

Ideas previas acerca de la mecánica clásica de los ingresantes de Ingenierías y Física de la Universidad Nacional del Sur

Previous ideas about classical mechanics of engineering and physics students at Universidad Nacional del Sur

Francisco Saenz¹ y Hugo Daniel Hernández Redlich¹

¹Departamento de Física, Universidad Nacional del Sur, Av. Alem 1253. CP 8000, Bahía Blanca, Pcia. de Buenos Aires. Argentina.

E-mail: francisco.saenz@uns.edu.ar

Resumen

Este trabajo de corte cuantitativo se propuso describir y comparar las ideas previas de los estudiantes del Curso de Nivelación en Física de la Universidad Nacional del Sur. Para ello se aplicó el Cuestionario sobre el Concepto de Fuerza (elaborado por David Hestenes en 1985) en su modalidad pretest y postest a una muestra significativa del estudiantado del curso a inicios de 2021, en el contexto de educación remota por aislamiento social y preventivo. A partir de los resultados del mismo se estudió el nivel de conceptualización newtoniano y su aprendizaje. También se analizó la frecuencia de aparición de ideas previas no-newtonianas y la correlación de los resultados del cuestionario con el rendimiento académico. Se encontró que los estudiantes respondieron en promedio un 27 % de respuestas correctas en la encuesta previa, y un 38 % en la encuesta posterior, obteniendo una ganancia de 16 %. Por otra parte, se concluyó que existe una correlación positiva débil ($R=0,25$) entre el rendimiento académico y el conocimiento conceptual final de la mecánica clásica.

Palabras clave: Cuestionario sobre el Concepto de Fuerza; Ideas previas; Mecánica; Cinemática; Dinámica.

Abstract

In this work, with a quantitative approach, we proposed to describe and compare the previous ideas of the students of the physics introductory course of the Universidad Nacional del Sur. For this purpose, the Force Concept Inventory (by David Hestenes in 1985) was applied as a pre and posttest to a significant sample of the students that took this course at the beginning of 2021, in the context of virtual education due to social and preventive isolation. Based on the results, the level of Newtonian conceptualization and learning were studied both at a general level and divided into conceptual categories. The correlation of the general results with academic performance and the frequency of occurrence of non-Newtonian previous ideas were also studied. It was found that students responded on average 27 % correct answers in the pre-survey, and 38 % in the post-survey, obtaining a Hake gain of 16 %. On the other hand, it was concluded that there is a weak positive correlation ($R=0.25$) between academic performance and final conceptual knowledge of classical mechanics.

Keywords: Force Concept Inventory, Previous ideas, Mechanics, Kinematics, Dynamics.

I. INTRODUCCIÓN

A. El Curso de Nivelación en Física

En la Universidad Nacional del Sur, para iniciar el cursado de numerosas materias de las carreras pertenecientes al Departamento de Física y de la mayor parte de las Ingenierías, se presenta como requisito la aprobación de un Curso de Nivelación en Física, con una duración de seis semanas de cursado, y una carga horaria semanal de diez horas. Durante el curso, en una primera instancia, se presentan contenidos conceptuales y procedimentales de cinemática, en torno a las nociones de posición, velocidad y aceleración, y problemas de tiro vertical, caída libre y encuentro. Posteriormente, en relación con la dinámica del cuerpo puntual se desarrollan conceptos y ejercicios relacionados a la identificación de fuerzas y a las leyes de Newton. Al representar un requisito obligatorio para el cursado de muchas materias, este curso de nivelación resulta una instancia crucial para más de 500 estudiantes por año. En los últimos años, el curso ha obtenido un porcentaje de aprobación inferior al 50 %.

En la edición del año 2021, debido a la coyuntura sanitaria, el curso se realizó de manera virtual por medio del dictado de clases sincrónicas en videoconferencia, con una carga horaria y una duración idénticas a la edición presencial. En esta oportunidad, la evaluación para acreditación se desarrolló a partir de tres cuestionarios. Uno inicial, relacionado con temas básicos de matemática, el segundo relacionado a la unidad de cinemática y el tercero relacionado a la unidad de dinámica.

B. Las ideas previas en el proceso de enseñanza-aprendizaje

Desde los años setenta, fundamentado en la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel, Novak y Hanesian (1983), el estudio de las “ideas previas” (también conocidas con muchas otras denominaciones) se ha situado en una posición de suma relevancia para la investigación educativa. Según Bello (2004), las ideas previas son construcciones que un sujeto elabora en respuesta a la necesidad de interpretar ciertos fenómenos, así como para brindar explicaciones, descripciones o predicciones. Entre sus características, esta autora menciona que si bien son personales, se han encontrado notables similitudes entre las ideas previas de distintas poblaciones. Además, son sumamente resistentes al cambio, persistiendo incluso luego de la instrucción escolar en el tema. En los sujetos estas ideas se encontrarían interrelacionadas, configurando lo que se llama un “esquema representacional”.

Diversos estudios (Clement, 1982; Van Heuvelen, 1991) han encontrado que las ideas previas de los estudiantes interfieren con el aprendizaje de los conceptos científicos, pudiendo manifestarse rechazando, negando o desestimando la nueva información. Por lo anterior, existe actualmente consenso respecto de la importancia de conocer los esquemas representacionales de los estudiantes, así como de estudiar la importancia que tienen estos en los procesos de enseñanza y aprendizaje (Bello, 2004).

En consonancia con esto, otro concepto relacionado es el de cambio conceptual, que refiere a la transformación de los esquemas representacionales (conformados por ideas previas interrelacionadas) en concepciones científicas (Bello, 2004). Desde esta perspectiva, el cambio conceptual se configuraría como uno de los principales objetivos del proceso educativo. Es en este sentido que comprender el proceso de cambio conceptual resulta fundamental para plantear cambios en la metodología de enseñanza que lo favorezcan.

C. El Cuestionario sobre el Concepto de Fuerza

Elaborado por David Orlin Hestenes en 1985, y publicado académicamente en 1992, el Cuestionario sobre el Concepto de Fuerza (en adelante *FCI*, por su sigla en inglés) es un test diseñado con la función de ayudar a docentes a evaluar las ideas previas que los estudiantes tienen acerca de los conceptos típicamente abordados en el primer semestre de estudios universitarios en física.

En su publicación original (Hestenes, Wells y Swackhamer, 1992), los autores proponen diversos usos didácticos y de investigación que puede tener el *FCI*: como herramienta diagnóstica, para identificar y clasificar ideas previas, para evaluar la enseñanza por medio de la realización de pretest y postest y la consiguiente comparación de sus resultados, y como examen que facilite la asignación de niveles de dificultad en cursos de física. En la actualidad, el *FCI* cuenta con un gran reconocimiento en el ámbito de la investigación educativa (Regales y Matachana, 2008), habiendo sido utilizado ampliamente a lo largo del mundo (Aratmonova, Mosquera y Aratmonov, 2017; Regales y Matachana, 2008; Caballero, Greco, Murray, Bujak, Jackson Marr, Catrambone, y Schatz, 2012), y en particular en Argentina por Godoy, Benegas y Pandiella (2012), Budini, Marino, Giuliano, Carreri, Cámara y Giorgi (2019) y Badagnani, Petrucci y Cappanini (2012, 2017).

Este cuestionario, en su versión revisada (Halloun, Hake, Mosca y Hestenes, 1995), se compone por un total de treinta preguntas de opción múltiple y única respuesta correcta. Las respuestas posibles para cada pregunta se encuentran asociadas a distintas ideas previas no-newtonianas (distintas de la concepción científica propuesta por la mecánica clásica), según se presenta en la tabla I.

TABLA I. Ideas no-newtonianas estudiadas por el FCI y las respuestas asociadas a cada una de estas ideas, según la taxonomía propuesta por David Hestenes (1995) y los aportes de Temizkan (2003).

Categoría	Código	Idea no-newtoniana	Respuestas asociadas
Cinemática	K1	Posición y velocidad no discriminadas	19B,C,D
	K2	Velocidad y aceleración no discriminadas	19A; 20B,C
	K3	Suma no vectorial de velocidades	9C
	K4	Marco de referencia egocentrado	14A,B
Ímpetu	I1	Ímpetu ¹ por efecto de un golpe	5C,D,E; 11B,C; 27D; 30B,D,E
	I2	Pérdida / recuperación del ímpetu original	7D; 8C,E; 21A; 23A,D
	I3	Disipación del ímpetu	12C,D; 13A,B,C; 14E; 23D; 24C,E; 27B
	I4	Formación gradual / retardada del ímpetu	8D; 10B,D; 21D; 23E; 26C; 27E
	I5	Ímpetu circular	5C,D,E; 6A; 7A,D; 18C,D
Fuerzas activas	AF1	Sólo agentes activos ejercen fuerzas	15D; 16D; 17E; 18A; 28B; 29B; 30A
	AF2	Movimiento implica fuerza activa	5C,D,E; 27A
	AF3	Ausencia de movimiento implica ausencia de fuerzas	29E
	AF4	Velocidad proporcional a fuerza aplicada	22A; 26A
	AF5	Aceleración implica fuerza en aumento	3B
	AF6	Fuerza solo causa aceleración hasta cierta velocidad límite	3A; 22D; 26D
	AF7	La fuerza activa se gasta	22C,E
Concatenación de influencias	CI1	La mayor fuerza determina el movimiento	17A,D; 25E
	CI2	Compromiso entre fuerzas determina el movimiento	6D; 7C; 12A; 14C; 21C
	CI3	Última fuerza que actúa determina el movimiento	8A; 9B; 21B; 23C
Par acción-reacción	AR1	Mayor masa implica mayor fuerza	4A,D; 15B; 16B; 28D
	AR2	Agente más activo produce mayor fuerza	15C; 16C; 28D
	AR3	Una masa pasiva (más ligera) implica una fuerza mayor	4B; 18A; 28C
Otras influencias en el movimiento	CF	Fuerza centrífuga	5E; 6C,D,E; 7C,D,E; 18E
	OB	Los obstáculos no ejercen fuerzas	4C; 5A; 11A,B; 15E; 16E; 18A; 29A
	AC	Mayor distancia recorrida implica mayor aceleración	20A
	R1	La masa hace que las cosas se detengan	27A,B
	R2	El movimiento ocurre cuando la fuerza vence a la resistencia	25A,B,D; 26B
	R3	Resistencia se opone a la fuerza / ímpetu	26B
	G1	Presión del aire contribuye a la acción de la gravedad	3E; 11A; 17D; 29C
	G2	Gravedad es intrínseca a la masa	3D; 11E; 13E
	G3	Objetos más pesados caen más rápido	1A; 2B,D
	G4	La gravedad aumenta mientras los objetos caen	3B; 13B
	G5	La gravedad actúa después de que el ímpetu se agota	12D; 13B; 14E
	G6	Objetos más livianos caen más rápido	1B, E; 2C, E
	G7	Gravedad equivale a fuerza de fricción	25A,E
	G8	Gravedad ignorada	29C

Por otra parte, en función de estudiar el grado de conocimiento de los distintos temas relacionados al cuestionario, Caballero *et al.* (2012) clasificaron las preguntas del FCI en cinco categorías conceptuales: cinemática (1, 2, 14, 19, 20),

¹ El concepto "ímpetu" es definido en la publicación original del FCI (Hestenes et al., 1992), como una "energía motriz" o "fuerza intrínseca" inanimada que mantiene a los objetos en movimiento.

1era Ley de Newton (6, 7, 8, 10, 12, 21, 23), 2da Ley de Newton (3, 9, 22, 24, 25, 26, 27), 3era Ley de Newton (4, 15, 16, 28) e Identificación de fuerzas (5, 11, 13, 17, 18, 29, 30).

Los resultados obtenidos mediante la aplicación del *FCI* son analizados de maneras diversas. Regales y Matachana (2008) sintetizan algunos parámetros de evaluación usuales en investigaciones que utilizan el *FCI*, entre los que mencionan:

1. *Media del porcentaje de respuestas correctas del FCI (B)*, como indicador del nivel de conocimiento general y de cada categoría a analizar. Varía entre 0 y 100 %.

2. *Incremento relativo de respuestas correctas entre el pretest y el posttest respecto a la mejora posible* (también llamado Factor de Hake o ganancia). Usualmente se lo conoce como eficiencia didáctica y se utiliza como indicador de aprendizajes. Se expresa como:

$$g = \frac{B2 - B1}{100 - B1} \quad (1)$$

En trabajos compilatorios previos se han estudiado los resultados de la aplicación del *FCI* tanto en su modalidad pre como postest, en diferentes regiones. Aratmonova *et al.* (2017) revisó 21 aplicaciones del *FCI* realizadas en Latinoamérica, encontrando un promedio de 27 % de respuestas correctas en la modalidad pretest y 42 % para el postest, así como una ganancia promedio del 20 %. En el caso de la muestra global de poblaciones universitarias estadounidenses se observó una puntuación del 32 % en pretest, 68 % en postest y un factor de Hake de 53 % (Regales y Matachana, 2008). Para poblaciones universitarias de España, los mismos autores encontraron una media de 41 % en la modalidad pretest, 48 % en el post y un factor de Hake del 12 %.

D. Objetivos

En función de aportar información que favorezca la mejora continua de la propuesta pedagógica y didáctica del curso, en este trabajo se propuso como objetivo general describir y comparar las ideas previas de los estudiantes del Curso de Nivelación en Física de la Universidad Nacional del Sur en relación con los contenidos conceptuales básicos de mecánica clásica. Asimismo, se delinearon los siguientes objetivos específicos:

- Analizar cuáles son las ideas previas no newtonianas más frecuentes de los estudiantes que inician el Curso de Nivelación en Física.
- Indagar el grado de cambio conceptual logrado a partir del Curso de Nivelación en Física en su edición virtual.
- Determinar qué ideas no newtonianas persisten (o aparecen) con mayor frecuencia al finalizar el curso.
- Determinar si las ideas previas de los estudiantes sobre la mecánica clásica encuentran carácter predictivo de su rendimiento académico en el Curso de Nivelación en Física.
- Determinar si el rendimiento académico en el Curso de Nivelación en Física encuentra correlación con una adecuada conceptualización sobre la mecánica clásica al finalizar el curso.

Acorde a los objetivos mencionados, este trabajo encuentra un alcance tanto descriptivo como correlacional, en tanto busca especificar características de personas, grupos o procesos, así como conocer el grado de asociación entre diferentes variables (Hernández Sampieri, Fernandez Collado y Baptista Lucio, 2006).

II. METODOLOGÍA

Este estudio se abordó desde un enfoque cuantitativo y un diseño pre-experimental, por medio de la aplicación del Cuestionario sobre el Concepto de Fuerza en su modalidad pretest y postest, y el posterior análisis de sus resultados. Se definió como población a todos los estudiantes presentes en el Curso de Nivelación en Física de la Universidad Nacional del Sur, considerando en condición de presentes a todos los alumnos que se presentaron a las tres instancias de evaluación vinculadas a la acreditación del curso.

Se ofreció de manera voluntaria la realización del *FCI* a todo el estudiantado del curso, tanto en su formato pretest, el primer día del mismo; como postest, durante la semana inmediatamente posterior a su finalización. El test se desarrolló mediante la plataforma Moodle-UNS, en la cual se imparte el propio curso de nivelación, con el objetivo de favorecer una adecuada difusión del cuestionario, así como asegurar su accesibilidad para todos los estudiante. Se explicó que los resultados obtenidos en el mismo serían utilizados con fines académicos tendientes a la mejora de las propuestas didácticas de ediciones futuras del curso, y se aseguró la confidencialidad de los resultados individuales. Los estudiantes que respondieron el pretest se agruparon en la categoría “muestra 1”, mientras que quienes respondieron el postest componen la “muestra 2”.

En función de describir el grado de conocimiento newtoniano de los estudiantes, se utilizó el porcentaje de respuestas correctas en el cuestionario. Los resultados obtenidos tanto antes de iniciar el curso como luego de terminarlo fueron graficados y comparados por medio de histogramas. Para cada caso se obtuvo la media del porcentaje de respuestas correctas. Asimismo, para conocer el grado de conocimiento de cada uno de los temas relacionados al cuestionario, se utilizó como indicador el porcentaje de respuestas correctas para cada categoría conceptual propuesta por Caballero *et al.* (2012). Estos resultados fueron expresados mediante un gráfico de barras.

Para estudiar el grado de aprendizaje alcanzado después del curso, se calculó el factor de Hake entre pretest y postest, tanto para el puntaje general del cuestionario como para cada categoría conceptual. De esta manera se observó y comparó en qué temas se encontró un mayor progreso, estancamiento o retroceso conceptual.

En vistas de explorar las ideas previas no-newtonianas de los estudiantes aparece un factor que agrega complejidad: según la taxonomía de Hestenes, algunas ideas están asociadas a una sola respuesta, otras a varias respuestas de la misma pregunta, y otras a varias respuestas de la misma o distintas preguntas. Por ello, en primera instancia, tal como se realiza en trabajos como el de Bani-Salameh (2016), se calculó el porcentaje de aparición de cada idea previa en cada una de sus preguntas asociadas. El porcentaje de aparición de una idea previa para cierta pregunta asociada es el porcentaje de ocasiones en las que se eligió en ella una respuesta asociada a tal idea previa. Algunas ideas previas se encuentran asociadas a una sola pregunta, por lo que la operación anterior funciona como indicador de la frecuencia de aparición de tal idea previa. En los casos en los que la idea previa no-newtoniana se encuentra asociada a opciones de más de una pregunta, en función de simplificar el análisis se propuso utilizar el promedio del porcentaje de aparición de esta idea previa en las distintas preguntas con las que se vincula.

Finalmente, con el objetivo de determinar si existe correlación entre los resultados del pretest del *FCI* y el rendimiento académico de los estudiantes, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre las puntuaciones obtenidas en el *FCI* y el promedio del segundo y tercer cuestionario del curso (el primer cuestionario no evaluó contenidos propios del *FCI*). De manera análoga, en función de estudiar una posible correlación entre el rendimiento académico y el nivel de conceptualización newtoniana final se obtuvo el coeficiente de Pearson entre las puntuaciones del postest y el promedio del 2do y 3er cuestionario.

III. RESULTADOS

El Cuestionario sobre el Concepto de Fuerza fue respondido por un total de 250 estudiantes en su modalidad pretest y 70 en la modalidad postest, conformando respectivamente la “muestra 1” y la “muestra 2” de este estudio. Todos los estudiantes que completaron el postest también habían completado el pretest. Sobre una población total de 361 estudiantes, la muestra 1 representa el 69 %, mientras que la muestra 2 el 20 %. En ambos casos, la edad presentó una moda de 18 y un promedio de 19 años. Se utilizó el software *Decision Data Analysis STATS 2.0* (2009) para calcular el margen de error y el nivel de confianza asociados a cada muestra. La muestra 1 arroja un margen de error muestral de 5 % y un nivel de confianza de 99 %, mientras que la muestra 2 indica un margen de error de 10 % y un nivel de confianza de 95 %. Por consiguiente, ambas muestras se consideran representativas de la población de estudio.

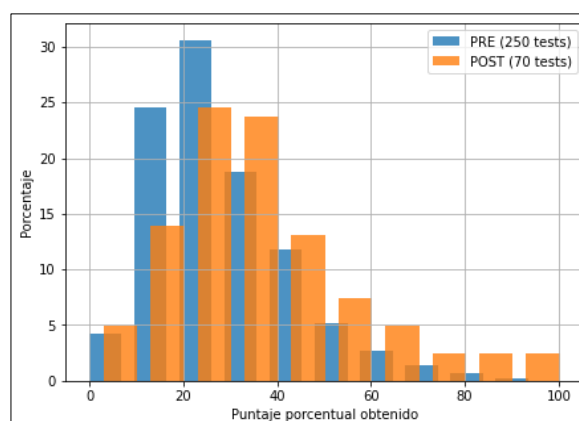


FIGURA 1. Histograma de porcentaje de respuestas correctas en las evaluaciones de *FCI*. En azul el pretest y en naranja el postest (normalizado).

La figura 1 presenta el porcentaje de respuestas correctas obtenido por cada estudiante, en forma de histograma. Se observa un leve corrimiento positivo en el postest. El porcentaje promedio de respuestas correctas fue de 27 % en el pretest y alcanzó un 38 % en el postest. El incremento relativo de respuestas correctas (factor de Hake) fue de 16 %.

Para la muestra 1 se calculó y graficó el porcentaje de respuestas correctas de una de las preguntas, agrupadas en las distintas categorías conceptuales abordadas. Para cada una se obtuvo el porcentaje promedio de respuestas correctas. En conjunto, lo anterior se presenta en la figura 2 (izquierda). Allí se puede apreciar que las categorías “Primera Ley de Newton” (41 %) y “Segunda Ley de Newton” (31 %) son las que presentaron los promedios más altos. Por debajo del promedio general, y en orden descendente, se encuentran las categorías “Cinemática” (26 %), “Tercera Ley de Newton” (22 %) e “Identificación de fuerzas” (12 %).

Los resultados de la muestra 2 fueron utilizados para calcular el incremento relativo de respuestas correctas (factor de Hake) para cada una de las preguntas, categorizadas conceptualmente, como se observa en la figura 2 (derecha). El valor promedio del factor de Hake obtenido es de 16 %. Además, se promediaron los valores de ganancia para cada categoría. El mayor valor de ganancia relativa apareció en la categoría “Tercera Ley de Newton” (31 %), seguida de “Identificación de fuerzas” (19 %). Justamente estas dos categorías habían obtenido los resultados más bajos en el pretest. Los menores valores de ganancia aparecieron en las categorías “Primera Ley de Newton” (13 %), “Cinemática” (11 %) y “Segunda Ley de Newton” (9 %).

Por otra parte, es posible observar una ganancia cercana a valores nulos en las preguntas 5 (2.6 %), 7 (-2.0 %), 8 (-2.0 %), 19 (-4.3 %), 23 (-0.4 %) y 30 (4.3 %). La pregunta 9 es la única con un factor de Hake significativamente negativo, de -19 %. Al respecto, cabe mencionar que al momento de realizar el cuestionario se reportó que los estudiantes manifestaron dificultades para interpretar la consigna propuesta en tal inciso.

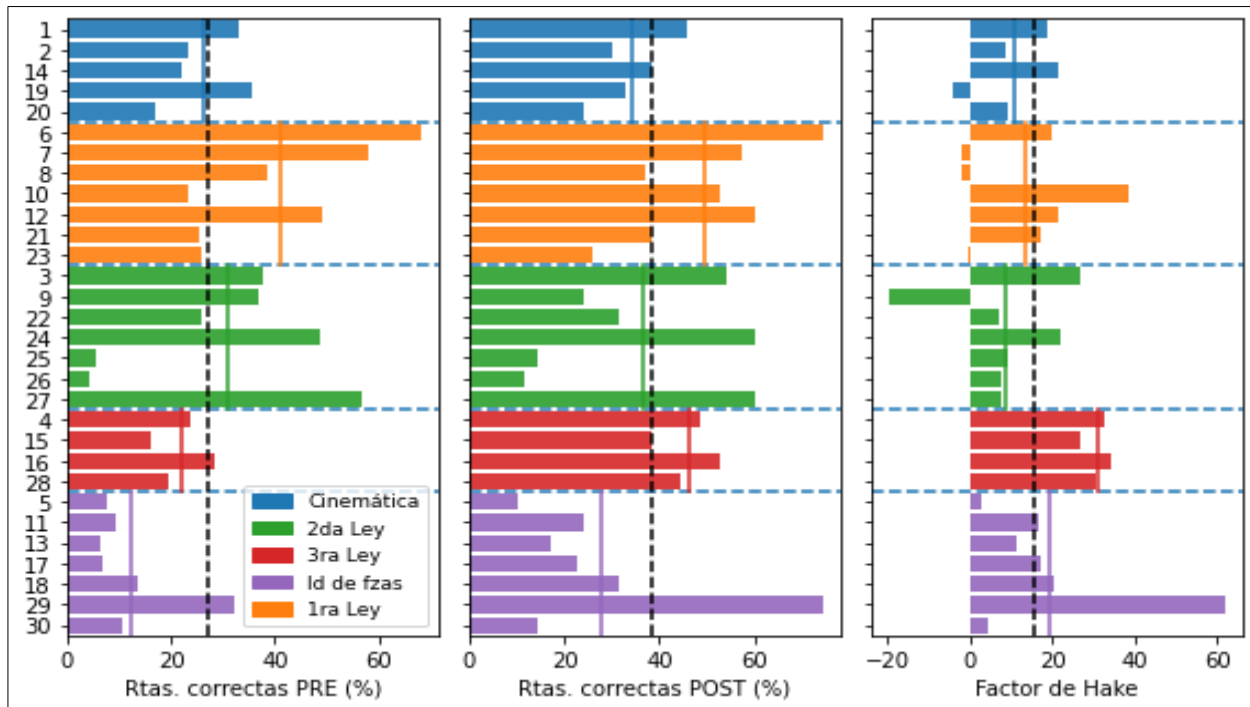


FIGURA 2. (Izquierda) Porcentaje de respuestas correctas en la evaluación de *FCI* anterior al curso de nivelación. Las preguntas están agrupadas por tema. Las líneas corresponden a los valores medios para cada tema, y la línea punteada negra el valor promedio total. (Centro) Porcentaje de respuestas correctas en la evaluación de *FCI* anterior al curso de nivelación. (Derecha) Factor de Hake para cada pregunta del *FCI*.

En cuanto al porcentaje de respuestas correctas en el postest (figura 2, centro) se puede apreciar una menor dispersión entre los promedios de cada categoría, en comparación con el pretest. La categoría “1era Ley de Newton” continúa indicando el promedio de mayor valor (49 %), seguida ahora de “3da Ley de Newton” (46 %). Por debajo del promedio (38 %) aparecen las categorías “2da Ley de Newton” (36.5 %), “Cinemática” (34 %) e “Identificación de fuerzas” (28 %).

En cuanto al análisis de ideas previas no-newtonianas, se obtuvo el porcentaje de aparición de cada idea previa no newtoniana tanto para los resultados del pretest como del postest, así como también la variación del porcentaje de aparición. Esto se puede observar en la figura 3. Allí es posible observar la presencia de tres ideas previas no-newtonianas con un porcentaje de aparición mayor al 40 %: “Agente más activo produce mayor fuerza” (en par acción-reacción) (48 %), “Los objetos pesados caen más rápido” (41 %) y “Posición y velocidad no discriminadas” (40 %). En el postest, entre las ideas previas con una frecuencia mayor al 40 % aparece nuevamente “Posición y velocidad no

discriminadas” (44 %), acompañada de “El movimiento ocurre cuando la fuerza vence a la resistencia” (44 %) y “Resistencia se opone a la fuerza / ímpetu” (44 %). Respecto al cambio de porcentaje de aparición de cada idea previa, consideradas neutras aquellas variaciones menores a 5 %, se observa una disminución en la frecuencia de 11 categorías, un aumento en la aparición de 3, y neutralidad en el resto.

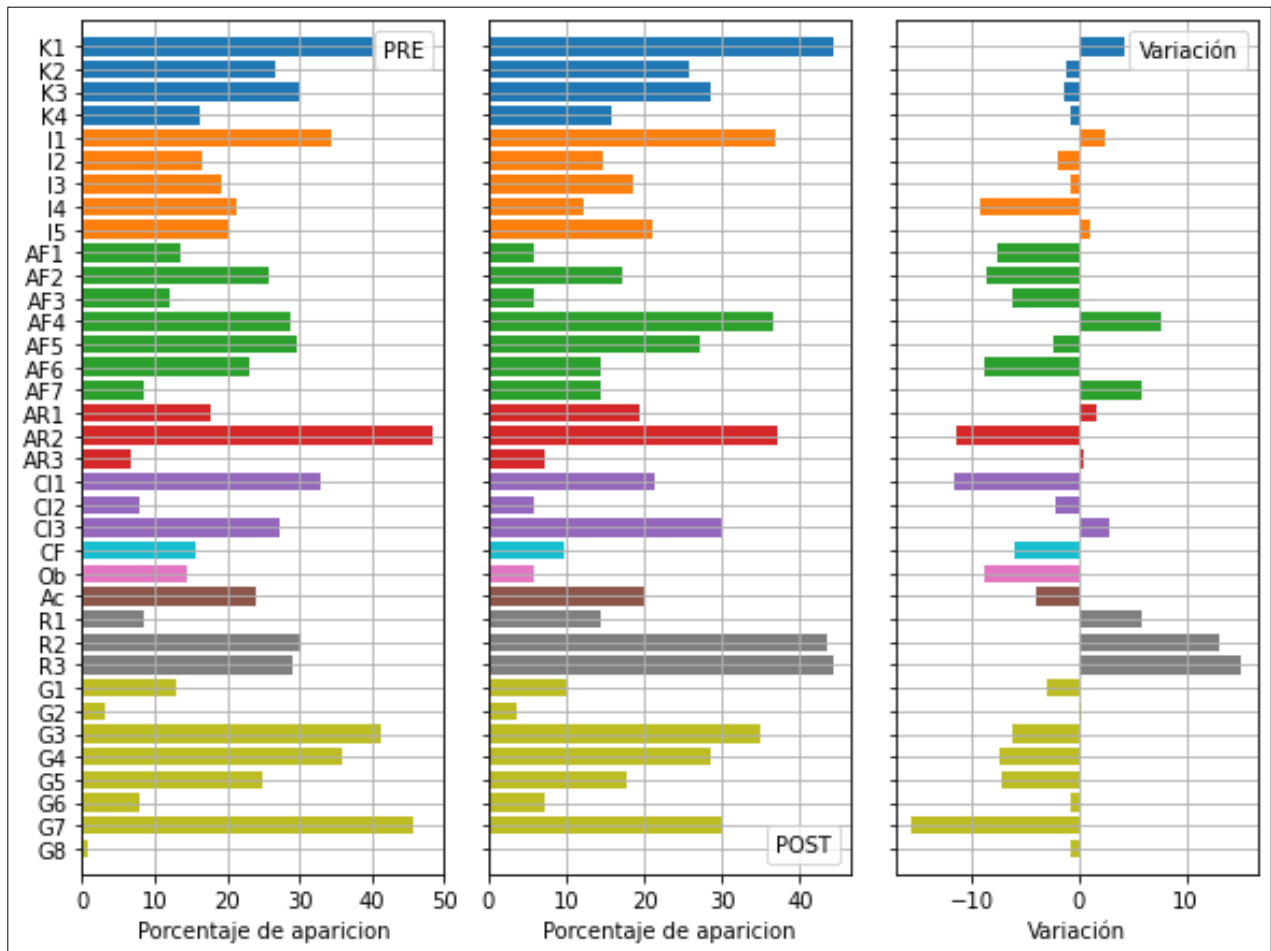


FIGURA 3. Porcentaje de aparición de cada categoría de idea previa para la aplicación de pretest (izquierda) y postest (centro), y su variación entre ambas aplicaciones (derecha). Para la variación, lo deseable es que sea negativa, lo cual implica una disminución en la aparición de la idea no newtoniana.

Por último, se estudió por medio del coeficiente de Pearson la correlación entre los resultados del pretest y el rendimiento académico de los estudiantes -cuyo indicador es el promedio de sus calificaciones en el segundo y tercer cuestionario-, lo que arrojó un coeficiente de Pearson de 0,14. Considerando como referencia la valoración de correlación que aporta Sampieri (2006) respecto de los distintos valores posibles de este coeficiente, este resultado indica una correlación positiva muy débil. Por otra parte, la correlación del postest y el rendimiento académico arrojó un coeficiente de Pearson de 0,25, que indicaría una correlación positiva débil.

IV. CONCLUSIÓN

En este trabajo se estudió desde un enfoque cuantitativo las ideas previas de los estudiantes de la Universidad Nacional del Sur que realizaron el Curso de Nivelación en Física durante el año 2021. Para ello se utilizó como herramienta de relevamiento de datos el Cuestionario sobre el Concepto de Fuerza.

Se observó que los estudiantes del Curso de Nivelación en Física respondieron en promedio un 27 % de respuestas correctas en la modalidad pretest, por lo que encuentran un grado de conceptualización newtoniana de los contenidos de mecánica clásica idéntica a la media obtenida en estudios previos para universidades latinoamericanas (Aratmonova, Mosquera y Aratmonov, 2017). Sobre la situación inicial, se encontró una mayor fortaleza conceptual en las

categorías “1era Ley de Newton” y “2da Ley de Newton”, mientras que las categorías “3era Ley de Newton” e “Identificación de fuerzas” mostraron mayores debilidades.

Respecto de los aprendizajes desarrollados en el curso, se encontró un factor de Hake promedio de 16 %, valor cercano a los encontrados en universidades latinoamericanas (20 %) (Aratmonova, Mosquera y Aratmonov, 2017) y superior al observado en universidades de España (12 %) (Regales y Matachana, 2008). Estos resultados son particularmente alentadores al considerar que, a diferencia de las investigaciones de referencia -que estudiaron cursos semestrales-, el Curso de Nivelación en Física tiene una duración de apenas seis semanas. Se observaron mayores aprendizajes en las categorías conceptuales “3era Ley de Newton” e “Identificación de fuerzas”. A partir de ello, para el final del curso la categoría “3era Ley de Newton” se configura como una relativa fortaleza conceptual.

Se encontró que las ideas previas de los estudiantes del curso frecuentemente presentan discrepancias con la conceptualización científica. Las ideas previas no-newtonianas indicadas con mayor frecuencia son la no discriminación entre las variables de posición y velocidad, la idea de que en un par acción-reacción el cuerpo de mayor masa ejerce una fuerza mayor, y que los objetos de mayor masa caen más rápido. Luego del desarrollo del curso, la mayor parte de ideas previas no-newtonianas (53 %) no encuentran un cambio significativo en su frecuencia de aparición, mientras que un 37 % reduce su frecuencia y el 10 % restante la incrementa. Luego del curso persisten las ideas previas más frecuentes en el pretest, a la vez que se agregan las opciones “El movimiento ocurre cuando la fuerza vence a la resistencia” y “Resistencia se opone a la fuerza o ímpetu”, lo que indica el aprendizaje de la idea de una tendencia natural de los cuerpos a volver al reposo. La frecuencia de presencia de conceptos no newtonianos hacia el final del curso invita a reflexionar sobre la metodología de enseñanza propuesta: si lo que se pretende es mejorar la conceptualización de los estudiantes, resulta valioso explorar la posibilidad de implementar estrategias de enseñanza y evaluaciones acordes a este objetivo. Al respecto, distintas investigaciones indican que metodologías como la instrucción de pares (Crouch y Mazur, 2001), la instrucción por modelación (Opazo, Eugenio y Becerra, 2009), y las Clases Interactivas Demostrativas (Godoy, Benegas y Pandiella, 2012) resultan eficaces para tal fin.

Finalmente se estudió la correlación entre los resultados del pretest del *FCI* y el rendimiento académico de los estudiantes. Se encontró una correlación positiva muy leve entre ambas variables (R de Pearson = 0,14), por lo que se concluye que el Cuestionario sobre el Concepto de Fuerza no resulta una herramienta predictiva adecuada respecto del rendimiento académico en el Curso de Nivelación en Física. Por otra parte, se estudió la correlación entre el rendimiento académico y los resultados del postest, encontrando esta vez un coeficiente de Pearson de 0,25, que indicaría la existencia de una correlación positiva y débil entre ambas variables. Por ende, aquellos estudiantes que alcanzan una mejor conceptualización sobre los conceptos de la mecánica newtoniana tienen probabilidades ligeramente mayores de obtener un mejor rendimiento académico en el Curso de Nivelación en Física.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los estudiantes que voluntariamente prestaron su tiempo para aportar los datos que permitieron desarrollar este trabajo, a los docentes del curso de nivelación que invitaron a sus estudiantes a realizar el cuestionario y a nuestras colegas Silvina Spagnolo, Elda Monetti y Candela Lorente que amablemente aportaron a la revisión y corrección de este trabajo.

REFERENCIAS

Artamonova, I., Mosquera, J. C., y Artamonov, J. D. M. (2017). Aplicación de force concept inventory en América Latina para la evaluación de la comprensión de los conceptos básicos de mecánica a nivel universitario. *Revista Educación en Ingeniería*, 12(23), 56-63.

Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo* (Vol. 3). México: Trillas.

Badagnani, D. O., Petrucci, D., y Cappannini, O. (Octubre, 2012). Sobre los recursos cognitivos en pensadores no newtonianos. Documento presentado en *XI Simposio de Investigación en Enseñanza de la Física* (SIEF). Esquel, 2012.

Badagnani, D., Petrucci, D., y Cappannini, O. (2017). Evidence on the coherence–pieces debate from the force concept inventory. *European Journal of Physics*, 39(1), 015705.

Bani-Salameh, H. N. (2016). How persistent are the misconceptions about force and motion held by college students? *Physics Education*, 52(1), 014003.

- Bello Garcés, S. (2004). Ideas previas y cambio conceptual. *Educación química*, 15(3), 210-217.
- Budini, N., Marino, L., Giuliano, M., Carreri, R., Cámara, C., y Giorgi, S. (2019). Uso del inventario sobre el concepto de fuerza como herramienta para monitorear el cursado de Física I. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 107-114.
- Caballero, M. D., Greco, E. F., Murray, E. R., Bujak, K. R., Jackson Marr, M., Catrambone, R., y Schatz, M. F. (2012). Comparing large lecture mechanics curricula using the Force Concept Inventory: A five thousand student study. *American Journal of Physics*, 80(7), 638-644.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of physics*, 50(1), 66-71.
- Crouch, C. H., y Mazur, E. (2001). Peer instruction: Ten years of experience and results. *American journal of physics*, 69(9), 970-977.
- Godoy, P., Benegas, J., y Pandiella, S. (2012). Active learning of physics: Synergy of teaching strategies. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 6, 99.
- Halloun, I., Hake, R. R., Mosca, E. y Hestenes, D. (1995). *Force Concept Inventory (revisado 1995)*. Recuperado de <http://modeling.la.asu.edu/R&E/Research.html>
- Hernández Sampieri, R.; Fernández-Collado, C. & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. 4ª ed. Ciudad de México, México: McGraw-Hill.
- Hestenes, D., Wells, M., y Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158.
- Mora, C., y Herrera, D. (2009). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3(1), 13.
- Opazo, H. R. A., Eugenio, J., Y Becerra, G. (2009). Influencia del razonamiento científico en el aprendizaje de conceptos en Física Universitaria: Comparación entre instrucción tradicional e instrucción por modelación. Recuperado de: http://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v10/pdf/area_tematica_05/ponencias/1189-F.pdf
- Regales, E. C., y Matachana, M. C. (2008). Diez años de evaluación de la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de Newton en escuelas de ingeniería españolas. Rendimiento académico y presencia de preconceptos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 23-42.
- Temizkan, D. (2003). The effect of gender on different categories of students' misconceptions about force and motion (Tesis de maestría, Middle East Technical University, Turquía). Recuperado de: <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/1207588/index.pdf>
- Van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. *American Journal of physics*, 59(10), 891-897.