



Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOFI

**GESTIÓN, CALIDAD Y DESARROLLO
EN LAS FACULTADES DE INGENIERÍA**

Cartagena de Indias, Colombia
18 al 21 de septiembre de 2018



METODOLOGÍA DE DISEÑO DE ACTIVIDADES DE AULA QUE FOMENTAN EL USO DEL ERROR Y EL FRACASO EN EL APRENDIZAJE Y SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN MATEMÁTICAS E INGENIERÍA

Alfonso Meléndez Acuña

**Escuela Colombiana de Ingeniería
Bogotá, Colombia**

Resumen

La importancia del error y el fracaso como elementos generadores del conocimiento, junto a la innovación y la creatividad siempre han estado presentes a lo largo de la historia de la ciencia, el arte y la educación. Las siguientes frases de diversos autores lo confirman:

"El error del pasado es la sabiduría y el éxito del futuro". Dale Turner

"El conocimiento descansa no sólo sobre la verdad sino también sobre el error". C.J.Jung

"La perfección es una pulida colección de errores". Mario Benedetti

"El triunfo del verdadero hombre nace de las cenizas del error". Pablo Neruda

"Una persona que nunca cometió un error, nunca intentó algo nuevo". Albert Einstein

"Cada fracaso enseña al hombre algo que necesitaba aprender". Charles Dickens

"La educación debe mostrar que no hay conocimiento que no esté, en algún grado, amenazado por el error y por la ilusión". Edgar Morin

"Me gustan mis errores, no quiero renunciar a la libertad deliciosa de equivocarme". Charles Chaplin

Sin embargo, a la hora de poner en práctica estas reflexiones en el día a día de la educación surgen las siguientes preguntas:

- ¿Cómo transferimos estas ideas en nuestro día a día a las aulas de clase?
- ¿Debemos dejar que los errores y fracasos surjan naturalmente o debemos desarrollar entornos de aprendizaje que los fomenten?
- ¿Cómo se pueden diseñar entornos de aprendizaje efectivos que amplifiquen el aprendizaje a través del error y el fracaso?

- ¿Cómo podemos medir el impacto de estas actividades sobre el aprendizaje?

La metodología *Productive Failure* (fallos productivos o fracasos productivos), desarrollada por Manu Kapur, experto en ciencias del aprendizaje, busca involucrar a los estudiantes en actividades cuidadosamente diseñadas que conducen al fracaso, para luego ayudarlos a comprender cómo estaban pensando, dónde y por qué su pensamiento era correcto, incorrecto o mal concebido. Así mismo, consolidar y amplificar su conocimiento en los conceptos correctos y formalizados. En otras palabras, se diseña deliberadamente para el fracaso y luego este fracaso se utiliza para mejorar el aprendizaje y hacerlo más flexible, sólido y permanente.

En este artículo se explica en detalle esta novedosa metodología que lleva al diseño de estas actividades, se ilustra su uso a través de ejemplos concretos que se aplican en el aula de clase y, finalmente, se discuten sus beneficios con respecto a los métodos tradicionales de enseñanza de las ciencias básicas y la ingeniería.

Palabras clave: error; solución de problemas; metodología

Abstract

The importance of error and failure as generative elements of knowledge, innovation and creativity have always been present throughout the history of science, art and education, famous phrases of various authors confirm these claim:

"The errors of the past are the wisdom and success of the future" Dale Turner

"Knowledge rests not only on truth but also on mistakes" C: J.Jung

"Perfection is a polished collection of errors" Mario Benedetti

"The triumph of the true man is born from the ashes of error" Pablo Neruda

"A person who never made a mistake, has never tried something new" Albert Einstein

"Each failure teaches man something he needed to learn" Charles Dickens

"Education must show that there is no knowledge that is not, to some degree threatened by error and by illusion" Edgar Morin

"I like my mistakes, I do not want to give up the delicious freedom to be wrong" Charles Chaplin

However, when putting into practice these important reflections in the day to day courses of our colleges or universities, several questions arise like :

- *How do we transfer these ideas to our classrooms?*
- *Should we let mistakes and failures arise naturally or should we develop learning environments that encourage them?*
- *How can effective learning environments be designed to amplify learning through error and failure?*
- *How can we measure the impact on learning with these activities?*

The methodology "Productive Failure" (productive failures or productive failures) developed by the learning science expert Manu Kapur, seeks to involve students in carefully designed activities that

lead to failure, and then help them understand how they were thinking, where and why their thinking was right and wrong or poorly conceived, and then consolidate and amplify their knowledge in the correct and formalized concepts. In other words it is deliberately designed for failure and then this failure is taken to improve learning and make it more flexible, solid and permanent.

The article will explain in detail this innovative methodology that leads to the design of these activities, its use will be illustrated through concrete examples used in the classroom and finally its benefits will be discussed with respect to traditional methods of Basic Sciences Teaching and Engineering.

Keywords: *error; problem solving; methodology*

1. Introducción

Los defensores de la instrucción directa (enseñanza tradicional) sostienen que cuando los estudiantes están aprendiendo nueva información deben ser explícitamente guiados de qué hacer y cómo hacerlo. Argumentos muy comunes para defender esta posición tienen que ver con los problemas que implican una instrucción no supervisada o mínimamente guiada, que incluyen, entre otros, los siguientes:

- Una mayor carga de memoria operativa que interfiere con la formación de esquemas conceptuales (Sweller, 1988).
- La codificación de errores y conceptos erróneos por parte del estudiante (Brown y Campione, 1994).
- Problemas afectivos de frustración y desmotivación (Hardiman et al., 1986).

Esto ha motivado la creencia de que hay poca eficacia cuando los estudiantes intentan resolver problemas sin instrucción guiada o cuando abordan conceptos que aún no han aprendido. Esta creencia la expresa claramente Sweller (2010): "¿Qué se puede ganar dejando al alumno buscar una solución cuando la búsqueda generalmente lleva mucho tiempo, puede dar como resultado una solución no óptima o, incluso, ninguna solución?" (p. 128).

La base de esta creencia proviene de una gran cantidad de evidencia empírica acumulada a lo largo del tiempo, que ha comparado favorablemente una instrucción directa fuertemente guiada (por ejemplo, ejercicios trabajados) con instrucción de aprendizaje por descubrimiento no guiada o mínimamente guiada (Kirschner et al., 2006). Por supuesto, no es sorprendente que el aprendizaje sea menos efectivo en un entorno de descubrimiento no guiado o mínimamente guiado, cuando se les compara con una instrucción directa fuertemente guiada.

También existen razones suficientes para creer en la efectividad de comenzar con la resolución de problemas de manera autónoma (contrario a la instrucción directa).

- Preparar a los estudiantes para aprender mejor de las instrucciones posteriores (Kapur, 2012; Schwartz y Martin, 2004).

- Generar soluciones antes de la instrucción puede ayudar a los estudiantes a descubrir las inconsistencias y darse cuenta de los límites de sus conocimientos previos (DeCaro y Rittle-Johnson, 2012).
- La activación y diferenciación del conocimiento previo puede ofrecer mayores oportunidades para las comparaciones entre las soluciones generadas por los estudiantes y las correctas, lo que ayuda a los estudiantes a atender y codificar mejor las características críticas del nuevo concepto (Siegler, 1994).

Pero, ¿qué sucede si se combinan estos dos métodos de aprendizaje al aprender un nuevo concepto? Hay dos posibles maneras:

¿Enseñar primero a los alumnos el concepto y sus procedimientos asociados y luego resolver problemas o resolver problemas primero, incluso si esto conduce al fracaso, y luego enseñar el concepto y los procedimientos?

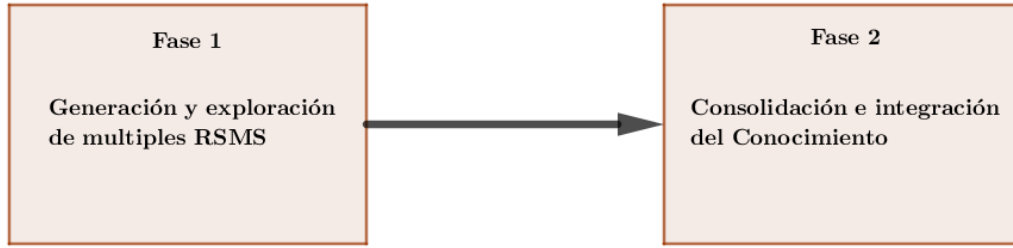
2. Metodología

El diseño de aprendizaje PF (*productive failure* o fracaso productivo) genera entornos de aprendizaje que brindan a los estudiantes la oportunidad de participar en una auténtica práctica matemática o de ingeniería. Se comienza generando y explorando soluciones a un problema nuevo, seguido de una consolidación e integración de conocimiento. La metodología PF ofrece a los estudiantes la oportunidad de activar y diferenciar sus conocimientos previos de un tema, para que estén luego mejor preparados para aprender los conceptos claves característicos del tema durante una instrucción posterior. PF requiere involucrar a los estudiantes en un diseño de aprendizaje que incorpore cuatro mecanismos centrales interdependientes:

- a) Activación y diferenciación del conocimiento previo en relación con los conceptos específicos.
- b) Atención a las características conceptuales críticas de los conceptos específicos.
- c) Explicación y elaboración de estas características.
- d) Organización y ensamblaje de las características conceptuales críticas en los conceptos específicos.

Los cuatro mecanismos centrales están incorporados en un diseño que comprende dos fases:

METODOLOGÍA DE DISEÑO DE ACTIVIDADES DE AULA QUE FOMENTAN EL USO DEL ERROR Y EL FRACASO EN EL APRENDIZAJE Y SOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN MATEMÁTICAS E INGENIERÍA



Fase 1 : Oportunidades para que los estudiantes generen y exploren las facilidades y restricciones de RSMS

Fase 2 : Oportunidades para organizar e integrar las RSMS generadas en RSMS estándar

Los diseños de ambas fases involucran decisiones sobre la creación de las actividades, las estructuras de participación y el entorno social (tabla 1). Estas decisiones son guiadas por los siguientes principios básicos de diseño para incorporar los mecanismos mencionados:

1. Crear contextos de resolución de problemas que implican trabajar en problemas complejos que desafían pero no frustran, dependen de recursos matemáticos previos y admiten múltiples RSM¹ (mecanismos a y b).
2. Proporcionar oportunidades para la explicación y la elaboración (mecanismos b y c).
3. Brindar oportunidades para comparar y contrastar las posibilidades y restricciones de los RSM fallidos o subóptimos y el ensamblaje de los RSM canónicos (mecanismos b-d).

Tabla 1

CAPAS DE DISEÑO Y PRINCIPIOS INVOLUCRADOS			
FASES DE DISEÑO	TAREA	ESTRUCTURAS DE PARTICIPACIÓN	ENTORNO SOCIAL
1. Generar y explorar múltiples representaciones y métodos de solución (RSMS)	Diseño de tareas adecuadamente complejas y atractivas	Permitir colaboración que permita estudiantes realizar, criticar, explicar y evaluar trabajo compartido. Enriqueciendo las representaciones compartidas y los espacios de solución.	Crear un espacio seguro para que los estudiantes exploren acordando normas sociales y dando soporte efectivo a la persistencia.
2. Organización e integración del conocimiento	Comparar y contrastar ideas de estudiantes con ideas estándar	Permitir el compromiso del estudiante a través de presentaciones y participación. Profesores como facilitadores resaltando las partes críticas.	Crear un espacio seguro para explorar las habilidades y las restricciones de las RSMS generadas por los estudiantes. Con el fin de mejorarlas y no juzgarlas como correctas o incorrectas.

1

Multiple Representations and Solution Methods (Múltiples representaciones y métodos de solución).

3. Investigación

Objetivo. Enseñar a los estudiantes el concepto de desviación estándar (y sus procedimientos asociados). La actividad es la siguiente:

¿Cuál es el Jugador de baloncesto más consistente?

Miguel y Carlos son los dos primeros jugadores en una liga de baloncesto. La tabla muestra el número de puntos marcados por Miguel y Carlos en el transcurso de 20 juegos en la Liga. Se debe otorgar un premio al jugador más consistente de los dos. La decisión tiene que ser realizada matemáticamente. Diseñe tantas medidas de consistencia como pueda para determinar el jugador más consistente.

Mostrar todo su trabajo

	A	B	C
1	Juego	Miguel	Carlos
2			
3		1	24
4		2	19
5		3	24
6		4	20
7		5	25
8		6	21
9		7	25
10		8	21
11		9	26
12		10	22
13		11	26
14		12	22
15		13	27
16		14	23
17		15	27
18		16	23
19		17	28
20		18	24
21		19	29
22		20	24

El día del experimento, los estudiantes realizaron dos fases de una hora cada una. La mitad de ellos trabajó en una fase de resolución de problemas y una fase de instrucción. Los demás empezaron con la fase de instrucción y luego hicieron la de resolución de problemas. Un mismo maestro enseñó ambas fases. El tiempo, el número de problemas resueltos y los materiales para cada una de las fases fueron idénticos. La enseñanza se organizó en torno a cuatro problemas que demuestran el concepto. Durante la fase de ID, el maestro dirigió la atención a las características críticas de SD y resaltó errores comunes y conceptos erróneos. El **cuarto problema** se tomó como un indicador del aprendizaje del procedimiento para calcular e interpretar conceptualmente la SD. En esta sección, dos evaluadores independientes anotaron las soluciones de los estudiantes como correctas o incorrectas.

Finalmente, luego de que terminaron las dos fases (ID y FP), a los estudiantes se les realizaron pruebas de:

- Conocimiento procedimental.
- Comprensión conceptual.
- Capacidad de transferencia.

4. Resultados

Fase: Solución de problemas

Los estudiantes en el grupo FP produjeron en promedio **seis** soluciones diferentes (Media = 6,08, Desviación estándar = 1,53).

Los estudiantes en el grupo ID produjeron en promedio **tres** soluciones diferentes (Media = 2,85, Desviación estándar = 0,45).

Todos los estudiantes del grupo ID generaron la solución estándar del problema (usar la desviación estándar) y ninguno del grupo FP generó la solución estándar.

Fase: Instrucción directa

Los porcentajes de estudiantes en los grupos FP e ID con soluciones correctas del cuarto problema fueron 97.3 y 97.4, respectivamente.

Pruebas postest:

Se utilizaron análisis de covarianza univariados que sugirieron que no había una diferencia significativa entre FP e ID en conocimiento procedimental ($F [1, 69] = 0.02, p = .896$). Sin embargo, estudiantes de FP superaron **significativamente** a los estudiantes ID en *comprensión conceptual* ($F [1, 69] = 40.23, p <.001, d = 2.00$) y *transferencia* ($F [1, 69] = 16.92, p <.001, d = 1.52$). Finalmente, la cantidad de soluciones generadas por los estudiantes de FP durante su resolución de problemas se **correlacionó** significativamente con sus puntuaciones posteriores en la prueba de comprensión conceptual ($r [37] = .65, p <.001$) y transferencia ($r [37] = .81, p <.001$), pero no con conocimiento procedimental. No hubo tales correlaciones significativas en la fase ID.

5. Discusión

Los estudiantes con FP superaron ampliamente a los de ID en comprensión conceptual y transferencia sin comprometer el conocimiento procedimental. Por lo tanto, la evidencia respalda la hipótesis de que el método PF activó y diferenció el conocimiento previo de los estudiantes durante la fase de solución de problemas, que puede haberlos preparado para aprender de la instrucción posterior.

La significativa correlación entre la cantidad de soluciones generadas por los estudiantes de PF durante la fase de resolución de problemas es un indicador indirecto de la activación del conocimiento previo y diferenciación, y su comprensión conceptual y rendimiento de transferencia en la prueba posterior genera credibilidad adicional en esta explicación.

6. Referencias

Artículos de revistas

- DeCaro, M. S. & Rittle-Johnson, B. (2012). Exploring mathematics problems prepares children to learn from instruction. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113(4), 552-568.
- Kapur, M. (2014). Productive failure in learning math. *Cognitive Science*, 38 (5), 1008-1022.

- Kapur, M. (2012). Productive failure in learning the concept of variance. *Instructional Science*, 40(4), 651-672.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work. *Educational Psychologist*, 41 (2), 75-86.
- Schwartz, D. L. & Martin, T. (2004). Inventing to prepare for future learning: The hidden efficiency of encouraging original student production in statistics instruction. *Cognition and Instruction*, 22(2), 129-184.
- Siegler, R. S. (1994). Cognitive variability: A key to understanding cognitive development. *Current Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. Cognitive Science*, 12, 257-285. *Directions in Psychological Sciences*, 3, 1-5.

Libros

- Brown, A. & Campione, J. (1994). Guided discovery in a community of learners. In K. McGilly (Ed.), *Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice*. Cambridge, MA: MIT Press, pp. 229-270.
- DeCaro, M. S. & Rittle-Johnson, B. (2012). Exploring mathematics problems prepares children to learn from Hardiman, P., Pollatsek, A., & Weil, A. (1986). Learning to understand the balance beam. *Cognition and Instruction*, 3, 1-30.
- Sweller, J. (2010). What human cognitive architecture tells us about constructivism. In S. Tobias & T. M. Duffy (Eds.), *Constructivist instruction: Success or failure*. New York: Routledge, pp. 127-143 New York: Routledge.

Sobre los autores

- **Alfonso Meléndez Acuña:** Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Ingeniero de sistemas, matemático y magíster en Informática Educativa de la Universidad de los Andes. Par académico nacional e internacional del Ministerio de Educación desde 2002.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2018 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)