análisis de las grabaciones de video en el aula para evaluar las opiniones de los profesores y la implementación de la SEA diseñada (Duit y otros, 2012). La mayor parte de la literatura de investigación sobre SEA se centra en la eficacia de la SEA diseñada en un contexto particular de aplicación¹ que, junto con la falta de marcos comunes de diseño y medios de evaluación, hace que cualquier generalización sea difícil. Además, la falta de conexión explícita entre estas evaluaciones y el proceso de diseño iterativo (Psillos y Kariotoglou, 2016) debilita aún más la generalización de los resultados. Como resultado de estas deficiencias, resulta difícil analizar las SEA propuestas de una manera que permita a la comunidad de enseñanza de las ciencias construir sobre ellas para mejorar sistemáticamente estos diseños. Esto ha hecho que el número de propuestas de enseñanza basadas en la investigación en revistas de reconocido prestigio sea reducido en comparación con otras líneas de investigación, por ejemplo, las dificultades de los estudiantes. Sin embargo, estamos de acuerdo con otros autores en que la literatura sobre el diseño de SEA ya constituye un importante cuerpo de conocimiento sobre el que nos hemos basado para hacer la propuesta que se presenta aquí (Davis y otros, 2014).

En este artículo se argumenta que para utilizar las SEA de manera eficiente, que permita aportar cono-

¹ Ver, por ejemplo, J. Guisasola, J. M. Almudí, M. Ceberio y Zubimendi, J. L. (2009), Designing and evaluating research-based instructional sequences for introducing magnetic fields. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(4), 699-722.; Méheut, M. (2004). Designing and validating two teaching-learning sequences about particle models. *International Journal of Science Education*, 26(5), 605-618.

cimientos teóricos y de investigación en la enseñanza de las ciencias, es fundamental desarrollar el diseño de las SEA como un programa de investigación y, por lo tanto, definir explícitamente la metodología de su diseño y evaluación. Como se ha mencionado anteriormente, la falta de metodologías bien definidas y explícitas para guiar el diseño y la evaluación de las SEA es un factor que dificulta el desarrollo de un programa de investigación en esta área. Aunque se pueden encontrar varias propuestas en la bibliografía (Juuti y Lavonen, 2006) que proponen algunas maneras de conectar la teoría y la práctica dentro de una perspectiva orientada al diseño, muchas de ellas son utilizadas solo por quienes las han propuesto o, en el mejor de los casos, por un pequeño grupo de investigadores. Por el contrario, coincidimos con aquellos investigadores que abogan por el uso de un enfoque metodológico denominado “Investigación Basada en el diseño” (*Design Based Research*, DBR siglas en inglés) como una metodología para el diseño y la evaluación de las SEA. Esta metodología está siendo utilizada por un número creciente de investigadores en educación (*Design-Based Research Collective*, 2003; Bell, 2004) de tal forma que la discuten y la perfeccionan. El DBR se ajusta a la necesidad mencionada de un enfoque metodológico más estandarizado para la investigación de las SEA. El DBR, como metodología, reconoce la importancia tanto de la teoría como de las intervenciones con el fin de abordar las situaciones educativas (Easterday y otros, 2014); por lo tanto, se adapta bien a las necesidades que se han identificado en el párrafo anterior, para poder llevar a cabo una investigación de SEA. Además, el DBR tiene muchos puntos en común con otras metodologías de diseño de SEA sugeridas en la bibliografía, lo que hace que sea una opción que se puede considerar para un marco general común que podría ser adaptado a diferentes propuestas específicas (Guisasola y otros, 2017).

Así pues, teniendo en cuenta las investigaciones en la línea de investigación en el diseño y evaluación de SEA, así como la metodología de investigación emergente en DBR, la pregunta de investigación que guía el proyecto que presentamos es:

¿En qué medida la metodología DBR mejora el diseño, la evaluación y el refinamiento de las SEA para el caso de las leyes de Newton en estudiantes de bachillerato?

Para responder a la pregunta de investigación, en la siguiente sección explicamos brevemente en qué consiste la metodología DBR para el diseño y evaluación de SEA. A continuación, aplicamos la metodología DBR al diseño y evaluación de secuencias de enseñanza-aprendizaje al tema de las Leyes de Newton para estudiantes de 16-17 años de enseñanza secundaria en España. En el siguiente apartado, se presentan los primeros resultados de este proyecto de investigación en desarrollo. Finalmente realizamos una discusión en relación con la pregunta de investigación.

II. LA METODOLOGÍA “DISEÑO BASADO EN LA INVESTIGACIÓN” (DBR)

En este estudio hemos seguido las tres grandes fases de la metodología DBR: a) Contexto y Diseño; b) Implementación y c) Evaluación y rediseño; ya que reúne elementos comunes a muchas propuestas DBR (Easterday y otros, 2014). En este apartado presentamos cómo concebimos cada una de las fases, qué tipo de información y herramientas de diseño introducimos en cada una de las fases, así como algunos ejemplos de nuestro trabajo sobre la SEA sobre las leyes de Newton. Hay que tener en cuenta que estas fases “no se llevan a cabo de forma lineal sino de forma iterativa” (Easterday y otros, 2014, p. 321) y, por lo tanto, indicaremos cómo las diferentes fases se relacionan unas con otras durante el proceso.

De todos los elementos de la teoría y la investigación empírica que hemos incluido en la fase de Contexto y Diseño, se considera que los elementos que son críticos para el éxito del proceso y los que merecen una mayor investigación, son: la influencia del contexto de aplicación de la SEA, la definición y uso de herramientas de diseño (Amettler, Leach, y Scott, 2007; Zuza, Almudi, Leniz, y Guisasola, 2014) y su conexión con “los problemas principales” (Osuna y otros, 2007).

En el análisis del Contexto se define el grupo de estudiantes al que va dirigido, el tema y el alcance del proyecto. Se describen la mayor parte de los elementos contextuales de los que depende el alcance de la SEA y el valor, en términos de potencial de aprendizaje, de los temas elegidos. A continuación, se profundiza en la estructura del tema a enseñar y posibles dificultades de aprendizaje en los estudiantes. En nuestra propuesta en esta fase coordinamos las siguientes herramientas didácticas de diseño (ver tabla I):

- Análisis epistemológico del contenido científico que se pretende enseñar. Se utiliza la estructura interna del conocimiento científico sobre la historia de la ciencia y la naturaleza de la ciencia para definir su construcción en entornos educativos. El resultado es un conjunto de componentes conceptuales justificados que deben ser articulados por los estudiantes para construir las ideas claves del contenido de la SEA.

- Demandas de aprendizaje: Una vez identificados los contenidos que se deben aprender se utiliza esta herramienta de diseño (Leach y Scott, 2002) que analiza las diferencias ontológicas y epistémicas entre las preconcepciones de los estudiantes (Gutiérrez-Berraondo y otros, 2018) y el contenido científico a

enseñar definido a través del análisis epistemológico. Estas diferencias guiarán el esquema didáctico de la SEA indicando el tipo y los grados de dificultad que podemos esperar que los estudiantes tengan.

En la fase de diseño la definición clara y explícita de los objetivos de aprendizaje es clave si queremos evaluar los logros obtenidos y que los resultados de la evaluación de la SEA sean válidos para futuros diseños. A continuación, se diseña una primera propuesta de la secuencia a implementar. En esta fase se generan los documentos que se necesitan para la implementación de la SEA, normalmente se incluyen materiales de trabajo, basados en el análisis epistemológico y las demandas de aprendizaje, pautas de evaluación relacionadas con los objetivos de aprendizaje definidos, y el material para los profesores con información sobre el uso de los materiales de trabajo. No todos los aspectos de estos materiales se derivan directamente del análisis anterior y, por lo tanto, es importante informar a los profesores que los vayan a usar qué aspectos son referentes de la teoría y la investigación y, cuáles son aportaciones personales de los diseñadores basadas en su Conocimiento Pedagógico del Contenido.

Tabla I. Fase de Contexto y 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
Objetivos de aprendizaje	Dificultades de aprendizaje y Demandas de aprendizaje	Estrategias de enseñanza
Construyendo tareas específicas que conducen a una propuesta de trayectoria de aprendizaje		
Actividades de la SEA		
Guía del profesorado para la implementación de la SEA		

En la metodología DBR, la implementación es la parte donde se aplica el material en el aula. En la fase Evaluar de la metodología DBR, la etapa de evaluación implica un proceso iterativo que lleva a cabo pruebas durante todo el proceso de diseño y rediseño. En nuestra propuesta, el diseño de las SEA se valida empíricamente (ver tabla II), a través de dos dimensiones (Nieveen, 2009):

- Análisis de la calidad de la secuencia que implica: a.1) Dificultades de implementación que incluyen aspectos problemáticos de la secuencia en relación con la claridad de la actividad para su realización por los estudiantes. a.2) Dificultades relacionadas con el tiempo de ejecución de la secuencia; y a.3) Dificultades al diseñar nuevas actividades con contenidos innovadores.

- Análisis del aprendizaje logrado, que incluye: b.1) entender los conceptos, teorías y modelos; y b.2) Adquirir habilidades propias de la metodología científica para superar las dificultades de aprendizaje y comprender los objetivos de aprendizaje.

Tabla II. Análisis retrospectivo. Instrumentos para el desarrollo iterativo del TLS.

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	- Cuestionarios sobre la comprensión de conceptos y leyes	- Redefinición de temas de escritura, analogías, enfoque, ... - Rediseño de la secuencia de actividades.
b.- Cuaderno del estudiante	- Cuestionarios de problemas sobre comprensión de leyes y adquisición de habilidades científicas	- Rediseño de figuras, gráficos, ... - Rediseño de los requisitos previos de la secuencia y sus actividades.
c.- Informe observadores externos		- Cambios de formato (hojas de trabajo, clics, documentos de trabajo de grupo, ...)

Otra importante dificultad en la generación de conocimiento de esta línea de investigación, que es relevante para la enseñanza y la innovación docente, es que, durante la implementación, los profesores realizan cambios en el diseño de las SEA, y esto en algunos casos puede afectar a los objetivos y los planteamientos originales en los que se fundamenta la SEA. Cuando los cambios afectan a los objetivos de aprendizaje de la SEA, aparecen problemas importantes en la evaluación del aprendizaje logrado (Pintó, 2005). Además, existe mucha investigación sobre la forma de pensar de los profesores (Furió y Carnicer, 2002; Schoenfeld, 2002) que muestra que tienen una actitud positiva hacia los resultados obtenidos en la investigación en didáctica, pero que les cuesta cambiar su práctica docente, si las propuestas de esa investigación no resuelven, al menos parcialmente, algunos de los problemas en el proceso de enseñanza que

tienen en su práctica diaria en el aula. Los profesores mencionan que su práctica docente está fuertemente influenciada por sus compañeros, libros de texto y otros materiales didácticos utilizados en sus clases. Teniendo en cuenta estos resultados, una herramienta didáctica que podría ser útil es la "Guía para los profesores". Esta guía, diseñada como parte de la SEA, debe contener, como mínimo, una descripción detallada de los contenidos científicos y los elementos relacionados con la naturaleza científica de la SEA. Además, la guía debería contener otros dos elementos esenciales: una descripción detallada de los objetivos de aprendizaje deseados, las prácticas de enseñanza y las actividades clave que aseguran el cumplimiento de los objetivos de aprendizaje, y una descripción de los recursos docentes que se requieren para implementar la innovadora SEA (Fishman y Krajcik, 2003).

III. DISEÑO DE UNA SEA PARA EL TEMA “LEYES DE NEWTON” EN ENSEÑANZA SECUNDARIA

Esta sección ofrece una visión general del diseño realizado, mostrando cómo el análisis epistemológico y cognitivo subyace en las opciones de diseño. En primer lugar, se muestra cómo las herramientas didácticas definidas nos permiten definir de forma fundamentada los objetivos de aprendizaje y las posibles dificultades. En nuestro caso, se ha seguido este proceso para llevar a cabo el diseño de la SEA en el contexto de un curso de física para estudiantes de primer año de Secundaria Post-obligatoria (16-17 años) en el País Vasco.

En el análisis del contexto educativo, el diseño de la SEA se ubica en el primer curso de Bachillerato español (16-17 años), para estudiantes de la especialidad de ciencias naturales y tecnología, en la asignatura de Física (un semestre) y Química (un semestre) con docencia de cuatro horas a la semana. Esto implica respetar el programa del curso para este nivel educativo que contempla contenidos relacionados con fuerza como interacción, naturaleza vectorial de la fuerza, Leyes de Newton, tipos de fuerzas, ley de Newton y dinámica de movimiento circular. El currículo oficial contempla como criterios de evaluación para la comprensión de los contenidos: Ser capaz de identificar las fuerzas que influyen en un cuerpo como un vector, explicar la fuerza como interacción, saber relacionar la fuerza con la aceleración, resolver desde una perspectiva dinámica situaciones que incluyan movimientos en planos horizontales e inclinados, saber justificar desde un punto de vista dinámico el movimiento circular. Ser capaz de resolver problemas de dinámica. Así mismo, hay acuerdo en que los estudiantes de primero de Bachillerato para los Centros educativos en los que se aplica la SEA, tienen un nivel de comprensión estándar, con las dificultades e ideas alternativas que se indican en la bibliografía en Enseñanza de la Física para estudiantes de 16-17 años. Los estudiantes de los Institutos contemplados proceden de un nivel socio-económico medio, sin características sociales especiales.

A. Definición de los objetivos de aprendizaje

El análisis del contexto de descubrimiento de las leyes de Newton y de los problemas que los científicos tuvieron que superar hasta la definición actual del concepto de fuerza y sus propiedades en la mecánica clásica, para un nivel educativo de 16-17 años, nos indican que el concepto de fuerza es una magnitud que mide la interacción entre dos cuerpos. No existe fuerza sin la presencia de al menos dos cuerpos que interactúan y, además, la interacción es mutua y de la misma magnitud y dirección, aunque sentido contrario (3° ley de Newton). La magnitud fuerza está relacionada con el cambio de movimiento de los cuerpos, es decir, con la aceleración (segunda ley de Newton) (Coelho, 2010; Eisenbud, 1958; Ellis, 1962).

En la teoría física se definen cuatro tipos de fuerzas fundamentales: interacción gravitacional, fuerza electromagnética, energía nuclear débil y energía nuclear fuerte. La teoría de Einstein de la gravitación general, sugiere que la gravedad no es una fuerza, pero en el contexto Newtoniano se acepta esta interacción como fuerza gravitatoria y así la definimos en la SEA. Por otro lado, no profundizaremos en las fuerzas nucleares en la SEA, porque no son parte del plan de estudios del contexto para el que se enseña la SEA (Coelho, 2012; Stinner, 1994). En la física clásica se define la interacción gravitatoria como la atracción entre dos cuerpos debido a la propiedad “masa” de los cuerpos. La masa se considera como la propiedad de los cuerpos a oponerse al cambio de movimiento o a su capacidad para atraerse (1° ley de Newton).

En la teoría clásica se evidencia la fortaleza del concepto de Fuerza cuando se construye el concepto de “fuerza resultante” para el caso de varias fuerzas aplicadas sobre un mismo cuerpo, definiendo el Principio de Superposición. Este principio muestra el carácter ‘direccional’ de las interacciones y su aplicación cuantitativa exige la comprensión de la naturaleza vectorial del concepto Fuerza (Chabay y Sherwood, 2011).

De acuerdo con lo anterior, el análisis epistemológico destaca seis ideas clave para el nivel de ense-

ñanza en que se define la SEA:

C.1. El concepto de fuerza es una medida de la interacción entre dos cuerpos A y B. Por tanto, un cuerpo aislado no puede experimentar una fuerza.

C2. La fuerza ejercida por el cuerpo A tiene exactamente la misma magnitud que la ejercida por el cuerpo B, y son simultáneas (3 Ley de Newton).

C3. En la interacción entre dos cuerpos A y B, la fuerza ejercida por A sobre B, es exactamente en la dirección opuesta a la ejercida por B sobre A. Carácter vectorial de la fuerza.

C4. Las fuerzas ejercidas sobre un cuerpo producen deformación o aceleración.

C5. La 2º Ley de Newton relaciona la fuerza ejercida sobre un cuerpo y la aceleración que adquiere a través de la magnitud masa inercial.

C6. La dinámica del movimiento circular exige la comprensión de la naturaleza vectorial de la fuerza y la aceleración.

Estas ideas claves son el fundamento de los objetivos de aprendizaje que se definen para la SAE (ver tabla III). De forma que los objetivos de aprendizaje están justificados no sólo por el currículo o la tradición en enseñanza secundaria, sino también por los argumentos que la epistemología de la Física justifica como imprescindibles para construir un modelo científico de la dinámica del mundo.

Al mismo tiempo, se han tenido en cuenta las dificultades de los estudiantes en relación a las ideas claves que han sido encontradas en la revisión bibliográfica realizada (Arons, 1990; Hestenes y otros, 1992; Hierrezuelo y Montero, 1991; Carrascosa y otros, 2017; Hewitt, 2002). Un resumen de las dificultades encontradas y su relación con los objetivos de aprendizaje se puede ver en la tabla III.

Tabla III. Estructura del diseño de los objetivos de la SEA.

Ideas clave (Epistemología)	Objetivos de aprendizaje (análisis contexto-curriculo)	Dificultades de aprendizaje (investigación)	Demanda de aprendizaje
C1; C2; C3; C4	O1.1. Comprender las fuerzas como interacciones entre dos cuerpos. O1.2. Se ejercen de igual magnitud y sentido contrario (3ª ley) O1.3. Naturaleza vectorial de la fuerza y Saber aplicar el concepto a realizar diagramas de fuerzas.	- Dificultad para trabajar con vectores - Objetos con masa grande hacen más fuerza - Sólo las fuerzas que se notan hacen fuerza - Las fuerzas de rozamiento llevan los cuerpos al reposo	Media Media Baja Alta
C4; C5; C6	O2. Saber definir el sistema donde se aplican las fuerzas y saber relacionar fuerza y aceleración O.3. Aplicar las leyes de newton al movimiento circular. O4. Habilidades para resolver problemas utilizando procedimientos científicos: plantear problemas, emitir hipótesis, analizar datos, contrastar resultados ...	- La idea de ímpetu para el movimiento de los cuerpos. - Objetos con masa grande hacen más fuerza - Sólo las fuerzas que se notan hacen fuerza - Las fuerzas de rozamiento llevan los cuerpos al reposo. - La fuerza y la velocidad son proporcionales - La última fuerza aplicada condiciona el movimiento - Dificultades para comprender gráficos.	Alta Media Baja Alta Alta Baja Media

B. Diseño de las actividades y estrategias de enseñanza

A continuación, se definen las actividades en torno a varios problemas principales cuya resolución nos permitirá avanzar en el aprendizaje de los objetivos definidos. La resolución de los problemas principales es guiada por el profesor a través de actividades que permiten a los estudiantes no sólo poner a prueba su conocimiento sino practicar procedimientos científicos que permiten utilizar con sentido los conceptos y leyes implicados. Se han definido dos problemas principales:

- ¿Qué es una fuerza? ¿Cómo podemos representarla y medirla?
- ¿Qué relación existe entre las fuerzas y el movimiento? ¿Cómo podemos medir la relación?

Estos problemas definen una trayectoria de aprendizaje que difiere del orden de presentación de contenidos que normalmente se presentan en los libros de texto: I) La fuerza como interacción; II) Tercera ley de Newton y carácter vectorial de la fuerza; III) Relación entre fuerzas y el movimiento de los cuerpos; IV) Análisis de situaciones dinámicas en la naturaleza.

A continuación, se indican, a modo de ejemplo, dos actividades relacionadas con el primer problema principal y en particular, el objetivo 1 de la tabla III.

B.1. La fuerza como interacción

1. Una caja encima de una mesa. Elige la opción que describa de la mejor forma las fuerzas que actúan en esta situación:

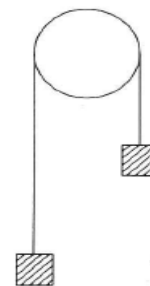
- a) Fuerza gravitatoria ejercida por la tierra en el centro de la caja hacia abajo.
 - b) 'No hay fuerzas'
 - c) Fuerza gravitatoria ejercida por la tierra en la caja hacia abajo y la fuerza ejercida por la mesa en el centro del centro de la caja hacia arriba.
2. Un pájaro volando. Elige la opción correcta.
- a) El pájaro no hace fuerza a la Tierra.
 - b) La misma fuerza que la Tierra ejerce al pájaro, ejerce el pájaro a la Tierra.
 - c) El pájaro ejerce una fuerza a la Tierra, pero no de la misma magnitud que la Tierra ejerce al pájaro.
3. Una persona lanza una pelota hacia adelante. ¿Qué fuerza actúa sobre la pelota, cuando todavía está en el aire?
- a) La fuerza de gravedad que ejerce la Tierra y la fuerza que hace la persona.
 - b) La fuerza de gravedad que ejerce la Tierra y la fricción que ejerce el aire.
 - c) La fuerza de gravedad que ejerce la Tierra, la fuerza que hace la persona y la fricción que ejerce el aire.

El objetivo de la actividad es que los estudiantes comprendan que la fuerza es el resultado de la interacción a distancia o por contacto entre dos cuerpos. En los casos 1) y 3) se trabaja también el principio de superposición. En el caso 2) se trabaja el principio de acción y reacción. En la actividad siguiente, se trabaja también el objetivo 1.

B.2. Interacción entre dos cuerpos

Discute que fuerzas toman parte en las siguientes situaciones:

- a) Dos canicas cargadas eléctricamente
- b) Una canica cargada eléctricamente y otra sin cargar
- c) Una polea con una caja en cada lado, en posición asimétrica (ver figura).



De acuerdo con una perspectiva social-constructivista del aprendizaje, la estrategia de enseñanza consiste en plantear situaciones a los estudiantes, con instrucciones que los guíen para encontrar soluciones. La solución debe lograrse de acuerdo con las prácticas científicas que queremos que el alumno conozca (Guisasola y otros, 2009; Zuza y otros, 2014). La SEA con estrategias de enseñanza activa, proporciona un contexto de aprendizaje interactivo que tiene cuatro características: (1) Los estudiantes se organizaron en grupos de tres o cuatro, trabajando de forma cooperativa; (2) La SEA está estructurada alrededor de varios problemas principales cuya resolución ayuda a los estudiantes a lograr el aprendizaje deseado; (3) en cada problema principal, hay una serie de actividades que guían a los estudiantes para resolver el problema. Tienen oportunidades para tomar decisiones discutidas en el grupo pequeño; (4) Se discuten todas las formas de resolver la tarea, guiadas por el profesor, y se formula un resumen en el aula. La principal diferencia entre las discusiones de pequeña y gran escala es que, en la primera, el maestro anima a los estudiantes a trabajar en habilidades para resolver problemas, mientras que en la segunda se argumenta sobre las decisiones tomadas en el grupo pequeño.

La resolución de las actividades exige que los estudiantes practiquen habilidades propias de la práctica científica. Enfrentarse a la resolución de las actividades de la SEA evitará que los estudiantes comiencen por manipular fórmulas, datos e incógnitas, que es una actitud típica del operativismo ciego ("ensayo y error"). Al contrario, se espera que: a) comiencen a abordar el problema con un enfoque cualitativo, es decir, con una descripción de cuál es el problema, y formulen lo que buscan en términos físicos y ma-

temáticos lo que buscan; b) Justifiquen su estrategia de solución antes de intentarlo; c) Alcancen la solución como la implementación de la estrategia propuesta, siempre explicando y verbalizando lo que hacen; d) Discutir los resultados. Los estudiantes completan las actividades en pequeños grupos, discutiendo y planteando preguntas sobre el contenido de la actividad, utilizando un estilo interactivo que emula el aprendizaje como “investigación orientada” (Zuza y otros, 2014; Guisasola y otros, 2008).

IV. IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA SEA

En esta sección presentaremos cómo fue implementada la SEA y algunos de los resultados obtenidos.

A. Implementación en el aula

Una vez completado el diseño de la SEA se presentó a tres profesores de primero de Bachillerato (16-17 años) que se ofrecieron voluntarios para implementarla en sus aulas. En la discusión que siguió a la presentación de la estructura del diseño de la SEA, los profesores resaltaron la importancia de comprender la naturaleza de la fuerza como interacción y la importancia de definir el sistema (objetivo 1). La mayoría de los profesores basándose en su experiencia, piensan que la demanda de aprendizaje en la "Comprensión de gráficos" es alta, no media. La comprensión de gráficos y esquemas exige a los estudiantes obtener información, utilizar unidades apropiadas, hacer cambio de unidades. Así mismo, en relación a la naturaleza vectorial de la fuerza y la relación entre fuerza y aceleración, los profesores opinan que los estudiantes tienen dificultades no sólo de representación de vectores, sino de interpretación de las fuerzas y aceleraciones como vectores. Proponen que la demanda de aprendizaje sea considerada alta. Según su experiencia, los estudiantes tardan a asimilar la forma vectorial de representación de fenómenos dinámicos.

Una vez discutida la estructura del diseño de la SEA, se pasa a presentar y discutir las actividades que forman la Secuencia. En relación con el orden de presentación, el contenido se estructura en torno a dos problemas principales, el concepto de fuerza como interacción por un lado y, por otro, la relación fuerza y movimiento. Como ya hemos comentado en la estructura del diseño, estos dos problemas generales están relacionados con los objetivos de aprendizaje definidos.

Los tres profesores de Secundaria que implementaron la SEA expresaron sus dificultades en aplicar estrategias de enseñanza que guíen a los estudiantes en las prácticas científicas y propusieron realizar con el equipo de investigación un seminario sobre estrategias de enseñanza activa aplicado a las actividades que debía implementar. Se realizó un seminario de 4 horas de duración, donde se discutieron estrategias tipo, tales como *Peer Understanding*, *Flipped Classroom* o Resolución de Problemas Guiada. Después de la implementación los tres profesores evaluaron muy positivamente el seminario, como una herramienta de aprendizaje concretada en el material didáctico implementado.

B. Evaluación de la implementación y resultados

Como proyecto orientado a la obtención de un producto, una de las características esenciales en los proyectos de diseño de la SEA, es su evaluación y el rediseño de la secuencia de enseñanza basada en los datos empíricos que se obtienen durante la implementación. El diseño de la SEA debe ser confrontado empíricamente durante la evaluación de la propia propuesta y los resultados de aprendizaje alcanzados por los estudiantes. La metodología DBR identifica en qué momento se necesita evaluar la consecución de los objetivos que guían el diseño (fase: evaluar) y la necesidad de articular dichos resultados en el rediseño de la propuesta, lo que está abierto es la elección de las herramientas más adecuadas en cada contexto.

De acuerdo con lo comentado en la tabla II para la evaluación de la primera dimensión (evaluación de la propuesta) se utilizan herramientas cualitativas como el “diario del profesor”, el “análisis de los informes de trabajo de los grupos de estudiantes” y “el informe de los evaluadores externos”. El "diario del profesor" es un diario de clase que los profesores usan cuando implementan la SEA para comunicarse con otros investigadores de cómo han aplicado la SEA en sus clases. Según Carr y Kemmis (1986), este diario permite a los profesores mejorar su comprensión de su clase, su aplicación y el contexto en el que se aplica. Esta herramienta es particularmente útil para describir "problemas prácticos", entendidos como situaciones conflictivas o dialécticas que tienen lugar durante situaciones didácticas específicas (Zabalza, 1991). La herramienta de evaluación "Informe de evaluadores externos" es un informe que se realiza por un miembro del equipo de investigación de lo que observa en el aula al comprobar si el profesor cumple con los objetivos planteados en las actividades de la SEA. Se hacen informes de algunas clases y a los profesores no se les informa de qué clases van a observar.


En la segunda dimensión del análisis del aprendizaje, se emplean herramientas de investigación cuantitativas, tales como: cuestionarios de preguntas abiertas para la comprensión de los conceptos y las teorías (cuestionarios pre y post para grupos control y experimental), pruebas que incluyen problemas para el aprendizaje de leyes y la adquisición de habilidades científicas (post-test para el grupo experimental).

A partir de los datos obtenidos, se detectan aspectos problemáticos de las actividades. Una vez realizado el análisis de resultados, se definen los tipos de dificultades que presentan los estudiantes (dificultades metacognitivas, dificultades de aprendizaje relacionadas con la interpretación y comprensión de la información...) y se procede a introducir modificaciones en las actividades y su secuenciación. También se mide el aprendizaje obtenido por los estudiantes en relación a los objetivos de aprendizaje previamente definidos.

El análisis de datos permite rediseñar la SEA de acuerdo con las dos dimensiones que se quieren evaluar. De esta forma, los resultados de la evaluación pueden influir en aspectos de rediseño de la SEA tales como: re-elaboración de cuestiones en la redacción, analogías utilizadas y el enfoque general de la SEA; re-secuenciación de las actividades planteadas; re-elaboración de imágenes y figuras; volver a definir los requisitos previos de la secuencia y sus actividades; modificación del formato (cuestionarios, clicker), etc. El análisis de los resultados proporciona la retroalimentación sobre la validez de SEA y sus supuestos teóricos. Esto mejora la probabilidad de encontrar un diseño efectivo que se pueda verificar tras la evaluación final. En este artículo presentamos resultados de la primera implementación de la SEA, ya que se trata de un proyecto en construcción y este curso académico se aplicará la SEA rediseñada.

En la evaluación de la comprensión conceptual de los estudiantes, recogemos las progresiones y dificultades relacionadas con los objetivos de aprendizaje definidos en la tabla III, mediante los instrumentos cuantitativos como el pre y post-test. El objetivo es evaluar su aprendizaje para poder detectar los puntos débiles del diseño de la actividad o de la secuencia de actividades. Mostraremos un ejemplo relacionado con los objetivos de aprendizaje O1.1 y O1.3. Estos son objetivos con los que los estudiantes de cursos introductorios de física presentan serias dificultades de aprendizaje (Galili y Tseitlin, 2003). Por lo tanto, estamos interesados en saber si las actividades incluidas en la SEA logran mejorar el aprendizaje de estos objetivos. Para hacerlo, utilizamos varias cuestiones de una prueba realizada por los estudiantes antes y después de la implementación de la SEA. Un ejemplo se presenta a continuación (ver tabla IV).

Tabla IV. Relación entre las Cuestiones Q1 y Q5 y los objetivos de aprendizaje

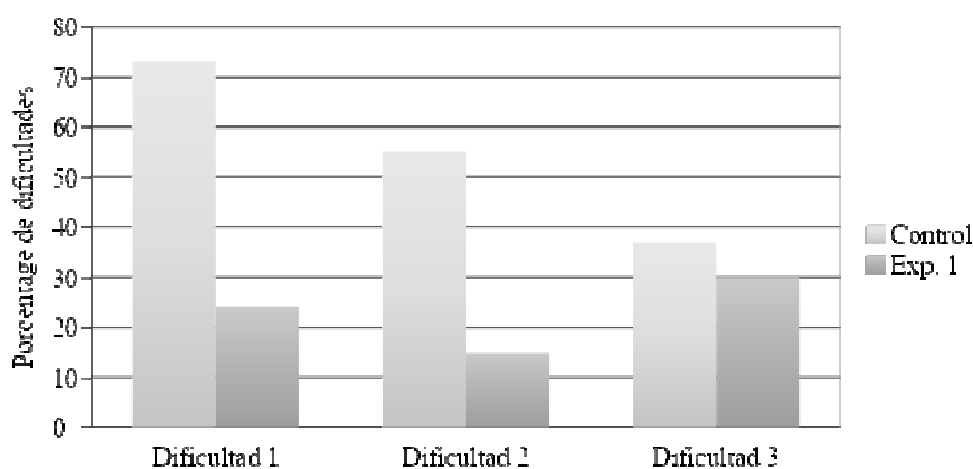
Cuestión	Objetivos
<p>Q1.- Un conejo está corriendo escapando de un águila que lo sobrevuela. Ha saltado en vertical para sortear un tronco. Al poco de saltar, el conejo va hacia arriba, ¿qué fuerzas están actuando sobre el conejo? Dibuja las fuerzas y explica.</p> 	<p>O1.1 O1.2 O1.3</p>
<p>Q5. Una caja se está moviendo a velocidad constante positiva sobre una superficie con rozamiento, ya que la suma de fuerzas sobre la caja es cero. A continuación, se aplican dos fuerzas externas y constantes sobre la caja. La mayor actúa en el sentido del movimiento y la menor en contra. Después de un intervalo de tiempo la fuerza positiva deja de actuar sobre la caja, ¿Qué pasará con el movimiento de la caja?</p>	<p>O1.1 O1.3</p>

La tabla V muestra los resultados de las cuestiones tras la implementación de la SEA en uno de los grupos experimentales ya que, en los otros dos grupos, en uno no se pudo pasar el pre-test y en el otro el post-test por razones de contexto académico. Se presentan resultados de respuestas correctas a las cuestiones. En la primera columna, la media de los resultados del pre-test para tres grupos (uno experimental y dos de control) durante el curso, 2018-19 en que se realizó la primera implementación de la SEA. La segunda columna muestra la media de los resultados del post-test de los dos grupos de control, ya que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. La tercera columna muestra los resultados del post-test del grupo experimental para el primer año de implementación de la SEA. Encontramos un aumento significativo en las explicaciones correctas al usar la SEA en relación a la enseñanza tradicional, lo cual fue gratificante, porque estábamos buscando resultados para más de la mitad de la muestra.

Tabla V. Porcentaje de respuesta positivas en el pre y post-test de los grupos de control y el experimental.

Cuestión	Pre-test (N=87)	Post-test Control (N= 52)	Post-test Exp. 1 (N=35)
Q1	6,0%	19,0%	60,5%
Q5	13,0%	34%	72,0%

El análisis de las respuestas no se limitó a discriminar si eran correctas o incorrectas, sino que se analizaron las dificultades de aprendizaje que presentaban los estudiantes en relación a la revisión realizada. En particular, en la cuestión Q1 se detectó un porcentaje significativo de los estudiantes que presentaban un modelo de fuerza similar al de “ímpetu” referenciado en la bibliografía (dificultad D.1). En la cuestión Q5 un número significativo de estudiantes presentaban, además de la dificultad D1; dificultades con la naturaleza y significado de la fuerza de rozamiento (dificultad D.2) y con la naturaleza vectorial de la Fuerza (dificultad D.3). En la gráfica 1 se puede ver los resultados obtenidos para los grupos de control y el experimental.

**FIGURA 1.** Resultados de dificultades de aprendizaje detectadas en las cuestiones Q1 y Q5. En relación a la dificultad D1; que aparece en las dos cuestiones, se han sumado los porcentajes de respuestas que explícitamente se refieren a dicha dificultad.

Los resultados obtenidos indican que la implementación de la SEA implica que las dificultades de aprendizaje establecidas en la literatura disminuyen significativamente para D.1 y D.2. en el caso de la naturaleza vectorial de la Fuerza, la disminución es pequeña y nos indica que será necesario re-diseñar algunas actividades de la SEA. Además, es necesario analizar las diferentes herramientas que se han utilizado para recoger datos: el diario del profesor, los cuestionarios y los clics, y los pre-test y post-test. La triangulación de los datos recogidos con estos tres tipos de herramientas se utiliza para tomar decisiones en relación al rediseño y elaboración de la nueva SEA que se aplicarán en cursos académicos posteriores.

V. DISCUSIÓN

Las propuestas de diseño de SEA que encontramos en la literatura constituyen un modelo de conocimiento, pero a pesar de su tendencia hacia una creciente explicitación en el proceso seguido para el diseño de SEA (Psillos y Kariotoglou, 2016; Kortland y Klaassen, 2010; Anderson y Shattuck, 2012), la mayoría de estas propuestas aún no proporcionan un enfoque basado en el diseño con un claro proceso iterativo. El ejemplo de diseño que hemos presentado en este documento se basa en gran medida en estas propuestas existentes, pero nos hemos centrado en ejemplificar el uso de una metodología DBR que sugerimos podría usarse como un marco metodológico general para diferentes áreas de conocimiento. Con respecto a la pregunta de investigación, los resultados sugieren que usar DBR como metodología para diseñar, implementar y evaluar una SEA puede ser útil para mejorar el diseño y el rediseño de la SEA. Además, este estudio proporciona a la comunidad de profesores y diseñadores una propuesta viable de metodología común para el diseño, implementación y evaluación de la SEA que puede facilitar el poder comparar diferentes materiales de SEA. Creemos que la implementación general de una evaluación sistemática de

SEA proporcionaría a los diseñadores soluciones empíricamente fundamentadas para utilizar durante el diseño de futuras SEA. Este proceso de construir sobre soluciones conocidas a problemas comunes ayudaría a determinar cuál es la SEA más eficiente para un tema dado en un contexto dado, así como a determinar mejor las dificultades aún por resolver.

En este artículo, nos hemos enfrentado al problema de la relación entre la evaluación de las SEA y su diseño iterativo. A través de nuestra propuesta de diseño general siguiendo el DBR y con ejemplos específicos de nuestra investigación, hemos demostrado cómo se diseñó y evaluó nuestra SEA y cómo se utilizó esta evaluación en el proceso de diseño iterativo. Nuestro enfoque de evaluación nos ha permitido mostrar mejoras significativas sin tener que depender de un tratamiento estadístico.

No consideramos las SEA como una solución integral para la educación científica. Hemos limitado deliberadamente nuestras propuestas de diseño a elementos con suficiente respaldo de investigación para ser aceptados en la comunidad como elementos de diseño comunes. Dichos elementos constituyen las herramientas de diseño que se incluirán en una metodología DBR para el diseño de materiales, que no equivaldrán, por sí solos, a una SEA completa. El resultado final requerirá tomar decisiones contextuales tanto con respecto al uso de herramientas de diseño como a la implementación de las SEA resultantes, entendidos como ejemplos específicos de una SEA más genérica para un tema en particular.

En resumen, en este documento hemos desarrollado una forma de utilizar DBR como metodología para el diseño de SEA y hemos proporcionado un ejemplo trabajado siguiendo esta metodología con un enfoque particular en su diseño y evaluación. No sugerimos que éste sea un resultado final, pero esperamos que sea una contribución fructífera para cambiar lo que ahora es un área de investigación significativa, pero dispar en un programa de investigación que pueda constituir un componente central del campo de la Educación en Ciencias.

REFERENCIAS

- Ametller, J., Leach, J., y Scott, P. (2007). Using perspectives on subject learning to inform the design of subject teaching: an example from science education. *Curriculum Journal*, 18(4), 479–492.
- Andersson, B. y Bach, F. (2005). On designing and evaluating teaching sequences taking geometrical optics as an example. *Science Education*, 89(2), 196–218.
- Anderson, T. y Shattuck, J. (2012). Design based research: A decade of progress in education research? *Educational Researcher*, 41(1), 16–25.
- Arons, A. B. (1999). Development of energy concepts in introductory physics course. *American Journal of Physics*, 67(12), 1063–1067.
- Bell, P. (2004). On the theoretical breadth of design-based research in education. *Educational Psychologist*, 39(4), 243–253.
- Buty, C., Tiberghien, A., y Le Maréchal, J. (2004). Learning hypotheses and an associated to design and to analyze teaching learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), 579–604.
- Carr, W. y Kemmis, S. (1986). Becoming critical. In *Education, knowledge and action research*. London: Falmer.
- Carrascosa Alís, J., Perales, E., Rey Cubero, A., y Rosa Cintas, S. (2017). La enseñanza de las fuerzas. Dificultades y orientaciones en educación secundaria.
- Chabay, R. W. y Sherwood, B. A. (2011). *Matter and Interactions* vol I, 3° ed. John Wiley & Sons.
- Chevallard, Y. (1991). *La trasposition didactique (Didactical transposition)* (2nd ed.). Grenoble, France: La Pensée Sauvage.
- Coelho, R. L. (2010). On the concept of force: How understanding its history can improve physics teaching. *Science & education*, 19(1), 91.
- Davis, E., Palincsar, A. S., Arias, A. M., Bismack, A. S., Marulis, L., y Iwashyna, S. (2014). Designing educative curriculum materials: A theoretically and empirically driven process. *Harvard Educational*

Review, 84(1), 24-52.

Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.

Duit, R., Gropengieber, H., Kattmann, K., Komorek, M., y Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction- A Framework for Improving Teaching and Learning Science. En D. Jorde y J. Dillon (Eds.), *Science Education Research and Practice in Europe Retrospective and Prospective* (pp. 13-38). Rotterdam, The Netherland: Sense Publishers.

Easterday, M., Rees Lewis, D., y Gerber, E. (2014). Design-based research process: Problems, phases and applications. En J. L. Polman, E. A. Kyza, D. K. O'Neill, I. Tabak, W. R. Penuel, A. S. Jurow, ... L. D'Amico (Eds.), *Proceedings of International Conference of Learning Sciences* (pp. 317-324). Boulder, CO: International Society of the Learning Sciences.

Eisenbud, L. (1958). On the classical laws of motion. *American Journal of Physics*, 26(3), 144-159.

Ellis, B. D. (1962). Newton's Concept of Motive Force. *Journal of the History of Ideas*, 23(2), 273-278.

Fishman, B. J. y Krajcik, J. (2003). What does it mean to create sustainable science curriculum innovations? A commentary. *Science Education*, 87(4), 564-573.

Furió, C. y Carnicer, J. (2002). El desarrollo profesional del profesor de ciencias mediante tutorías de grupos cooperativos. Estudio de ocho casos. *Enseñanza de Las Ciencias*, 20(1), 47-73.

Galili, I. y Tseitlin, M. (2003). Newton's First Law: Text, translations, interpretations and physics education. *Science y Education*, 12(1), 45-73

Gil, D. y Carrascosa, J. (1994). Bringing pupils' learning closer to a scientific construction of knowledge: A permanent feature in innovations in science teaching, *Sci. Edu.* 78; 301.

Guisasola, J., Furió, C. y Ceberio, M. (2008). Science Education based on developing guided research. *Science Education in Focus*, 55-85.

Guisasola, J., Almudi, J. M., Ceberio, M. y Zubimendi, J. L. (2009) Diseño y evaluación de secuencias de instrucción basadas en la investigación para la introducción de campos magnéticos, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(4), 699-722.

Guisasola, J., Zuza, K., Ametller, J., y Gutierrez-Berraondo, J. (2017). Evaluating and redesigning teaching learning sequences at the introductory physics level. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2), 020139.

Gutierrez-Berraondo, J., Zuza, K., Zavala, G., y Guisasola, J. (2018). University students' ideas on the relations between work and energy in Mechanics in introductory Physics courses. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 40(1).

Hestenes, D., Wells, M., y Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The physics teacher*, 30(3), 141-158.

Hewitt, P. G. (2002). *Conceptual physics*. Pearson Educación.

Hierrezuelo, J. y Montero, A. (1991). La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la Física y Química. *Málaga: Elzevir*.

Juuti, K. y Lavonen, J. (2006). Design-Based Research in Science Education: One Step towards Methodology NorDiNa: Nordic Studies in Science Education. *Science Education*, 4; 54-68.

Kortland, K. y Klaassen, K. (2010). *Designing theory-based teaching-learning sequences for science education*. Utrecht: CDBeta Press.

- Leach, J., Scott, P., Ametller, J., Hind, A., y Lewis, J. (2006). *Improving Subject Teaching Lessons from Research in Science Education*. Routledge.
- 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 Sciences Education*, 38(1), 115–142.
- Lijnse, P. L. y Klaassen C. W. J. M. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *Int. J. Sci. Educ* 26; 537.
- Martínez-Torregrosa, J., Alemany, F. S., Blanco, J. L. D., Cubero, A. R., y Cintas, S. R. (2016). La enseñanza problematizada de la física cuántica en el nivel introductorio. Una propuesta fundamentada. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28(2), 77-100.
- McDermott, L. C. y Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development, Part II: Design of instructional strategies, *Am. J. Phys.* 60; 1003.
- Meheut, M. y D. Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: Aims and tools for science education research, *Int. J. Sci. Educ.* 26; 515.
- Nieveen, N. (2009). Formative evaluation in educational design research. En *An introduction to educational design research* (pp. 89–101). Enschede: SLO.
- Pfundt, H. y Duit, R. (1994). *Bibliography. Students' Alternative Frameworks and Science Education* (4th Edition). Kiel: IPN.
- Osuna García, L., Martínez-Torregrosa, J., Carrascosa Alís, J., y Carbonell, R. V. (2007). Planificando la enseñanza problematizada: el ejemplo de la óptica geométrica. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 25(2), 277-294.
- Pintó, R. (2005). Introducing curriculum innovations in science: Identifying teachers' transformations and the design of related teachers' education. *Science Education*, 89(1), 1–12
- Psillos, D. y Kariotoglou, P. (2016). *Iterative design of teaching-learning sequences: Introducing the science of materials in European schools*. Dordrecht, The Netherland: Springer.
- Savinainen, A., Mäkynen, A., y Nieminen, P. (2017). The Effect of Using a Visual Representation Tool in a Teaching Learning Sequence for Teaching Newton's Third Law. *Research in Science Education*, 119–135.
- Schoenfeld, H. A. (2002). How can we examine the connections between teachers' world views and their educational practices? Issues in education. *Contributions from Educational Phycology*, 8(2), 229–232.
- Sebastiá, B. M. y Martínez-Torregrosa, J. (2005). Preservice elementary teachers' conceptions of the Sun-Earth model: A proposal of teaching-learning sequences. *Astronomy Education Review*, 4(1), 121–126.
- Tiberghien, A., Vince, J., y Gaidioz, P. (2009). Design based Research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31(7), 2275–2314.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205-221.
- Zuza, K., Almudi, J. M., Leniz, A., y Guisasola, J. (2014). Adressing students' difficulties with Faraday's law: A guided problem solving approach. *Physical Review Special Topics- Physics Education Research*, 10(1), 1–16.