

Una propuesta de diseño, evaluación y rediseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje en Física introductoria

UTE. Revista de Ciències de l'Educació

Monogràfic 2019. Pag. 109-122

ISSN 1135-1438. EISSN 2385-4731

<http://revistes.publicacionsurv.cat/index.php/ute>



<https://doi.org/10.17345/ute.2019.2>

Jenaro Guisasola Aranzábal , Kristina Zuza Elozegi , Jaume Ametller Leal , José Gutiérrez-Berraondo 

Rebut: 27/09/2019 Acceptat: 14/10/2019

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 SEAs, diseñadas según nuestra propuesta, se relacionan con la progresión de los estudiantes en el aprendizaje. Se presenta una metodología iterativa que permite evaluar y rediseñar SEAs. La estrategia de evaluación propuesta se centra en tres aspectos: a) evaluación de las actividades de la SEA; b) evaluación del aprendizaje alcanzado por los estudiantes en relación con los objetivos planteados y c) un documento que permita recopilar las dificultades identificadas al implementar la SEA que sirva de guía para los profesores. La discusión de esta guía con profesores externos proporciona comentarios que sirven para el rediseño de la SEA. El contexto de nuestra implementación y evaluación es un innovador curso de física para estudiantes de primer año de ingeniería en la Universidad del País Vasco (UPV-EHU).

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

Abstract

In this article we present a proposal for the design and evaluation of Sequences of Teaching-Learning (SEA) for secondary and University. Relevant contributions are taken into account in the design of teaching sequences based on the Design-Based Research methodology and we will discuss how the SEAs, designed according to our proposal, relate to the progression of students in learning. An iterative methodology is presented that allows the evaluation and redesign of SEAs. The proposed evaluation strategy focuses on three aspects: a) evaluation of the activities of the SEA; b) evaluation of the learning achieved by the students in relation to the objectives set forth and c) a document that allows compiling the difficulties identified when implementing the SEA that serves as a guide for the teachers. The discussion of this guide with external teachers provides comments that serve to redesign the SEA. The context of our implementation and evaluation is an innovative physics course for first year engineering students at the University of the Basque Country (UPV-EHU).

Key words: Sequences of Teaching-Learning, evaluation and redesign of sequences, Teaching

1. Introducción

Aunque las Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje (SEA) no son el único factor que influyen en el aprendizaje de los estudiantes en el aula, juegan un papel importante en los resultados de aprendizaje. La investigación sobre la implementación de SEAs puede ser una forma eficaz de aportar conocimiento en la investigación de materiales de enseñanza (Anderson & Shattuck, 2012; Duit et al., 2012; Kortland & Klaassen, 2010; Psillos & Kariotoglou, 2016; Ruthven et al., 2009). 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 et al., 2006; Savinainen et al., 2017). En este artículo emplearemos la siguiente definición de SEA: *“Una SEA es una actividad de investigación a la vez que un producto de intervención, un paquete de unidad curricular tradicional, que incluye actividades de enseñanza-aprendizaje contrastadas mediante la investigación, y empíricamente adaptadas al razonamiento del estudiante. A veces también se incluyen las pautas de enseñanza que cubren las reacciones esperadas de los estudiantes”* (Meheut & Psillos, 2004).

Durante los últimos treinta años se han realizado muchas contribuciones a la literatura de Enseñanza de las Ciencias sobre diversos modelos que permiten diseñar SEAs, que conectan los resultados de la teoría y la investigación con los materiales de enseñanza y las propuestas. 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 (Meheut & 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 SEAs no siempre está justificada. Un estudio de los diferentes tipos de propuestas para el diseño de SEAs realizado por Psillos & Kariotoglou (2016) muestra que ha habido cierta convergencia en el diseño, pero que todavía hay importantes deficiencias que superar en este campo de estudio. Estos son, principalmente: (i) una conexión más explícita entre la investigación teórica y empírica y sus efectos en el diseño, (ii) un procedimiento de evaluación más robusto y (iii) una descripción más clara del proceso iterativo que se encuentra en el corazón de la metodología DBR. Como resultado de estas deficiencias, es difícil analizar las SEAs propuestas de una manera que permita a la comunidad de enseñanza de las ciencias construir sobre ellas para mejorar sistemáticamente estos diseños. En esta investigación se argumenta que para utilizar las SEAs de manera eficiente que permita aportar conocimientos teóricos y de investigación en la enseñanza de las ciencias, es fundamental desarrollar el diseño de las SEAs como un programa de investigación y, por lo tanto, definir explícitamente la metodología de su diseño y evaluación.

Como otros autores han señalado (Juuti & Lavonen, 2006; Leach et al., 2010), presentar toda la información relevante sobre el diseño y el proceso de evaluación de las SEAs requiere mucha información y espacio. Por lo tanto, nos centraremos aquí en dos aspectos.

En primer lugar, se aborda la falta de un marco común para mejorar sistemáticamente las SEAs. Para afrontar el problema se necesita adoptar una metodología de investigación que aborde tanto el proceso de diseño como la evaluación de los resultados del aprendizaje. Abordar sistemáticamente esta cuestión permitiría a la comunidad educativa situar el diseño de SEA en el marco de un proceso de investigación y desarrollo (Méheut & Psillos, 2004). Se presenta el proceso de diseño como una implementación de la metodología de Investigación Basada en el Diseño (de ahora en adelante, por sus siglas en inglés DBR) (Easterday, Rees Lewis & Gerber, 2014).

En segundo lugar, se presenta la metodología de evaluación y su conexión con el refinamiento y el rediseño de la SEA. 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. La mayor parte de la literatura de investigación sobre SEA se centra en la eficacia de la SEA diseñada en un contexto particular de aplicación (ver Nota 1) 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 & Kariotoglou, 2016) debilita aún más la generalización de los resultados. A pesar de sus deficiencias, 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. En particular, estamos en deuda con los trabajos referenciados en (Lijnse, 2004; McDermott & Shaffer, 2002; Psillos, 2004; Sebastià & Martínez-Torregrosa, 2005; Tiberghien, Vince & Gaidioz, 2009) y también hemos construido sobre nuestro trabajo anterior (Ametller, Leach & Scott, 2007; Zuzá, Almudí, Leniz & Guisasola, 2014).

Teniendo en cuenta la investigación previa sobre el diseño y la evaluación de una SEA y el DBR, en este estudio la pregunta de investigación es:

¿En qué medida el DBR mejora el diseño, la evaluación y el refinamiento de las SEAs?

Para responder a la pregunta de investigación, presentaremos el diseño, la evaluación y el refinamiento de una SEA, utilizando la metodología DBR. La SEA aborda el Principio General de Trabajo y Energía Mecánica, implementada y evaluada en el contexto de un curso de física basado en cálculos para estudiantes de primer año de ingeniería y grado de ciencias en la Universidad del País Vasco (UPV-EHU).

2. La metodología DBR

Como se ha mencionado anteriormente, la falta de metodologías bien definidas y explícitas para guiar el diseño y la evaluación de las SEAs es un factor que dificulta el desarrollo de un programa de investigación en este área. Aunque se pueden encontrar varias propuestas en la bibliografía (Juuti & 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 del DBR (Juuti & Lavonen, 2006) como una metodología para el diseño y la evaluación de las SEAs. Esta metodología está siendo utilizada por un número creciente de investigadores en educación (Bell, 2004; Design-Based Research Collective, 2003) de tal forma que la discuten y la perfeccionan. Esto se ajusta a la necesidad mencionada de un enfoque metodológico más estandarizado para la investigación de las SEAs. El DBR, como metodología, reconoce la importancia tanto de la teoría como de las intervenciones con el fin de abordar las situaciones educativas (Easterday et al., 2014); por lo tanto, se adapta bien a las necesidades que se han identificado en el punto anterior, para poder llevar a cabo una investigación de SEAs. Además, el DBR tiene muchos puntos en común con otras metodologías de diseño de SEAs 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.

En este estudio hemos seguido las tres grandes fases de la metodología DBR: a) Contexto y Diseño; b) Implementación y c) Evaluación; ya que reúne elementos comunes a muchas propuestas DBR (Design-Based Research Collective, 2003). En la fase "Contexto y Diseño" se analiza el contexto escolar al que va dirigida la enseñanza (tipo de estudiantes, currículum ...etc.). Se estudia la información que existe sobre las dificultades de aprendizaje relacionadas con el tema a desarrollar en la SEA (Gutiérrez-Berraondo et al, 2018). En esta fase se coordinan herramientas de diseño tales como, el análisis epistemológico del contenido para el nivel educativo elegido y, las "demandas de aprendizaje" que incluyen el análisis de

las diferencias ontológicas y epistémicas entre las preconcepciones de los estudiantes y el contenido científico a enseñar definido a través del análisis epistemológico (Leach & Scott, 2002). En esta fase, y a la vista de los resultados anteriores, se definen objetivos de aprendizaje y se diseña una primera propuesta de la secuencia a implementar.

En la fase "implementación" es donde aparece el producto en acción en el aula. En la fase diseñar se genera el material que informa y guía el proceso de enseñanza-aprendizaje que va a tener lugar en la fase de implementar. En otras palabras, en la fase anterior se genera el material y en esta fase se implementa.

En esta fase de "evaluación" se evalúa la propuesta diseñada para ver su eficacia en relación con los objetivos que se han establecido. Dado que el DBR aboga por un proceso iterativo, la etapa de evaluación implica llevar a cabo pruebas durante todo el proceso de diseño y rediseño. En el caso de la SEA, la evaluación y el rediseño son también aspectos importantes en la investigación de las SEAs. El diseño de las SEA debe ser empíricamente validada, a través de dos dimensiones: a) Análisis de la calidad de la secuencia; b) Análisis del aprendizaje logrado (Nieveen, 2009).

3. Diseño de una SEA para el tema "trabajo mecánico y energía mecánica"

Esta sección ofrece una visión general del diseño, mostrando cómo el análisis epistemológico y cognitivo subyace en las opciones de diseño. En primer lugar, se muestra cómo las teorías generales de la educación son fundamentales para las herramientas de diseño, que se utilizan para llevar a cabo el análisis que permiten ajustar los contenidos específicos que se enseñarán a través de la SEA después de las dos primeras fases anteriormente identificadas. 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 innovador para estudiantes de primer año de ingeniería de la Universidad del País Vasco (UPV-EHU).

3.1 Definición de los indicadores de aprendizaje

Como ya hemos mencionado, la SEA que se presenta es para el tema de trabajo mecánico y energía para primer curso de Física General (contexto). Para el diseño de la SEA se han tenido en cuenta las dificultades de aprendizaje encontradas en la bibliografía (Tabla 2).

El marco teórico que orienta la definición de los objetivos de aprendizaje para un tema específico es una combinación de la epistemología de la Física, la perspectiva socio constructivista del aprendizaje y las teorías psicológicas de la metacognición y la influencia de las actitudes y aficiones de los estudiantes en relación con el aprendizaje. El contenido del tema se analiza epistemológicamente considerando su desarrollo histórico, las dificultades que la comunidad científica tuvo que superar y los argumentos utilizados para construir nuevos conceptos y modelos explicativos (ver Nota 2). Este análisis epistemológico permite plantear una definición fundamentada de los indicadores de aprendizaje. Es decir, permite justificar la elección de esos indicadores sobre la base de evidencias epistemológicas disciplinarias evitando definiciones basadas en las idiosincrasias de los profesores o en las opciones curriculares tradicionales. La noción de "indicador de aprendizaje" permite medir el aprendizaje con una herramienta de evaluación concreta (cuestionarios, informes, ...) que debe ir acompañada de sus protocolos de evaluación, de ahí el nombre "indicador" en lugar de "objetivo". Además, estos indicadores pueden ser utilizados por los profesores para secuenciar los pasos principales que el profesor tendrá que considerar.

La tabla 1 muestra un ejemplo de indicadores de aprendizaje definidos para una SEA de trabajo mecánico y energía diseñada en cursos introductorios de Física General de primer curso de ciencias e ingeniería (fase diseñar).

Tabla 1: Indicadores de aprendizaje para definir las relaciones entre trabajo mecánico y variación de energía para física general de primer curso de ciencias e ingeniería

Elementos de la epistemología de la Física	Indicadores de aprendizaje
<p>Establecer los elementos que formarán parte del sistema. Esto hace posible definir las fuerzas externas sobre el sistema y qué tipos de energía cambian o no cambian. El planteamiento del problema conduce a la selección de estrategias para resolverlo</p> <p>Cuantificar el trabajo externo. En particular identificar el trabajo realizado por las fuerzas de fricción como una forma de transferencia de energía</p>	<p>i.1. Definir y aplicar la definición de trabajo como el producto escalar de dos magnitudes</p> <p>i.2. Definir el Sistema y entender el trabajo como una transferencia de energía, que implica una variación de la energía del sistema.</p> <p>i.3. Reconocer que el teorema de la energía cinética es un caso particular del principio generalizado de trabajo y energía.</p>

3.2 Construcción de la secuencia de enseñanza

La investigación señala que los estudiantes tienen sus propias ideas y estrategias de razonamiento para explicar la naturaleza del trabajo y la energía (preconcepciones utilizadas en la teoría socio-constructivista de aprendizaje). Estas ideas son difíciles de cambiar y tienden a persistir después de la implementación de la secuencia. En el caso del aprendizaje sobre el trabajo mecánico y su relación con la variación de energía, el aprendizaje del concepto de "sistema", aplicar correctamente las matemáticas en la definición del trabajo y poder diferenciar los tipos de energía, gran cantidad de estudiantes presentan dificultades (ver nota 1; Jewett, 2008; Lindsey et al., 2009; Sherwood, 1983). Según Leach et al. (2010), es necesario tener en cuenta la diferencia entre las ideas de los estudiantes y los indicadores de aprendizaje (las demandas de aprendizaje). Dependiendo de la diferencia que haya para conseguir un aprendizaje significativo, según lo establecido por los indicadores de aprendizaje, se determinan por una parte las demandas de aprendizaje y por otra las estrategias que se usan en cada caso (ver tabla 2; otra combinación de las fases de "entender" y "definir").

Tabla 2: Demandas de aprendizaje para los indicadores de aprendizaje definidos en la Tabla II

Dificultades de aprendizaje	Indicadores de aprendizaje
<p>Dificultades en definir el trabajo externo en el principio generalizado de energía. Se debe principalmente a:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dificultades en el producto escalar en la definición de trabajo - No definir de forma explícita el sistema sobre el que se aplica la fuerza 	i.1; i.2
<p>Dificultades para definir los tipos de energía del Sistema. La definición de los tipos de energía depende del sistema elegido. Por ejemplo, la definición de energía potencial y trabajo externo</p>	i.2
<p>Definir de forma errónea la energía interna del Sistema. Dificultades en distinguir el trabajo externo y el trabajo realizado por una fuerza disipativa [33]</p>	i.2; i.3

La SEA tiene como objetivo ayudar a los estudiantes en la construcción del significado de la relación entre trabajo y energía basado en el concepto de sistema. La secuencia se basa en una serie de problemas y actividades cuyo desarrollo permite a los estudiantes alcanzar los indicadores de aprendizaje establecidos. La secuencia incluye una serie de problemas y actividades que se indican en la tabla 3. En las columnas de las tablas se indican: 1) la secuencia de problemas cuya resolución está fundamentada en el conocimiento que se quiere enseñar y aprender; 2) los indicadores de aprendizaje que incluyen las habilidades a desarrollar y usar junto al conocimiento que se debe aprender de manera integral; 3) estrategias didácticas; 4) actividades y tareas.

Tabla 3: Secuencia de enseñanza-aprendizaje para el problema ¿Cómo se mide el trabajo realizado por la fuerza externa aplicada a un sistema de partículas?

Problemas guía	Indicadores de aprendizaje	Estrategias de ayuda al aprendizaje	Actividades y comentarios Implementación y re-diseño
¿Cómo se cuantifican las relaciones entre el trabajo realizado y la energía?	i.2, i.3	<p>a.-Familiarizar a los estudiantes con el análisis de los fenómenos que muestran las relaciones entre trabajo y la variación de energía:</p> <p>-Definir el sistema</p> <p>- Diagrama de fuerzas</p> <p>- Definir el trabajo externo e interno al sistema</p> <p>b.- Organizar información empírica y proponer hipótesis sobre la relación entre trabajo y energía</p> <p>c.- Aplicación del Principio generalizado de Trabajo y Energía en diferentes escenarios</p>	<p>Cuestionarios de trabajo para implementar las estrategias a y b:</p> <p>A.10 (W-ΔE cambio con el movimiento) ;</p> <p>A.11 (W-ΔE cambio elástico);</p> <p>A.12 (W-ΔE energía interna);</p> <p>A.13 (definir el Sistema y relacionar con W y ΔE)</p> <p>Escenarios para aplicar la estrategia c:</p> <p>A.14 (relaciones entre W y ΔE; escenario de muelle);</p> <p>A.15 (Evaluar la relación entre W y ΔE; escenario de muelle);</p> <p>A.16 (relaciones entre W y ΔE; escenario gravedad sin rozamiento) ;</p> <p>A.17 (relaciones entre W y ΔE; escenario campo gravitatorio. Muelle son fricción)</p>

El diseño también indica que las actividades se deben realizar en pequeños grupos donde los estudiantes, a través de su interacción, construirán sus propias ideas, y luego se realizará una discusión en grupo sobre los informes realizado por todos los grupos. El profesor guiará este proceso (de acuerdo con la teoría socio-constructivista) y lo hará de forma que vaya construyendo el conocimiento científico de los estudiantes.

4. Instrumentos para la recogida de datos y resultados de investigación: evaluación de la implementación y refinamiento de la SEA

Como proyecto orientado a la obtención de un producto, una de las características esenciales en los proyectos de diseño y evaluación de la SEA, es el rediseño de la secuencia de enseñanza basada en los datos empíricos que se obtienen durante la implementación de esta. 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 (fases: 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.

En relación con las dos dimensiones definidas en la fase evaluar definidas en la sección 2, se proponen herramientas estándar para evaluar la SEA. Estas herramientas pueden ser cuantitativas o cualitativas, dependiendo de lo que se pretende evaluar. En nuestra propuesta, según Nieveen (2009), 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".

Los datos obtenidos nos ayudan a detectar problemas relacionados con la claridad de las actividades que deben realizar los estudiantes y las dificultades relacionadas con el tiempo de implementación de la secuencia. Hemos elegido herramientas de investigación cualitativa en este trabajo porque nuestro estudio es de naturaleza exploratoria. Es decir, nuestro objetivo no es obtener resultados generalizables sobre la efectividad de la SEA diseñada, sino determinar si la metodología propuesta (DBR) es útil para superar algunas de las dificultades identificadas en el diseño, evaluación y rediseño de la SEA. Para ello, es importante recopilar información sobre el proceso que nos permitirá estudiar cómo la metodología seleccionada (DBR) nos ayuda a abordar estas dificultades: la incorporación de referencias teóricas en el diseño de la SEA, la evaluación de la efectividad de SEA y el uso de los resultados de la evaluación para rediseñar la SEA. Este trabajo es un ejemplo (una SEA sobre un tema del plan de estudios de introducción a la Física), que los profesores podrían considerar como un modelo a seguir.

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 (ver tabla 4).

Tabla 4: Instrumentos para el Desarrollo iterativo de la SEA

Instrumentos para detectar la calidad de la SEA (Interpretación de dificultades)	Instrumentos para medir el aprendizaje conseguido a través de la implementación de la SEA	Re-diseño de la SEA
a.- Diario del profesor	- Cuestionarios de comprensión de conceptos y teoría	- Re-diseño de cuestiones en redacción, analogías, enfoques,...
b.- Cuaderno de trabajo de los estudiantes	- Problemas basados en test para aprendizaje de leyes y adquisición de habilidades científicas	- Re-diseño del orden de las cuestiones
c.- Informes de evaluadores externos		- Re-diseño de las figuras, gráficas,...
		- Re-diseño de los requisitos previos en la secuencia y actividades
		- Modificación del formato (cuestionarios, clicks, documentos de Trabajo en grupo,...)

La Tabla 5 muestra un ejemplo de las dificultades que hemos denominado "dificultades metacognitivas" de los estudiantes durante la implementación de la SEA. Entendemos por dificultades metacognitivas las relacionadas con la comprensión de los estudiantes respecto al objetivo de la actividad. Los estudiantes tienden a tener problemas para identificar el objetivo de las actividades que desarrollan, incluso cuando se les ha explicado este objetivo (Treagust et al. 2002).

Tabla 5: Dificultades metacognitivas de los estudiantes al implementar la SEA y su re-diseño (Reescribir y repensar el enfoque de las actividades)

Actividad 10 (versión 1)	Actividad 10 (versión 2)																								
<p>Un jugador de beisbol lanza una pelota de 0,15 Kg. A una velocidad de 30m/s. Calcular: a) el trabajo realizado sobre la pelota durante el lanzamiento; b) El cambio de energía de la pelota.</p>	<p>Un jugador de beisbol lanza una pelota de 0,15 Kg. A una velocidad de 30m/s.</p> <p>Rellenar y explicar la siguiente tabla:</p> <table border="1" data-bbox="767 795 1315 1337"> <tr> <td colspan="3" data-bbox="767 795 1315 864">Define el sistema</td> </tr> <tr> <td data-bbox="767 864 1003 936">Tiempo</td> <td data-bbox="1003 864 1134 936">inicio</td> <td data-bbox="1134 864 1315 936">final</td> </tr> <tr> <td colspan="3" data-bbox="767 936 1315 1005">Fuerzas que actúan</td> </tr> <tr> <td colspan="3" data-bbox="767 1005 1315 1075">Trabajo realizado</td> </tr> <tr> <td data-bbox="767 1075 1003 1205">Tipo de energía</td> <td data-bbox="1003 1075 1134 1205"></td> <td data-bbox="1134 1075 1315 1205"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="767 1205 1003 1337">Valor</td> <td data-bbox="1003 1205 1134 1337"></td> <td data-bbox="1134 1205 1315 1337"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="767 1337 1003 1344">Principio:</td> <td data-bbox="1003 1337 1134 1344"></td> <td data-bbox="1134 1337 1315 1344"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="767 1344 1003 1543">$E_i + W_{ext} = E_f + \Delta U_i$</td> <td data-bbox="1003 1344 1134 1543"></td> <td data-bbox="1134 1344 1315 1543"></td> </tr> </table>	Define el sistema			Tiempo	inicio	final	Fuerzas que actúan			Trabajo realizado			Tipo de energía			Valor			Principio:			$E_i + W_{ext} = E_f + \Delta U_i$		
Define el sistema																									
Tiempo	inicio	final																							
Fuerzas que actúan																									
Trabajo realizado																									
Tipo de energía																									
Valor																									
Principio:																									
$E_i + W_{ext} = E_f + \Delta U_i$																									
<p>Respuestas estándar de los estudiantes cuando establecen la relación entre trabajo y energía</p> <p>"El trabajo es iguala a la variación de la energía cinética. La energía cinética de la pelota es $1/2mv^2$ 2,25 J" (fuente: cuaderno del estudiante)</p>	<p>Los estudiantes definen el Sistema "pelota", realizan una hipótesis sobre la trayectoria y la longitud del lanzamiento, así como de la fuerza aplicada.</p> <p>Establecen con argumentos la relación entre trabajo y energía (fuente: cuaderno del estudiante)</p>																								

Las respuestas estándar de los estudiantes a la actividad A.10, recogidas de cuadernos de los estudiantes, durante la implementación de la versión 1 de la actividad, mostraron que no tenían una comprensión clara del objetivo de la actividad (ver la segunda fila de la Tabla 4). La modificación de la actividad consistió en hacer este objetivo más explícito añadiendo una tabla a la actividad, este cambio lleva a los estudiantes a centrarse en el objetivo de la actividad al responder las preguntas (ver segunda fila de la Tabla 5).

En la evaluación de la comprensión conceptual de los estudiantes, recogemos las progresiones y dificultades relacionadas con los indicadores de aprendizaje definidos en la Tabla 1 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 el indicador de aprendizaje i3. Este es un indicador de un problema con el cual los estudiantes de cursos introductorios de física presentan serias

dificultades de aprendizaje (Gutierrez-Berraondo et al. 2018). Por lo tanto, estamos interesados en saber si las actividades incluidas en la SEA logran mejorar el aprendizaje de este objetivo. Para hacerlo, utilizamos varias cuestiones de una prueba realizada por los estudiantes después de la implementación de la SEA. Un ejemplo se presenta a continuación (Figura 1).

Cuestión Q5.- Un estudiante, después de leer en un libro sobre la relación entre Trabajo y energía, llega a la siguiente conclusión: "Si sobre un Sistema se realiza un Trabajo, su energía cinética cambia". Argumenta si está o no de acuerdo con la afirmación del estudiante.

Figura 1. Cuestión Q5

La Tabla 6 muestra los resultados de la cuestión Q5 tras la implementación de la SEA que contiene, en la primera columna, la media de los resultados del pre-test para los cuatro grupos (dos experimentales y dos de control) durante los dos años de implementación de la secuencia (sin diferencias estadísticas entre los grupos). La segunda columna muestra la media de los resultados del post-test de los grupos de control para los cursos 2014-15 y 2015-16, ya que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los dos años. La tercera columna muestra los resultados del post-test del grupo experimental para la versión 1 y la versión 2 de la actividad en dos cursos consecutivos. Encontramos un aumento en las explicaciones correctas al usar la versión 1 (30%) en relación a la enseñanza tradicional, lo cual fue gratificante, pero estábamos buscando resultados para más de la mitad de la muestra.

Tabla 6: Resultados de la cuestión Q5 después de la implementación de la SEA.

Categoría	Porcentaje de respuestas			
	Pretest N= 645	Post-test Control 2014/15 y 2015/16 N=285	Post-test Experimental versión 1 2014/15 N=176	Post-test Experimental version 2 2015/16 N=184
A .1. Argumenta correctamente contra la validez general del Teorema	0.0	9.5	30.0	40.0
A.2. Casos particulares contra la validez general del Teorema	28.5	30.0	27.0	34.0
B. Argumentos incorrectos contra la validez general del Teorema	5.0	13.0	15.0	5.0
C. De acuerdo con la validez general del Teorema	45.0	24.0	5.0	6.0
Incoherentes	10.0	15.0	14.0	11.0
No responde	11.5	8.5	9.0	4.0

Las respuestas de los estudiantes a la cuestión Q5 mostraron un aprendizaje parcial de las relaciones entre el trabajo y energía, a pesar de que algunos estudiantes dan respuestas correctas como: "No,

depende del sistema que analicemos. Si lanzamos una pelota y analizamos el sistema "pelota", la Tierra realiza un trabajo externo, pero si analizamos el sistema "pelota-Tierra", no hay trabajo externo". Una parte de los estudiantes (categoría A.2, SEA versión 1) se centró en describir casos particulares de la relación entre el trabajo y la energía, como el trabajo y la energía cinética, el trabajo y la energía potencial, etc., por ejemplo: "La energía mecánica es la suma de energía cinética y energía potencial $E_m = E_k + E_p = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h$. La energía cinética es la energía que tiene un cuerpo porque se está moviendo. La energía potencial es la energía que tiene un cuerpo debido a su posición, porque está a cierta altura". Muy pocos estudiantes relacionaron el trabajo realizado por la fuerza de fricción con la variación de la energía interna del sistema: "Cuando la energía es conservativa, esto se cumple, pero cuando la energía no es conservativa, entonces no es igual". Además, un porcentaje significativo de estudiantes (24.0%) siguiendo el modelo de enseñanza tradicional, asignó un carácter de principio general a la relación entre trabajo y energía cinética: "Sí, el trabajo es siempre la variación de la energía cinética. En una competición, cuando el corredor cambia su velocidad, esto implica trabajo y este trabajo suele ser la variación de la energía cinética". Esta confusión disminuyó bruscamente con la versión 1 de la SEA (5%). Sin embargo, el número de respuestas referidas a justificaciones teóricas generales basadas en el Principio General de Trabajo y Energía no aumentó significativamente (9.5%). En consecuencia, decidimos cambiar el orden de las actividades de la secuencia para que la línea principal de razonamiento llevara a considerar el Principio General desde el comienzo y analizar casos particulares más adelante. Es decir, invirtiendo el orden que se usa en el enfoque de enseñanza tradicional y en la versión 1 de la SEA.

Los resultados obtenidos después de la implementación de la versión 2 de la SEA (Tabla 6) muestran que los cambios introducidos, aumentó el número de estudiantes que utilizaban argumentos científicos en sus explicaciones sobre el Principio Generalizado de Trabajo y Energía y, por lo tanto, una mayor calidad cognitiva (40.0%). Además, teniendo en cuenta las explicaciones correctas basadas en casos particulares, casi las tres cuartas partes de los estudiantes (74.0%, versión 2 versus 57.0% en la versión 1) lograron un aprendizaje satisfactorio o casi satisfactorio del análisis cuantitativo de las relaciones entre trabajo y energía en mecánica.

Para rediseñar la SEA es necesario tener en cuenta los resultados de la evaluación, para saber si se han logrado los resultados esperados, de acuerdo con los objetivos establecidos. 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. El diario del profesor recoge información sobre el desarrollo de las actividades a lo largo del tiempo, así como sobre cualquier incidente que pueda haber tenido lugar durante la clase. El primer tipo de información es útil como guía para hacer ajustes menores, pero no para abordar aspectos del diseño en sí. Hay situaciones en las que los estudiantes muestran una necesidad de aclarar o de plantear preguntas en relación con el desarrollo de la actividad. Los datos recogidos en los cuestionarios y clics durante los momentos de aclarar dudas son de particular interés para el rediseño. Si las respuestas de los estudiantes a las preguntas a las que se hace referencia en el diario del profesor tienen la calidad esperada y las respuestas al post-test relacionadas con el objetivo de esa actividad son correctas en un porcentaje superior al 50%, generalmente es suficiente para ajustar la actividad propuesta, cambiando el texto, el gráfico o el aspecto de la actividad. Sin embargo, si el trabajo de los estudiantes y sus resultados en el post-test sugieren que los estudiantes no han logrado los resultados esperados, las actividades relacionadas con el objetivo no cumplido se tendrán en cuenta en el rediseño de la SEA.

5. Discusión

La mayoría de las propuestas de diseño de SEA que encontramos en la literatura (Anderson & Shattuck, 2012; Kortland & Klaassen, 2010; Psillos & Kariotoglou, 2016), no proporcionan un enfoque basado en el diseño como 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 de diseño particular (DBR) que sugerimos podría usarse como un marco metodológico general para diferentes modelos de SEAs que ayuda en la investigación sobre SEAs. 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 SEAs. 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.

Una contribución específica de nuestro estudio son las herramientas de evaluación, que cubren varios aspectos del diseño que deben evaluarse y reelaborarse durante este proceso iterativo con un enfoque de métodos mixtos. Nuestros resultados muestran ganancias de aprendizaje que están relacionadas con el rediseño de la SEA. Nuestro enfoque de evaluación nos ha permitido mostrar mejoras significativas sin tener que depender de un tratamiento estadístico. Esto no quiere decir que no defendemos la evaluación de SEA en diferentes contextos que permite aumentar la generalidad de los resultados, pero consideramos que podría llevarse a cabo una evaluación puntual en poblaciones relativamente pequeñas de estudiantes.

En resumen, en este documento hemos desarrollado una forma de utilizar DBR como metodología para el diseño de SEAs y hemos proporcionado un ejemplo trabajado siguiendo esta metodología con un enfoque particular en su evaluación y su rediseño posterior. 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.

Nota 1

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

Nota 2

ver por ejemplo, C. Penchina, Pseudowork-energy principle. *American Journal of Physics*, 46, 295-296 (1978); W.H. Bernard, Internal work: A misinterpretation, *A.J.Phys.* 52,253 (1984); A.J. Mamallinckrodt and H. S. Leff, All About Work, *American Journal Of Physics* 60, 356-365 (1992); Arons, A. B. Development of energy concepts in introductory physics course. *American Journal of Physics*, 67(12), 1063-1067 (1999); U. Besson, Work and energy in the presence of friction: the need for a mesoscopic analysis. *European Journal of Physics*, 22, 613-622 (2001); J. L. Domenech, G. Gil-Perez, A. Gras-Marti, J. Guisasola, J. Martinez-Torregrosa, L. Salinas, R. Trumper, P. Valdes and A. Vilches. Teaching of Energy Issues: A Debate Proposal for a Global Reorientation, *Sci. & Educ.* 16, 43-64 (2007); D. Colonnese, P. Heron, M. Michelini, L. Santi, L., and A. Stefanel, A vertical pathway for teaching and learning the concept of energy. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 6(1), 21-50 (2012); M. Bächtold and M. Guedj, Teaching Energy Informed by the History and Epistemology of the Concept with Implications for Teacher Education, edited by M.R. Matthews *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (Springer, Dordrecht, 2014) pp 211-243

Referencias bibliográficas

- Ametller, J., Leach, J. & 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.
- Anderson, T. & Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research? *Educational Researcher*, 41(1), 16–25.
- Andersson, B. & Bach, F. (2005). On designing and evaluating teaching sequences taking geometrical optics as an example. *Science Education*, 89(2), 196-218.
- Bell, P. (2004). On the theoretical breadth of design-based research in education. *Educational Psychologist*, 39(4), 243–253.
- Buty, C., Tiberghien, A. & Le Maréchal, J. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), 579-604.
- Chevallard, Y. (1991) (2nd. Ed). *La transposition didactique (Didactical transposition)*. Grenoble, France: La Pensée Sauvage.
- Design-Based Research Collective, The (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, K., Komorek, M. & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction - A Framework for Improving Teaching and Learning Science. En Jorde, D. & Dillon, J. (Eds.), *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective* (pp. 13-38). Rotterdam, The Netherland: Sense Publishers.
- Easterday, M., Rees Lewis, D. & Gerber, E. (2014). Design-based research process: Problems, phases, and applications. En Polman, J.L., Kyza, E.A., O'Neill, D.K., Tabak, I., Penuel, W.R., Jurow, A.S., O'Connor, K., Lee, T. & D'Amico, L., *Proceedings of International Conference of Learning Sciences* (pp. 317-324). Boulder, CO: International Society of the Learning Sciences.
- Gutierrez-Berraondo, J., Zuza, K., Zavala, G. & Guisasola, J. (2018). University students' ideas about the relation between work and energy in Mechanics at introductory physics courses. *Revista Brasileira de Física*, 40,1.
- Hirn, C. & Viennot, L. (2000). Transformation of didactic intentions by teachers: The case of geometrical optics in grade 8 in France. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357 – 384.
- Jewett, J.W. (2008). Energy and the Confused Student I: Work. *The Physics Teacher*, 46, 38.
- Juuti, K. & Lavonen, J. (2006). Design-Based Research in Science Education: One Step Towards Methodology. *NorDiNa: Nordic Studies in Science Education*, 4, 54-68.
- Kortland, K. & Klaassen, K. (Eds.) (2010). *Designing theory-based teaching-learning sequences for science education*. Utrecht: CDBeta Press.
- Leach, J., Ametller, J. & Scott, P. (2010). Establishing and communicating knowledge about teaching and learning scientific content: The role of design briefs. En Kortland, K. & Klaassen, K. (Eds.), *Designing Theory-Based Teaching-Learning Sequences for Science Education* (pp. 7-36). Utrecht: CDBeta Press.

- Leach, J. & 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(1), 115-142.
- Leach, J., Scott, P., Ametller, J., Hind, A. & Lewis, J. (2006). Improving Subject Teaching: Lessons from *Research in Science Education*. Routledge.
- Lindsey, B.A., Heron, P.R.L. & Shaffer, P.S. (2009). Student ability to apply the concepts of work and energy to extended systems. *American Journal of Physics*, 77(11), 999-1009.
- 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. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26(5), 537-554.
- McDermott, L. & Shaffer, P.S. (2002). the Physics Education group at the University of Washington. *Tutorials in Introductory Physics*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Méheut, M. & Psillos, D. (2004). Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515-535.
- Nieveen, N. (2009). Formative evaluation in educational design research. En Plomp, T. & Nieveen, N. (Eds.), *An introduction to educational design research*, (pp. 89-101). Enschede: SLO.
- Psillos, D. (2004). An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching-learning sequences: the case of fluids. *International Journal of Science Education*, 26(5), 555-578.
- Psillos, D. & Kariotoglou, P. (Eds.) (2016). *Iterative design of teaching-learning sequences: Introducing the science of materials in European schools*. Dordrecht, The Netherland: Springer.
- 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.
- Savinainen, A., Mäkynen, A. & 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, A.H. (2002). How can we examine the connections between teachers' world views and their educational practices? *Issues in education. Contributions from Educational psychology*, 8(2), 229-232.
- Sebastià, B.M. & Torregrosa, J.M. (2005). Preservice elementary teachers' conceptions of the Sun-Earth model: A proposal of a teaching-learning sequence. *Astronomy Education Review*, 4(1), 121-126.
- Sherwood, B.A. (1983). Pseudowork and real work. *American Journal Physics*, 51, 597-602.
- 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.
- Trna, J. & Trnova, E. (2014). *Design-based research as an innovation approach in the construction and evaluation of IBSME. Proceedings of the Frontiers*. En Mathematics and Science Education Research Conference 1-3 May 2014, Famagusta, North Cyprus, (May), 187-191

Zuza, K., Almudí, J. M., Leniz, A. & Guisasola, J. (2014). Addressing students' difficulties with Faraday's law: A guided problem solving approach. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 10(1).