

Uso del inventario sobre el concepto de fuerza como herramienta para monitorear el cursado de Física I

Use of the force concept inventory as an assessment tool for a Physics I course

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Nicolás Budini^{1,2}, Luis Marino³, Mónica Giuliano⁴, Ricardo Carreri¹, Cristina Cámara^{1,5}, y Silvia Giorgi¹

¹Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral, Santiago del Estero 2829, S3000AOM Santa Fe, Argentina.

²Instituto de Física del Litoral (UNL-CONICET), Güemes 3450, S3000GLN Santa Fe, Argentina.

³Facultad de Humanidades y Ciencias, Universidad Nacional del Litoral, Ciudad Universitaria, Paraje El Pozo, CP 3000 Santa Fe, Argentina

⁴Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Universidad Nacional de La Matanza, Florencio Varela 1903, B1754 San Justo, Buenos Aires, Argentina.

⁵Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, 86-Kreder 2805, 3080HOF Esperanza, Santa Fe, Argentina.

E-mail: nicolas.budini@ifis.santafe-conicet.gov.ar

Resumen

El inventario sobre el concepto de fuerza (FCI) es un test que permite determinar el nivel de conocimiento conceptual de los estudiantes acerca de la mecánica newtoniana y evaluar la eficacia de diferentes estrategias pedagógicas sobre la componente conceptual del aprendizaje. Este test se aplicó con el propósito de conocer el nivel de conceptualización newtoniano relativo a mecánica, con las que estudiantes noveles y recursantes inician el curso de Física I en la Facultad de Ingeniería Química (UNL) y monitorear el cursado de la asignatura durante el cual se está aplicando la modalidad de enseñanza denominada instrucción entre pares (IP). Los resultados del pre-test, nos permitieron conocer el nivel de conceptualización newtoniano de los estudiantes antes del cursado y nos brindó información para la elaboración de las actividades a implementar mediante la modalidad IP. Los resultados del post-test nos dieron indicios sobre la evolución conceptual de los alumnos e información para desarrollar futuras actividades de enseñanza sobre los conceptos involucrados.

Palabras claves: Test conceptual; mecánica; conceptos newtonianos; evolución conceptual.

Abstract

The Force Concept Inventory (FCI) is a test that allows to determine the level of conceptual knowledge of students about Newtonian mechanics and evaluate the effectiveness of different pedagogical strategies on the conceptual component of learning. This test was applied with the purpose of knowing the level of Newtonian conceptualization related to mechanics, with which novice and recurring students start the Physics I course at the Facultad de Ingeniería Química (UNL) and monitor the evolution of the course where the teaching method called peer instruction (PI) is being implemented. The results of the pre-test, shown in this work, allowed us to know the level of Newtonian conceptualization of the students before the course and provided us with information that helped developing activities to be implemented through the IP modality. The results of the post-test gave us clues about the students' conceptual evolution and information to develop future teaching activities on the concepts involved.

Keywords: Conceptual test; mechanics; Newtonian concepts; conceptual evolution.

I. INTRODUCCIÓN

La mecánica newtoniana es fundamental para las carreras de ingeniería o tecnológicas y, en particular, el concepto de fuerza es central para su estudio. Debido a esto, los estudiantes necesitan conceptualizarla adecuadamente con el objeto de poder aplicar las leyes de Newton en la resolución de diferentes situaciones problemáticas concretas.

El inventario sobre el concepto de fuerza (FCI, de *Force Concept Inventory*) fue desarrollado por Hestenes y otros (1992) y actualizado por Hestenes y Halloun (1995) en base a resultados de la investigación en enseñanza de la física, para evaluar el grado de comprensión de la mecánica newtoniana. Suele utilizarse, generalmente, en modalidad pre-test/post-test para determinar la eficacia de distintas estrategias didácticas empleadas durante el cursado sobre el aprendizaje conceptual de los alumnos.

Artamónova y otros (2017) presentaron los resultados del FCI aplicado a diferentes poblaciones universitarias de Estados Unidos, España y algunos países de América Latina. Al mismo tiempo mostraron cómo se puede, con los datos pre-test/post-test, evaluar la comprensión de los conceptos básicos de mecánica y la efectividad de las estrategias didácticas empleadas con tal fin, para que los alumnos conceptualicen desde el punto de vista newtoniano distintos temas de mecánica.

II. MARCO TEÓRICO

Diferentes estudios han puesto en evidencia una serie de dificultades que manifiestan los estudiantes durante el proceso de aprendizaje de los conceptos de mecánica en general y fuerza en particular, desde la perspectiva newtoniana (Clement, 1982; Ioannides y Vosniadou, 2002; Nieminen y otros, 2012). Dentro de estas dificultades se encuentran aquellas ideas previas que obstaculizan el abordaje de la mecánica, en un contexto de enseñanza formal, y del concepto de fuerza en particular.

Es bien conocido que estas ideas son muy difíciles de modificar en términos estructurales (Clement, 1982; Camp y Clement, 2010; Machado y otros, 2017), ya que las mismas nacen de la propia experiencia cotidiana donde todo el tiempo suceden ciertos fenómenos bajo circunstancias particulares que llevan a interiorizar relaciones aparentes incorrectas entre distintas magnitudes físicas (por ejemplo, entre fuerza y aceleración). Esto se suma a la dificultad inherente que envuelven ciertos conceptos y sus relaciones para ser cabalmente comprendidos (aceleración y fuerza, equivalencia entre estado de reposo y movimiento con velocidad constante, sistemas inerciales y no inerciales, etc.). Incluso, en lo cotidiano, se suele utilizar el término fuerza en una variedad de contextos, usando asociaciones vagas y ambiguas (Halloun y Hestenes, 1985; Ioannides y Vosniadou, 2002; Tomara y otros, 2017). Por ello, es de esperar que los estudiantes tengan preconcepciones erróneas para referirse a situaciones que distan del concepto que se pretende enseñar. Halloun y Hestenes (1985) concluyeron que los estudiantes usan indiscriminadamente los términos de potencia, fuerza, aceleración, velocidad, momento, inercia y energía. En esta misma investigación se encontró que muchos alumnos creen que, en ausencia de fuerza, todo objeto permanece en reposo (con respecto a la Tierra). También argumentan que la acción o resistencia de un medio no es una fuerza, ya que no inicia ni sostiene un movimiento. Por lo tanto, si un objeto se encuentra sobre una superficie, esta lo único que hace es sostener el objeto, evitando así que este se mueva.

Clement (1982), en sus investigaciones, indicó que los estudiantes consideran que la fuerza es “...la que inicia el movimiento, la que cambia la dirección del movimiento o la que no tiene nada que ver con el cambio en la velocidad, sino que sólo mantiene el movimiento.”

Minstrell (1982) encontró que, para los alumnos, el aire y/o la presión del aire son los responsables de que un objeto se mantenga en reposo y no se necesita una fuerza para que los objetos caigan, ya que ellos siempre quieren ir hacia abajo. Los estudiantes creen que la gravedad es la tendencia de los objetos a caer, por lo que no consideran la interacción gravitatoria. Esta es una concepción aristotélica según la cual los objetos, hechos de materiales terrestres, presentan una tendencia natural para ir hacia abajo, a su lugar natural sobre la superficie de la Tierra.

Maloney (1984) encontró que muchos estudiantes caracterizan la interacción entre dos objetos por un principio de dominancia que puede expresarse de dos maneras: (1) la masa mayor ejerce la mayor fuerza; (2) el objeto que causa un movimiento sobre otro es el que ejerce la mayor fuerza, debido a que supera su oposición.

Las ideas previas son construcciones personales mediadas por varios factores donde el que percibe y procesa una realidad brinda explicaciones, descripciones o predicciones de los fenómenos o conceptos científicos. Su carácter de constructo personal las hace universales y resistentes al cambio a pesar de los intentos de la instrucción. Por tanto, se constituyen en esquemas representacionales que no modelan concepciones científicas adecuadas, por lo que se convierten en un obstáculo que no favorecen el cambio conceptual (Bello, 2004) y se requiere por tanto conocerlas para poder enfrentarlas. Existe cierto consenso en definir

el cambio conceptual como un proceso de aprendizaje donde el estudiante modifica sus ideas previas sobre un fenómeno o principio mediante la reestructuración de su estructura cognitiva. Por tanto, para favorecer el cambio conceptual se precisa de actividades de enseñanza que partan de lo que el alumno sabe y favorezcan la reconstrucción de un cuerpo claro, estable y organizado de conocimientos con el que puedan enfrentarse y resolver diversas situaciones y, a la vez, adquirir conocimientos que demandan un mayor nivel de abstracción dentro del mismo campo.

Para lograr esos objetivos los resultados derivados de la investigación sobre la enseñanza de la física han mostrado la necesidad de que los estudiantes participen activamente en su proceso de aprendizaje, en un contexto social de enseñanza que propicie la reconstrucción de su conocimiento (Vygotsky, 1989; Ausubel y otros, 1991; Kattmann, 2008).

El aprendizaje en ambientes colaborativos, busca propiciar espacios en los cuales se dé el desarrollo de habilidades individuales y grupales a partir de la discusión entre los estudiantes al momento de explorar nuevos conceptos, siendo cada quien responsable de su propio aprendizaje. Se busca que estos ambientes sean ricos en posibilidades y más que organizadores de la información propicien el crecimiento del grupo.

La instrucción entre pares (IP) desarrollada por Mazur (1997), se basa en la perspectiva del aprendizaje colaborativo (AC); el AC se fundamenta en la teoría psicológica del desarrollo cognitivo de Piaget (1980) y la teoría sociocultural del desarrollo cognitivo de Vygotsky (1989). Según Piaget (1980) surge un desequilibrio a nivel de estructura mental cuando el sujeto confronta lo que sabe con lo expuesto por sus iguales y se origina un desajuste y (posteriormente) un nuevo acomodo y equilibrio de la información nueva y la asimilada. Se origina así un cambio en la conducta del individuo, útil para abordar una situación de aprendizaje particular. Al respecto, Donnert y otros (2007) señalan que: “...el aprendizaje entre iguales es productivo mientras las creencias difieran y las tareas estén estructuradas de forma que hagan surgir el conflicto entre la creencia existente.”

Vygotsky (1989), concibe a la educación como un proceso de socio-construcción. La construcción del conocimiento solo puede gestarse a través de las habilidades del pensamiento, tales como la comprensión, el análisis, el razonamiento, la comprensión y la valoración crítica, en forma paralela con la interacción social o bien a posteriori. Esta actividad cognitiva y social permite la construcción de nuevas estructuras mentales, las cuales favorecen la consecución permanente de otros aprendizajes.

Por lo tanto, desde ambos referentes teóricos no solo es relevante lo que el alumno ya sabe, sino, adicionalmente, lo que sus pares saben.

En el marco de la implementación de clase complementarias (CC) bajo la modalidad IP en un curso de Física I, en la cual se dicta mecánica, nos preguntamos:

¿Hay diferencias evidentes en la conceptualización newtoniana de la mecánica entre los alumnos noveles (cursantes por primera vez de Física I) y los alumnos recursantes al momento de iniciar el curso de Física I? ¿Hay alguna evolución conceptual en el sentido “newtoniano” entre ambos grupos luego del cursado de Física I?

Para responder a estos interrogantes se aplicó el FCI en el curso de Física I, dictado durante el primer cuatrimestre de 2019, de las carreras que se cursan en la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL), con el propósito de conocer el nivel conceptual de los estudiantes en relación a la mecánica newtoniana. En el análisis de sus respuestas se discriminó entre estudiantes que cursaron por primera vez la asignatura (noveles) y estudiantes recursantes.

III. METODOLOGÍA

Se llevó a cabo una investigación descriptiva sobre una población constituida por 142 alumnos (119 noveles y 23 recursantes) de la FIQ UNL que posteriormente, durante el primer semestre de 2019, cursaron Física I. Se aplicó el FCI con el propósito de conocer su conceptualización newtoniana de la mecánica en general y la fuerza en particular, previo y posterior al cursado de la asignatura Física I, en la cual se implementó la metodología de instrucción entre pares (IP) durante las clases complementarias (CC).

La metodología IP, basada en los principios del aprendizaje colaborativo, fue desarrollada por Mazur (1997) con la intención de mejorar en los estudiantes la comprensión conceptual de los contenidos de física. En trabajos anteriores, Budini y otros (2016; 2017; 2018) analizan como la interacción entre pares ha influido en los procesos de aprendizaje de los alumnos.

Esta modalidad se implementa en CC semanales, de carácter no obligatorio y de dos horas de duración; las mismas se dictan luego de que los estudiantes han asistido a la clase de teoría tradicional en la que se desarrolla el tema y leído un breve material escrito del que disponen previamente. En las clases sustentadas en la IP, es fundamental que los estudiantes hayan visto previamente el tema a abordar, de manera de enfocar la atención en los conceptos físicos básicos o en los que ofrezcan mayores dificultades

de comprensión. El diseño de estas clases requiere tener en cuenta los puntos claves indicados en Budini y otros (2016; 2017; 2018).

Luego de un breve repaso de los conceptos a abordar se implementa la IP presentando a los estudiantes las denominadas preguntas conceptuales (PC) acerca de los conceptos y relaciones que se intentan reforzar. Las mismas son con respuestas de opciones múltiples, de las que sólo una es la correcta. Luego de que los estudiantes responden una PC reciben inmediatamente la retroalimentación por parte del profesor. En esa instancia se discute con toda la clase por qué una opción de respuesta es la correcta y por qué las otras no lo son. De esta manera, los estudiantes pueden reflexionar para aclarar los conceptos en el momento y no esperar a la próxima clase, lo cual genera motivación en los mismos para comprender el tema.

En los trabajos de Budini y otros (2016; 2017; 2018) se pueden encontrar descripciones de las actividades desarrolladas en CC. La modalidad IP se basa en gran medida en la calidad y relevancia de las PC. Las mismas pueden encontrarse y seleccionarse del libro de Mazur (1997) o diseñarse teniendo en cuenta los criterios básicos mencionados en Budini y otros (2016; 2017; 2018).

Como ya se mencionó, el FCI es un inventario para explorar el grado de comprensión de los conceptos de mecánica desde el punto de vista newtoniano; fue elaborado por Hestenes y otros (1992) y actualizado por Hestenes y Halloun (1995). En este trabajo se empleó la versión traducida al español y revisada por Halloun y otros (1995). Este inventario descompone los conceptos de mecánica en 6 dimensiones: (I) cinemática, (II-IV) 1°, 2° y 3° ley de Newton, (V) principio de superposición y (VI) tipos de fuerzas, divididas en 30 preguntas (ítems) de opción múltiple; las opciones consisten en una respuesta correcta (newtoniana) y 4 alternativas no newtonianas.

En la tabla I se detallan los conceptos abordados por los diferentes ítems, agrupados en base a las dimensiones antes mencionadas.

TABLA I. Relación de conceptos de Mecánica tratados en el FCI y opciones de éste que los reflejan.

Dimensión	Conceptos		Ítem(s) relacionados
1- Cinemática	Velocidad diferente a la posición		19E
	Aceleración diferente a la posición		20D
	Movimiento parabólico supone aceleración constante en una dirección y nula en la dirección perpendicular a la anterior.		12B, 14D y 21D.
	Movimiento rotacional requiere fuerza centrípeta.		5B
	Aceleración constante implica cambio de velocidad		9E y 22B.
	Adición vectorial de velocidades.		9E
2- Primera ley de Newton	Inercia sin Fuerzas		6B, 7B y 23B
	Fuerza resultante nula implica dirección de la velocidad constante		6B, 7B y 23B
	Fuerza resultante nula implica módulo de la velocidad constante		10A y 24 A
	Reposo implica fuerza resultante nula		29B
	Inercia con fuerzas que se cancelan		11D, 17B y 29B
3- Segunda ley de Newton	Fuerzas impulsivas		8B y 9E
	Fuerzas continuas constantes		3C, 13D, 21E, 22B, 26E, 27C y 30C
	Fuerzas constantes implican aceleración constante		22 B y 26E
	Fuerzas continuas variables		18B
4- Tercera ley de Newton	Para Fuerzas impulsivas		4E y 28E
	Para Fuerzas continuas		15A y 16 A
5- Principio de superposición	Suma de vectores		18B
	Fuerzas que se cancelan		11D, 17B y 29B
6- Tipos de Fuerza	De contacto entre sólidos	No impulsivas	5B, 11D, 17B, 18B y 29B
		Fricción opuesta al movimiento	25C
	De contacto con fluidos	Resistencia del aire	30C
		Fuerza de la Gravedad	5B, 11D, 13D, 17B, 18B, 29B y 30C
	Gravitación	Aceleración independiente del peso	1C y 2 A
		Trayectoria parabólica	12B y 14D

IV. RESULTADOS

Se compararon los resultados del pre-test de los estudiantes noveles y los recursantes, cuyos resultados se observan en la gráfica de la figura 1.

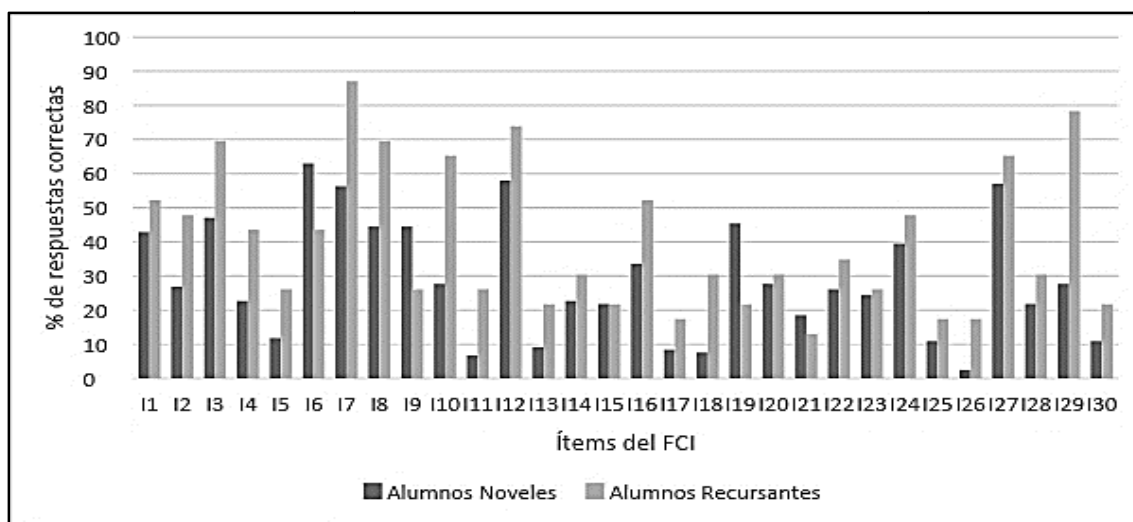


FIGURA 1. Resultados del pre-test para los estudiantes noveles y recursantes.

En dicha gráfica se muestran los promedios en las respuestas correctas de cada ítem obtenidos por cada uno de los grupos de alumnos. El promedio general (considerando los 30 ítems del FCI) de los alumnos noveles fue del 28,9 % y del 40,3 % para los alumnos recursantes. Al analizar la figura 1 se observa que en la mayoría de los ítems el desempeño de los recursantes superó al de los noveles. Incluso el promedio del FCI es superior, poniendo en relieve una mejor conceptualización de los temas de mecánica desde un punto de vista newtoniano. Sin embargo, se encuentran anomalías con respecto a esta tendencia en los ítems I6, I9, I19 y I21. La diferencia es superior a la desviación estándar que se obtiene al comparar las medias y, por lo tanto, se puede inferir un empeoramiento en las dimensiones y los conceptos que los contemplan. En la tabla II se muestran la opción correcta y la incorrecta predominante en aquellos ítems donde los recursantes muestran un desempeño significativamente inferior a los noveles.

Para seleccionar la opción incorrecta más significativa (asociada a una respuesta no newtoniana prevalente) se siguió el siguiente criterio: (i) se seleccionaron aquellas opciones incorrectas que para un determinado ítem igualaban o superaban el porcentaje de la opción correcta. De este modo se contabilizaron aquellas opciones que los estudiantes han seleccionado en lugar de la opción newtoniana correcta; (ii) se seleccionaron aquellas opciones incorrectas que, a pesar de tener un porcentaje de elección inferior a la de la opción newtoniana correcta, presentan un porcentaje igual o superior al de la media de respuestas correctas. Se considera que estas opciones tienen una significancia importante, en relación al porcentaje promedio que cuantifica el concepto newtoniano que poseen los alumnos.

TABLA II. Porcentajes de respuestas en el pre-test de los alumnos recursantes a las diferentes opciones en los Ítems I6, I9, I19 e I21. Referencias: □ opción correcta; ■ opción incorrecta seleccionadas para su análisis.

Opción	Ítems			
	6	9	19	21
A	56,5	0,0	21,7	4,3
B	43,5	21,7	8,7	56,5
C	0,0	47,8	0,0	21,7
D	0,0	4,3	47,8	4,3
E	0,0	26,1	21,7	13,0

En la figura 2 se comparan, discriminando entre recursantes y noveles, los resultados correctos del pre-test y el post-test para los ítems I6, I7, I9 e I21. El promedio general (considerando los 30 ítems del FCI) de los noveles fue de 49,0% y para los recursantes de 48,4%. Esto revela un nivel de conceptualización newtoniana de los conceptos de mecánica similar para ambos grupos al finalizar el cursado, y superior a los niveles previos al cursado, evidenciando la efectividad de la estrategia de enseñanza empleada.

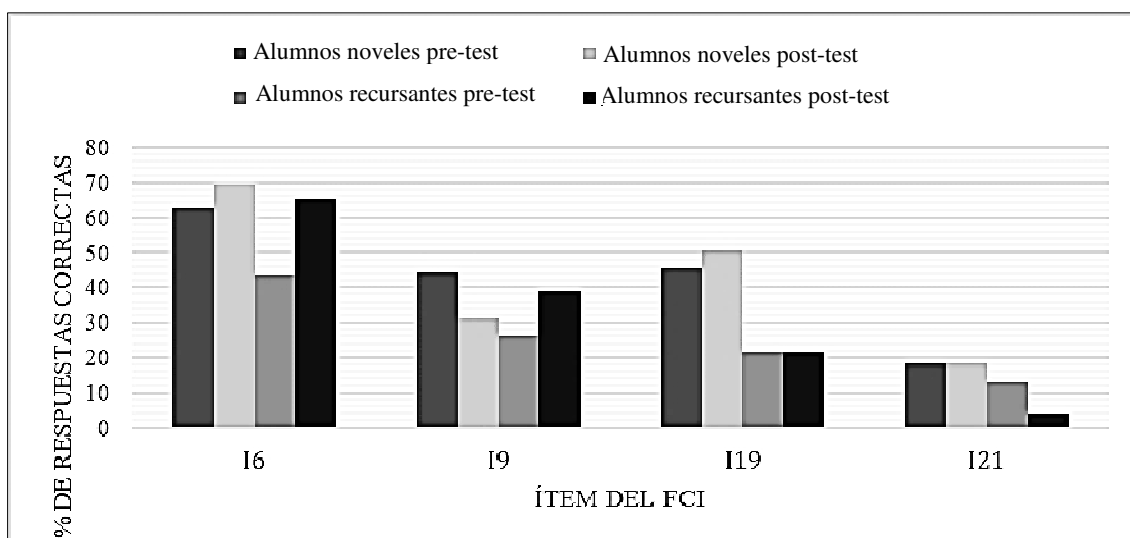


FIGURA 2. Resultados comparativos del pre-test y post-test para los alumnos noveles y recurrentes, relativos a sus desempeños en los ítems I6, I9, I19 e I21.

En la figura 2 se puede observar una merma en los porcentajes de respuestas correctas en el ítem I9 para los noveles, una persistencia en el porcentaje de respuestas incorrectas de los recurrentes en el ítem I19 y un muy mal desempeño de ambos grupos en el ítem I21 (el peor de los 30 ítems testeados).

V. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En primer lugar, el uso del FCI nos permite determinar que, al inicio del cursado de Física I, los alumnos recurrentes presentan un mejor nivel de conceptualización de la mecánica desde el punto de vista newtoniano que los noveles. En segundo, y en la misma instancia, nos permitió detectar ciertas falencias de los estudiantes al aplicar ciertos conceptos newtonianos. En particular, las anomalías registradas en los test realizados por los alumnos recurrentes (que ponen en evidencia un menor desempeño que los noveles) nos permiten analizar aquellos conceptos no newtonianos que han perdurado luego de un cursado anterior.

Esta información nos resultó útil porque nos indicó el grupo de conceptos sobre los que se debía trabajar en forma especial, por ejemplo, seleccionando o diseñando las preguntas adecuadas para implementar la metodología IP, con el objeto de lograr la evolución conceptual deseada.

El significado no newtoniano de las opciones incorrectas más significativas elegidas por los recurrentes y correspondientes a aquellos ítems donde se verificaron anomalías (tabla II), se detalla a continuación: (a) *un cuerpo permanecerá en movimiento “circular uniforme” mientras no actúe una fuerza neta externa sobre él* o “principio de inercia circular” (opción 6 A); (b) *no reconocimiento de la naturaleza vectorial de la velocidad*, se manifiesta cuando calculan la velocidad a partir de la suma aritmética de sus componentes (opción 9C); (c) *confusión de los conceptos de posición y velocidad*; en el ítem I19 se presentan 2 cuerpos en movimientos rectilíneos con trayectorias paralelas en igual dirección (uno rectilíneo uniforme y el otro rectilíneo uniformemente acelerado que parte del reposo) un porcentaje importante de estudiantes seleccionaron la opción según la cual poseen igual velocidad en aquellos instantes donde presentan la misma posición (opción 19D); (d) *la última fuerza que actúa es la que determina el movimiento*, esto se observa en las trayectorias de movimiento seleccionadas en las opciones 21B.

El cursado de la asignatura bajo la modalidad IP ha permitido una evolución conceptual hacia la concepción newtoniana en relación a la idea incorrecta (a). Sin embargo, los noveles siguen sin tener en cuenta la naturaleza vectorial de la velocidad al efectuar su suma y ambos grupos persisten en sus falencias para distinguir los conceptos de posición y velocidad. Finalmente, se observa un bajo desempeño en el ítem I21. Analizando las opciones seleccionadas en el pre- y post-test se puede observar que para ambos grupos la opción más seleccionada es la 21C. Es decir, aquella que supone que el movimiento solo depende de la acción de la última fuerza actuante, aunque no esté inicialmente en reposo. Si bien el FCI no nos indica si los alumnos cometen estos errores debido a que prevalecen en ellos preconceptos no newtonianos, a que el contexto de la aplicación de la pregunta los llevó a seleccionar la respuesta incorrecta, si nos permite identificarlos, para el desarrollo a futuro de las preguntas conceptuales a implementar mediante la IP.

VI. REFLEXIONES

La aplicación del FCI nos permitió testear el nivel de conceptualización newtoniano de los alumnos y además, detectar aquellos conceptos newtonianos sobre los cuales había que intensificar y reformular las preguntas conceptuales de la IP para favorecer la generación de los subsunsores necesarios para la construcción de los conceptos de mecánica desde el punto de vista newtoniano.

Las diferencias entre los noveles y los recursantes, al inicio del curso de Física I, demuestra en general una mejor conceptualización newtoniana en el segundo grupo con respecto al primero; los conceptos donde esto no sucede nos sirven de realimentación para rediseñar, reformular y reforzar las actividades de la IP relativas a dichos conceptos para mejorar el aprendizaje de los estudiantes.

Los resultados finales demuestran que la aplicación de la metodología IP ha producido en general una mejora en el nivel de conceptualización newtoniano de los temas de mecánica. Por otro lado, en algunos casos no se ha registrado (al menos desde los resultados del FCI) la evolución conceptual deseada. En nuestro caso esto nos permitirá, a futuro, reformular las actividades de enseñanza de los conceptos de cinemática, sobre todo lo que respecta al carácter vectorial de la velocidad y a la distinción de los conceptos de posición y velocidad.

Con respecto a otro punto importante, deberemos reformular las preguntas conceptuales utilizadas en la IP con el objeto de clarificar que el movimiento de un cuerpo depende de la acción de las fuerzas actuantes.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en el desarrollo del proyecto de investigación CAI+D 2016 50120150100122LI, subsidiado por la UNL.

REFERENCIAS

Artamónova, I. V., Mosquera Mosquera, J. C. y Mosquera Artamanov, J.D. (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., Novak, J. y Hanesian, H. (1991). *Psicología educativa: un punto de vista cognitivo*. México: Trillas.

Bello, S. (2004). Ideas previas y cambio conceptual. *Educación Química*, 15(3), 210-217.

Budini, N., Giorgi, S., Sarmiento, L., Cámara, C., Carreri, R., Marino, L. y Gómez, C. (2016). Implementación de actividades colaborativas en las clases de Física del ciclo inicial universitario. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28(Extra),187-195.

Budini, N., Giorgi, S., Sarmiento, L., Cámara, C. y Carreri, R. (2017). Actividades colaborativas sobre conceptos de mecánica en sistemas físicos no puntuales. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29(Extra),287- 296.

Budini, N., Marino, L., Carreri, R., Cámara, C. y Giorgi, S.(2018). Percepciones de estudiantes luego de implementar “Instrucción entre Pares” en un curso de Física I. *Revista de Enseñanza de la Física*, 30(Extra),141- 149.

Camp, C. y Clement, J. (2010). *Preconception in Mechanics: Lessons dealing with students' conceptual difficulties*. Maryland: College Park - MD American Association of Physics Teachers.

Celemin, M. y Covian, E. (1999). Misconceptions in Mechanics in first year engineering students. *International Conference of Engineering Education*, 10-14 de Agosto, Ostrawa - Praga, Republica Checa.

Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50,66-71.

Donnert, K, Van de Keere, K.J. y Topping, W. (2007). Aprendizaje entre iguales: Perspectivas teóricas y sus implicaciones para la práctica en el aula. *Revista Electrónica de Investigación Psicoeducativa*, 13(3),477-

496.

Halloun, I. y Hestenes, D. (1985). Common Sense Concepts About Motion. *American Journal of Physics*, 53(11),1056-1065.

Halloun, I., Hake, R., Mosca, E. y Hestenes, D. (1995). Force Concept Inventory (revised 1995). <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>. Sitio consultado en junio de 2019.

Hestenes, D. y Halloun, I. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 33,502-506.

Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher* 30,141-158.

Ioannides, C y Vosniadou, S. (2002). The changing meanings of force. *Cognitive Science Quarterly*, 2(1),5-62.

Kattmann, U. (2008). Learning biology by means of anthropomorphic conceptions? En Hamman, M. y otros (Eds), *Biology in context: Learning and teaching for the 21 century*. London: Institute of Education - University of London.

Machado, C. A., Alberto, P. V. y Nascimento, M. A. (2017). Combining Two Computational Tools for Teaching and Learning Physics. *International Conference in New Perspectives in Science Education*, 16-17 de Marzo, Florencia, Italia.

Macia Barber, E., Hernández, M.V. y Menéndez, J. (1995). Cuestionario sobre el concepto de fuerza. <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html> Sitio consultado en marzo de 2008.

Maloney, D. P. (1984). Rule-governed approaches to Physics-Newton's third law. *Physics Education*, 19,37-42.

Mazur, E. (1997). *Peer Instruction. A User's Manual*. Nueva Jersey: Prentice Hall.

Minstrell, J. (1982). Explaining the "at rest" condition of an object. *Physics Teacher*, 20,10-23.

Nieminen, P., Savinainen, A. y Viiri, J. (2012). Relations between representational consistency, conceptual understanding of the force concept, and scientific reasoning. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research* 8(1),1-10.

Piaget, J. (1980). *Psicología y pedagogía*. Barcelona: Ariel

Tomara, M., Tselfes, V. y Gouscos, D. (2017). Instructional strategies to promote conceptual change about force and motion: A review of the literature. *Themes in Science & Technology Education*,10,1-16.

Vygotsky, L. (1989). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Crítica.