

DESARROLLO ITERATIVO DE UNA SECUENCIA DE ENSEÑANZA/ APRENDIZAJE SOBRE EL PRINCIPIO GENERALIZADO DE TRABAJO Y ENERGÍA EN CURSOS DE FÍSICA GENERAL UNIVERSITARIA

Jenaro Guisasola, José Gutierrez-Berraondo, Kristina Zuza, Jaume Ametller

RESUMEN: En este trabajo presentamos resultados de un proceso iterativo de desarrollo de una Secuencia de Enseñanza/Aprendizaje sobre el principio general del trabajo y la energía en física general para estudiantes de primer curso del grado de ingeniería. En el análisis de resultados se ha utilizado la metodología del Diseño Basado en la Investigación para diseñar y evaluar la Secuencia. El análisis de la eficacia de la secuencia en sucesivas implementaciones ha sido descrito en términos de evaluación en el número y tipo de dificultades de los estudiantes y de modificaciones de la Secuencia. La disminución de las dificultades de los estudiantes muestra que el desarrollo iterativo de la secuencia ha contribuido a mejorar la eficacia de la secuencia, desde el punto de vista del aprendizaje de los estudiantes.

PALABRAS CLAVE: Desarrollo de Secuencias de Enseñanza/Aprendizaje, Principio General del Trabajo y la Energía, nivel Universidad.

OBJETIVOS: este trabajo se sitúa dentro de los esfuerzos realizados en las últimas décadas en la investigación en el diseño y validación de Secuencias de Enseñanza/Aprendizaje (SEA) (Kelly, Lesh y Baek 2008). El problema didáctico en torno al que se ha estructurado esta investigación es: ¿Cómo analizar e interpretar un proceso iterativo de desarrollo de una SEA con el fin de lograr un equilibrio adecuado entre los objetivos de enseñanza previstos y los resultados del aprendizaje?

Con el fin de responder a esta pregunta se considera que un proceso iterativo o cíclico implica diferentes estadios como diseño, implementación, evaluación, análisis y rediseño. Por ello, se han definido cuatro objetivos concretos: (i) Diseñar una SEA para el “Principio generalizado del trabajo y la energía”, como producto de un proceso de diseño situado dentro del paradigma “Diseño basado en la investigación”; (ii) identificar aspectos problemáticos a través del análisis y evaluación de la SEA, después de su implementación en clase de física con estudiantes de primer curso de ingeniería; (iii) Realizar los cambios necesarios para superar los problemas detectados y evaluar una segunda implementación.

MARCO TEÓRICO

En las últimas décadas, un número creciente de estudios se centran en el Diseño Basado en la Investigación (DBR, sus siglas en inglés) que proporciona un proceso para la investigación basada en la implementación de las propuestas de enseñanza (Kelly, Lesh y Baek 2008). En el DBR, los investigadores diseñan y analizan SEA que resuelven problemas prácticos de enseñanza, para generar teorías que son útiles para guiar el diseño de la enseñanza. En la metodología DBR, la teoría y la práctica por sí solas no son suficientes. El modelo clásico donde la investigación básica lleva a la investigación aplicada que conduce a productos, no funciona bien. Así mismo, el diseño sin fundamentación teórica es probable que sea anecdótico y fortuito. En el DBR confluyen y se complementan de forma confiable teoría e intervención educativa (Easterday, Rees y Gerber 2014). La Investigación en DBR tiene una gran relevancia en los diferentes estudios sobre el diseño y desarrollo de SEA, aunque no parece plausible colocar toda la literatura sobre esta área en la Educación Científica en el campo de esta metodología. En la que puede considerarse la primera revisión de trabajos en esta área (Meheuet y Psillos 2004), no se menciona el Diseño basado en la Investigación. Se podría concluir que el movimiento DBR y el diseño de SEA en la educación científica tenían un origen y desarrollo independientes. Sin embargo, hay un claro paralelismo entre la metodología DBR y las técnicas específicas de diseño y desarrollo propuestas por los estudios en SEA. Estas similitudes en los objetivos y diferencias en el desarrollo, puede permitirnos tomar el modelo definido por DBR como un marco general que se puede aplicar a los diferentes estudios en SEA en ciencias.

METODOLOGÍA

El trabajo utiliza la metodología DBR para producir/diseñar la SEA sobre el PGTE y una metodología mixta (cuantitativa y interpretativa cualitativa) para analizar la implementación – y en su caso el proceso iterativo del desarrollo– de la SEA. Así pues, se utilizan una gama de métodos y técnicas mixtos para analizar los resultados de la intervención y refinar la secuencia: diario del profesor, informes de observadores externos, el cuaderno de trabajo de los estudiantes, y cuestionarios para la evaluación del aprendizaje. Las técnicas de evaluación son específicas del dominio, es decir, específicas del contenido que se enseña y de los objetivos de enseñanza definidos, por lo que se han desarrollado nuevos instrumentos, por ejemplo cuestionarios, para recopilar datos en el ámbito del PGTE.

Toma de datos

La toma de datos se ha realizado durante y después de la implementación de la secuencia durante dos años consecutivos en la asignatura de Física de primer curso de ingeniería industrial en la Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa (UPV/EHU) y en la Escuela de Ingeniería del Instituto de Máquina Herramienta IMH-Elgoibar. En este estudio sólo nos vamos a referir al proceso iterativo de evaluación de la SEA. En la tabla 1 se recogen los instrumentos utilizados

Análisis de los datos

De acuerdo con los criterios descritos por Nieveen (2009) para evaluar la calidad de una innovación, el análisis de los datos recolectados consiste, en primer lugar, en la identificación de dificultades de los estudiantes en el desarrollo de cada actividad durante la implementación de la secuencia para inferir aspectos problemáticos de las actividades. En segundo lugar, se definen tipos de dificultades de los

tudiantes (metacognitivas, de interpretación y comprensión de la información, de aprendizaje ...etc.) y se procede a introducir modificaciones en las actividades y en el orden de las mismas (ver tabla 1). Algunos ejemplos de los cambios realizados se describen en detalle en la sección de resultados.

Tabla 1.
Instrumentos para el desarrollo iterativo de la SEA (Nieveen 2009)

Instrumentos para detectar dificultades de implementación	Instrumentos para medir el Aprendizaje logrado con la SEA	Re-diseño de la SEA
a. Diario del profesor b. Cuaderno de trabajo del estudiante c. Informe observadores externos.	<ul style="list-style-type: none"> - Cuestionarios sobre comprensión de conceptos y teorías - Pruebas de problemas sobre aprendizaje de leyes y adquisición de habilidades científicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Re-elaboración de cuestiones en redacción, analogías, enfoque ...etc. - Re-elaboración del orden de las actividades. - Re-elaboración de figuras, gráficas .. - Re-elaboración de los requisitos previos en la secuencia y actividades - Modificación del formato (fichas de trabajo, clicks, hoja de trabajo en grupo ...etc)

RESULTADOS

El análisis de realizado nos permite mostrar evidencias de las dificultades de los estudiantes, así como de los aspectos problemáticos de la SEA sobre el PGTE al implementarla en primer curso de Física General en grados de ingeniería. El análisis de los datos recolectados nos muestra diferentes tipos de dificultades que se comentan a continuación.

La tabla 2 muestra un ejemplo de las dificultades que hemos denominado *Metacognitivas* de los estudiantes al realizar la Secuencia. Nos referimos como Metacognitivas a aquellas dificultades relacionadas con la comprensión de los estudiantes del objetivo de la actividad.

Tabla 2.
Dificultades metacognitivas de los estudiantes al implementar la SEA y Re-elaboración en redacción y enfoque de la actividad.

Actividad 10 (versión 1)	Actividad 10 (versión 2)																					
Un jugador de béisbol 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>Un jugador de béisbol lanza una pelota de 0,15 Kg. A una velocidad de 30m/s. Rellenar y explicar la siguiente tabla:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">Definir sistema</td> </tr> <tr> <td style="width: 33%;">tiempo</td> <td style="width: 33%;">inicio</td> <td style="width: 33%;">final</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Fuerzas que actúan</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Trabajo realizado</td> </tr> <tr> <td>Tipo de energía</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>valor</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">Principio: $E_i + W_{ext} = E_f$</td> </tr> </table>	Definir sistema			tiempo	inicio	final	Fuerzas que actúan			Trabajo realizado			Tipo de energía			valor			Principio: $E_i + W_{ext} = E_f$		
Definir sistema																						
tiempo	inicio	final																				
Fuerzas que actúan																						
Trabajo realizado																						
Tipo de energía																						
valor																						
Principio: $E_i + W_{ext} = E_f$																						
Respuesta estándar de los estudiantes al establecer la relación entre trabajo y energía: "El trabajo es igual a la variación de energía cinética. La energía cinética de la pelota es $\frac{1}{2} mv^2 = 2,25J$ ". (Análisis del cuaderno de trabajo del estudiante)	Los estudiantes definen el sistema "pelota", emiten hipótesis sobre la trayectoria del lanzamiento y su longitud, así como la fuerza aplicada. Establecen con argumentos la relación entre el trabajo y la energía. (Análisis del cuaderno de trabajo del estudiante)																					

Las respuestas standard de los estudiantes recogidas de su cuaderno de trabajo para la actividad A.10, en la implementación de la versión 1, mostraban que no llegaban a comprender el objetivo de la actividad (ver segunda fila en tabla 2). La correspondiente modificación de la actividad en hacer más explícito a través de una tabla de trabajo el objetivo, llevó a que las respuestas de los estudiantes recogidas de su cuaderno de trabajo se centraran en dicho objetivo (ver segunda fila, en la tabla 2).

Otro tipo de dificultad surgida del análisis de los datos recolectado es la relacionada con la *comprensión conceptual de los estudiantes*. En este apartado del análisis se recogen las dificultades de aprendizaje relacionadas con los objetivos de enseñanza/aprendizaje definidos en el diseño de la SEA sobre PGTE. Se trata de detección de dificultades de aprendizaje que pueden detectar puntos débiles en el diseño de la actividad o en el orden de las actividades. No se trata de detectar dificultades conceptuales de los estudiantes en general, sino dificultades de los estudiantes en el aprendizaje de determinados conceptos y principios que son objetivo específico de las actividades de la SEA. Vamos a mostrar un ejemplo relacionado con el objetivo de aprendizaje “Ser capaz de distinguir “entre casos particular de relaciones energía y trabajo, y el principio general del trabajo y energía”. Este es un objetivo en el que los estudiantes que siguen una instrucción habitual en curso de Física General suelen tener serios problemas de aprendizaje. Así pues, interesa conocer si las actividades de la Secuencia inciden en la mejora del aprendizaje de este objetivo. Para ello se pasaron varias cuestiones en situación de examen a los estudiantes después de haber realizado la SEA. Se muestra un ejemplo a continuación:

Cuestión C5.- Un estudiante después de leer en el libro de texto sobre las relaciones entre trabajo y energía, llega a la siguiente conclusión: “Si sobre un sistema se realiza trabajo, su energía cinética varía”. Razona si está de acuerdo o no, con la afirmación del estudiante

En la tabla 4 se muestran los resultados para la cuestión C5 después de la implementación de la SEA versión 1 y versión 2 en años consecutivos. En el primer año con la versión 1 de la SEA, se producía un ligero aumento de las explicaciones correctas (4%) pero claramente insuficiente.

Tabla 4.
Resultados de la cuestión C5 después de implementar la SEA

Categoría	Porcentaje de respuesta			
	Pretest N= 179	Post-test Control 2014/15 N=147	Post-test Experimental version1 2014/15 N=176	Post-test Experimental version2 2015/16 N=184
A. Argumenta correctamente en contra de la validez general de la afirmación	28,5	39.5	57.0	74.0
B. Argumentos incompletos en contra de la validez general de la formación	5.0	13.0	15.0	5.0
C. De acuerdo con la validez general de la afirmación	45.0	24.0	5.0	6.0
Incoherente	10.0	15.0	14.0	11.0
No contesta	11.5	8.5	9.0	4.0

Los datos del cuestionario mostraban que los estudiantes presentaban un aprendizaje fragmentado de las relaciones entre trabajo y energía. Una fracción de estudiantes (43,5% versión 1) se centraba en describir casos particulares de la relación entre trabajo y energía como trabajo y energía cinética, trabajo y energía potencial ..etc. Muy pocos estudiantes relacionaban trabajo de rozamiento con va-

riación de energía interna del sistema. Así mismo un porcentaje significativo de los estudiantes con enseñanza habitual, atribuyen a la relación entre trabajo y energía cinética un carácter de principio general (24,0%). Esta última confusión disminuye drásticamente con la versión 1 de la SEA (5% versión 1). Por ello se decidió cambiar el orden de las actividades de forma que si línea conductora llevara a considerar desde el comienzo el Principio General y posteriormente se analizaran casos particulares. Es decir, justo lo contrario que se realiza en la enseñanza habitual y en la versión 1 de la SEA.

Los resultados obtenidos después de la aplicación de la versión 2 de la SEA (tabla 4) muestran que las modificaciones introducidas suponen un aumento significativo de las explicaciones de los estudiantes con argumentos científicos basados en el Principio Generalizado y por tanto del alta calidad cognitiva (57,5%). Además si se tiene en cuenta aquellas explicaciones correctas pero basadas en casos particulares, se tiene que casi tres cuartas partes de los estudiantes (72,5%, versión 2) han logrado un aprendizaje satisfactorio o casi satisfactorio del análisis cuantitativo de las relaciones trabajo y energía para mecánica.

CONCLUSIONES

La identificación de las dificultades de los estudiantes en la implementación de la SEA es uno de los objetivos del trabajo. El análisis de los datos recogidos muestran que hay dos tipos de dificultades: aquellas referidas a problemas de interpretación y reconocimiento del objetivo de la actividad y, aquellas relacionadas con el bajo aprendizaje logrado en relación a los objetivos de la SEA. Un resultado a subrayar del análisis de las dificultades de los estudiantes a través de todo el proceso de refinamiento iterativo de la SEA es el relacionado con la superación de estas dificultades por una mayoría de los estudiantes. Se han mostrado ejemplos donde no sólo la implementación de la primera versión de la SEA hace disminuir las dificultades de los estudiantes respecto a la enseñanza habitual, sino que la disminución de las dificultades es significativamente importante de la primera versión a la segunda, de acuerdo con las modificaciones introducidas. Otro de los objetivos de este estudio es el proceso de modificación de la SEA. Las modificaciones fueron realizadas no sólo en relación a las dificultades de los estudiantes, sino también a las observaciones del diario del profesor y los informes de los profesores externos. Estos datos llevaron a repensar los principios de diseño y definir líneas de actuación en la modificación de la SEA.

En relación a la validez general de la SEA diseñada, es necesario indicar que su calidad y eficacia está indudablemente unida al contexto educativo. En este sentido, el trabajo realizado muestra la aplicabilidad y utilidad de la SEA para tres profesores en dos instituciones educativas diferentes (UPV/EHU y IMH). Los resultados muestran que no hay diferencias estadísticamente significativas en el aprendizaje realizado por los tres grupos experimentales. Sin embargo, no tenemos datos sobre la aplicabilidad a otros colectivos de profesores y otros países. Este aspecto será objeto de investigación en futuros trabajos.

REFERENCIAS

- EASTERDAY, M., REES LEWIS, D., & GERBER, E. (2014). Design-based research process: Problems, phases, and applications. In *Proc. of International Conference of Learning Sciences* (Vol. 14)
- KELLY, A. E., LESH, R. A., & BAEK, J. Y. (2008). Handbook of design research methods in education: Innovations in science, technology, engineering, and mathematics learning and teaching. Abingdon, Oxon: Routledge.
- NIEVEEN, N. (2009). Formative evaluation in educational design research: In T. Plomp & N. Nieveen (Eds.) *An introduction to educational design research*, 89-101, Enschede: SLO.

