

Conflicto cognitivo y enseñanza activa para la evolución conceptual de la mecánica newtoniana

Rolando A. Díaz-Delgado¹, Manuel Ramírez Panatt^{2*}, Gisella Barrios Soto², Maximiano Álvarez Fajardo²

Resumen

Esta experiencia de aula tiene como objetivo evaluar la efectividad de una estrategia de enseñanza basada en el enfoque de clase activa, utilizando el conflicto cognitivo, para facilitar el aprendizaje del concepto de fuerza y las leyes de Newton en estudiantes de segundo nivel de educación secundaria. Se implementó un diseño cuasi experimental que incluyó un grupo experimental y un grupo de control, utilizando la ganancia normalizada (G-Hake) como indicador de la efectividad. La propuesta didáctica se centró en actividades demostrativas e interactivas, comenzando con la tercera ley de Newton y utilizando la estrategia Predict–Observe–Explain (POE) para confrontar las concepciones iniciales de los estudiantes con evidencia empírica. Los resultados indican que la intervención mejoró la comprensión de la 3ª ley de la dinámica y ayudó a reconstruir el concepto de fuerza. Se observó que la evolución conceptual es más efectiva cuando los estudiantes formulan hipótesis erróneas y que la ganancia normalizada (G-Hake) fue comparable con los logros en instituciones de educación superior en América Latina. Estos hallazgos subrayan el potencial de las estrategias activas para enriquecer la enseñanza de la física en el contexto de la educación secundaria.

Palabras clave: Mecánica newtoniana, conflicto cognitivo, enseñanza activa de la Física, Estrategia POE

¹ Universidad de Chile

² Colegio Alemán de Concepción

rolandodiaz@uchile.cl, mramirez@dsc.cl, gbarrios@dsc.cl, malvarez@dsc.cl

Abstract

This classroom experience aims to evaluate the effectiveness of a teaching strategy based on the active class approach, using cognitive conflict, to facilitate the learning of the concept of force and Newton's laws in second-level secondary education students. A quasi-experimental design was implemented, including an experimental group and a control group, using normalized gain (G-Hake) as an indicator of effectiveness. The didactic proposal focused on demonstrative and interactive activities, starting with Newton's third law and using the Predict–Observe–Explain (POE) strategy to confront students' initial conceptions with empirical evidence. The results indicate that the intervention significantly improved the understanding of the Newton's third law and helped reconstruct the concept of force. It was observed that conceptual evolution is more effective when students formulate incorrect hypotheses and that the normalized gain (G-Hake) was comparable to those achieved in higher education institutions in Latin America. These findings highlight the potential of active strategies to enrich physics teaching in the context of secondary education.

Keywords: Newtonian mechanics, cognitive conflict, active Physics teaching, POE strategy

1 Universidad de Chile

2 Colegio Alemán de Concepción

rolandodiaz@uchile.cl, mramirez@dsc.cl, gbarrios@dsc.cl, malvarez@dsc.cl

1. Introducción

La mayoría de los especialistas en la enseñanza de la Física coinciden en que la comprensión de los conceptos fundamentales de la mecánica newtoniana resulta crucial para la elaboración de una base sólida en física, sin embargo, la literatura en didáctica de la física muestra claramente que existen serias dificultades en la comprensión por el estudiantado de enseñanza media e incluso universitaria de las leyes de Newton (Lara-Barragán, 2011), evidenciando la necesidad de implementar estrategias y secuencias didácticas innovadoras. Por ello, se decidió estudiar el impacto de una estrategia de secuenciación no tradicional, con clases activas e interactivas, utilizando el método POE (Predict–Observe–Explain) y el empleo de actividades de aprendizaje con experiencias demostrativas orientadas a crear conflicto cognitivo en los estudiantes considerando que Cudmani et. al. (1991) mencionan que, al cuestionar y generar un choque cognitivo, no sólo se afianzará la estructura y el modelo cognoscitivo (asimilación y acomodación) sino que también las hipótesis erróneas generadas por los estudiantes, al no corresponderse con la observación, se convierten en “motores generadores de nuevos cambios paradigmáticos” conduciendo finalmente a un aprendizaje significativo. Las experiencias demostrativas empleadas se eligieron según los siguientes criterios: que tengan vínculo directo con el concepto a enseñar, que se puedan implementar con materiales sencillos y de bajo costo, que sean lo suficientemente sorprendentes para el grupo de estudio como para captar la atención y generar curiosidad y motivación hacia el tema. Además, debe visibilizar con claridad la relación del fenómeno con el concepto a estudiar.

Para la evaluación del impacto se utilizó como instrumento una adaptación del cuestionario Force Concept Inventory (FCI) y la ganancia normalizada (G-Hake). Se decidió priorizar el tratamiento del concepto de fuerza asegurando que el estudiantado logre una comprensión clara de qué es una fuerza considerándola como parte de un par de interacción entre dos objetos. Lo anterior conduce naturalmente a la enseñanza de la noción de fuerza a partir del par acción y reacción.

Con el grupo experimental de estudiantes se utilizó una secuencia didáctica inversa a la tradicional comenzando con la ley de acción y reacción, que sienta las bases conceptuales para la comprensión del concepto de fuerza como el resultado de una interacción (Stocklmayer, et al, 2012; Lara-Barragán, A., 2011), para luego seguir con la ley fundamental y la ley de inercia, en ese mismo orden. La estrategia de enseñanza utilizada fue el uso de actividades experimentales demostrativas empleando el procedimiento POE que le brindó el carácter interactivo y facilitó la promoción del análisis reflexivo comparando las predicciones con la observación para promover la explicación. Mientras tanto el grupo control abordó primero el concepto fuerza de manera expositiva, para luego aplicar el método POE con la secuencia de enseñanza tradicional, es decir la primera, segunda y tercera ley de Newton.

2. Metodología

La experiencia de aula fue llevada a cabo en el Colegio Alemán de Concepción, con estudiantes de segundo medio y se utilizó una metodología cuasi experimental (Ferreira & Rodríguez, 2011).

Para evaluar la efectividad de la estrategia de enseñanza empleada se utilizó la ganancia normalizada (G-Hake) (Lara-Barragán, 2011), con un cuestionario FCI modificado, aplicando al inicio un pre test y al final un post test idéntico. Las distintas preguntas del FCI fueron clasificadas según la ley de la mecánica que evaluaban para poder establecer la efectividad con mayor nivel de detalle.

$$G_{Hake} = \frac{\text{Logro en Post test} - \text{Logro en Pre test}}{100\% - \text{Logro en Pre test}}$$

En el análisis de resultados se consideró únicamente a los estudiantes cuya G-Hake estuvo dentro de un intervalo típico (distanciados a menos de dos desviaciones estándar de la media) y que compartieron el mismo horario de clases (08:00 hrs a 09:25 hrs). La decisión de excluir los resultados de los estudiantes que tuvieron clases en la tarde (14:45 hrs a 16:05 hrs) fue debido a que las G-Hake de ese grupo fueron significativamente inferiores, evidenciando la influencia del factor horario en el aprendizaje, además de no contar con un grupo control en la tarde. La selección de los grupos de estudio (control y experimental) se realizó según la Fig. 1:

Figura 1

Diagrama de selección de grupo objetivo de estudio



3. Resultados y discusión

Los resultados de la experiencia de aula indican que la inversión del orden de las leyes de Newton no tuvo el efecto esperado (G-Hake grupo experimental: 0,26 G-Hake grupo control: 0,26), pero su valor es similar a otros de nivel universitario. Por otro lado, se analizaron los resultados individualizados por cada ley. Se calcularon las ganancias considerando las preguntas que evaluaron el aprendizaje de los estudiantes en cada una de las leyes. Así se obtuvo la tabla 1.

Tabla 1: *G-Hake por tema y por grupo*

Tema	G Control	G Experimental	G Ponderada
Ley de Inercia	0,20	0,17	0,18
Ley Fundamental	0,13	0,07	0,10
Ley Acción y Reacción	0,47	0,55	0,52
FCI adaptado completo	0,26	0,26	0,26

La Tabla 1 muestra que el aprendizaje de la ley de acción y reacción es superior en el grupo experimental, pero en las otras dos leyes los resultados fueron favorables para el grupo control. Se observan grandes diferencias al comparar los resultados en el aprendizaje de la tercera ley con respecto a las otras. Se considera que las experiencias demostrativas usadas para la primera y segunda ley no fueron tan significativas. Por otra parte, para las experiencias usadas en la tercera ley (Anexo) se apreciaron en los 2 grupos expresiones que demostraban asombro, sorpresa, generación de dudas e hipótesis erróneas.

4. Reflexiones finales y conclusiones

De los resultados se concluye que bajo las condiciones específicas del colegio en donde se aplicó la estrategia descrita, el orden de la secuencia de enseñanza de las leyes de Newton no influyó en la ganancia de su aprendizaje. Hay que destacar que se empleó la misma estrategia de enseñanza para ambos grupos, excepto el orden de las leyes y que la G-Hake para el FCI completo tuvo el mismo valor para ambos grupos de lo que se infiere la efectividad de la estrategia empleada. Por otro lado, el análisis de resultados arrojó datos interesantes sobre el segmento horario del ramo de física. Se espera replicar esta experiencia con otra cohorte estudiantil usando como grupo de control a estudiantes de otro colegio similar pero donde se usen estrategias tradicionales.

En la comparación del resultado entre la primera y segunda ley con respecto a la tercera, se aprecia un aumento de la ganancia. Esto se atribuye a la calidad de las experiencias demostrativas realizadas, pues en la tercera ley se apreció una mayor discordancia entre las hipótesis de los estudiantes con las observaciones realizadas. Para la descripción detallada de las experiencias demostrativas empleadas consultar el Anexo (enlace: https://drive.google.com/drive/folders/12t2Vpy0vo2A20i72B7Qo6W8rDFvNT0DG?usp=share_link)

Referencias

- Aguilar, A. F., Flores, C. J., Pacheco, B. D., & Dueñas, R. E. (2024). Aprendizaje conceptual de las leyes de Newton mediante secuencias didácticas con simulaciones en realidad aumentada. *EDUTECH*, (90), 19-33.
- Cudmani, L., Salinas, J. y Pesa, M. (1991). La generación autónoma de «conflictos cognoscitivos» para favorecer cambios de paradigmas en el aprendizaje de la física. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), pp. 237-242.
- Ferreira, J., & Rodríguez, R. (2011). Efectividad de las actividades experimentales demostrativas como estrategia de enseñanza para la comprensión conceptual de la tercera ley de Newton en los estudiantes de fundamentos de Física del IPC. *Revista de investigación*, 35(73), 61-84.
- Lara-Barragán, A. (2011). Un modelo de enseñanza neuropedagógico de las Leyes de Newton para la Net Gen. *Latin-American Journal of Physics Education*, 5 (2), 33.
- Stocklmayer, S., Rayner, J. P., & Gore, M. M. (2012). Changing the order of Newton's laws—Why & how the third law should be first. *The Physics Teacher*, 50 (7), 406-409.