



Aplicación de Force Concept Inventory en América Latina

I. Artamónova^a, J. C. Mosquera M.^a, C. P. Bravo R.^a

^aUniversidad del Quindío, Colombia.

ARTICLE INFO

Recibido: 27 de mayo de 2015

Aceptado: 16 de junio de 2015

Palabras clave:

Force Concept Inventory
Enseñanza de la Física
Educación universitaria

E-mail:

artiri@gmail.com,
jmosquera@uniquindio.edu.co,
claudiapatbra0@gmail.com

ISSN 2007-9842

© 2015 Institute of Science
Education.
All rights reserved

ABSTRACT

The Physics teaching-learning process at the university level accompanied by serious conceptual difficulties. Studies show that physical concepts as mass, force, inertia and general concepts related to the conception of Newton's laws, which are the foundation of mechanical physics, not well assimilated by students. The low understanding of these issues hinders the performance of students in both courses in Mechanics and in subsequent courses that require the use of such fundamental concepts. The conceptual errors accumulate and in many cases, it is not possible to continue the students training in a given career, which leads to problems of student dropout.

The main problem is that the evaluation of Physics courses not intended to verify the conceptual development of students and their skills development grounded in the conceptualization of the studied physical phenomena.

In this paper, we present the results of the adaptation of a widely recognized test in the field of educational research related to the teaching of Physics: The Force Concept Inventory Test, which is a questionnaire on the force concept, published in 1992 by David Hestenes & others. The test originally consisting of 30 questions with multiple choice answers. This article offers to Latin American educator's community, its own theoretical framework to make comparisons between different teaching methodologies, enabling the curricula improvement and assessment of the needs of curricular changes. This theoretical framework is presented based on research conducted in university environments in Latin America. On these researches the Force Concept Inventory test were used, which allows to know the scores achieved by students in Pre-test and post-test and the teaching efficiency of the courses.

El proceso enseñanza-aprendizaje de la Física a nivel universitario está acompañado de serias dificultades conceptuales. Los estudios realizados evidencian que conceptos físicos como masa, fuerza, inercia y en general conceptos ligados a la concepción de las leyes de Newton que son el fundamento de la Física mecánica, no son bien asimilados por los estudiantes. La baja comprensión de estos temas dificulta el desempeño de los estudiantes, tanto en cursos de mecánica como en los cursos subsiguientes que exigen el uso de tales conceptos fundamentales. Los errores conceptuales se acumulan y en muchos casos no es posible continuar la formación de los estudiantes en una carrera determinada, lo cual conduce a problemas de deserción estudiantil.

El problema principal es que la evaluación de los cursos de Física no sigue la comprobación de los objetivos mismos que se enuncian como la adquisición de los conceptos y el desarrollo de habilidades fundamentadas en la conceptualización de los fenómenos físicos estudiados. En este trabajo se muestran los resultados de la adaptación de un test ampliamente reconocido en el ámbito de la investigación educativa relacionada con la enseñanza de la Física: el Force Concept Inventory que es un Cuestionario Sobre el Concepto de Fuerza, publicado en 1992 por David Hestenes, Malcolm Wells y Gregg Swackhamer y que originalmente consta de 30 preguntas con respuestas de opción múltiple.

Este artículo ofrece, a la comunidad de educadores latinoamericanos, un marco teórico propio para hacer comparaciones entre diferentes metodologías de enseñanza, lo que permite el mejoramiento de los planes de estudio y la evaluación de las necesidades de cambios curriculares. Este marco teórico se presenta en el contexto de investigaciones

realizadas en América Latina en ambientes universitarios en cuales se utilizó el test Force Concept Inventory, lo cual permite conocer los puntajes alcanzados por los alumnos en Pre-test y Post- test y la eficiencia didáctica de los cursos

I. INTRODUCCIÓN

El proceso enseñanza-aprendizaje de la Física a nivel universitario está acompañado de serias dificultades conceptuales.

Los estudios realizados evidencian que conceptos físicos como masa, fuerza, inercia y en general conceptos ligados a la concepción de las leyes de Newton, que son el fundamento de la Física mecánica, no son bien asimilados por los estudiantes. La baja comprensión de estos temas dificulta el desempeño de los estudiantes, tanto en cursos de mecánica como en los cursos subsiguientes que exigen el uso de tales conceptos fundamentales. Los errores conceptuales se acumulan y en muchos casos no es posible continuar la formación de los estudiantes en una carrera determinada, lo cual conduce a problemas de deserción estudiantil. Muchos docentes se dedican a buscar que los estudiantes desarrollen habilidades matemáticas en la resolución de problemas extraídos de fenómenos físicos de la mecánica, y poco enfatizan en el desarrollo conceptual del alumno. Por otra parte las evaluaciones mismas no miden el desarrollo conceptual de los estudiantes, lo que genera un vacío en el proceso enseñanza-aprendizaje.

En Estados Unidos en los años 90 fueron diseñadas varias pruebas para evaluar el manejo de estos conceptos por los estudiantes universitarios. Una de estas pruebas es el test denominado Force Concept Inventory (FCI), que es un Cuestionario Sobre el Concepto de Fuerza publicado en 1992 por David Hestenes, Malcolm Wells y Gregg Swackhamer. Este test tuvo un gran reconocimiento en el ámbito de la investigación educativa relacionada con la enseñanza de la Física y en particular de la Mecánica en Estados Unidos.

El FCI, en su versión original en inglés, surgió como una revisión y mejora de otro test similar, el Mechanics Diagnosis Test (MDT) (Hestenes & Wells, 1992), que había sido ya utilizado en muchas ocasiones como herramienta para determinar el grado de comprensión de la Mecánica de Newton. La ventaja del FCI respecto del MDT es que no sólo sirve para determinar el grado de comprensión, sino que además permite detectar y clasificar los errores conceptuales en que incurren los alumnos.

La versión revisada del FCI se publicó a través de internet en 1995 (Halloun *et al.*), y de forma conjunta se pusieron a disposición de todos aquellos profesores de Física que desearan emplearlo. Versiones del FCI (1995) fueron traducidas a diversas lenguas con la intención de facilitar su difusión en otras culturas y países. Con la estimación de Hestenes & Halloun (1995) el test FCI fue aplicado a diez mil alumnos y por más de cien profesores. Hake (1998) en su artículo habla de una aplicación del test a 6542 estudiantes. Cronch & Mazur (2001) aplicaron este test a una población de 1624 alumnos con una metodología de enseñanza denominada *Peer Instruction*. En las investigaciones de Henderson (2002) el test se aplicó a una población de 2178 alumnos. Cabalero y otros (2012) aplicaron FCI a 5000 estudiantes, Luangrath (2011) informa sobre aplicación del test FCI a 400 estudiantes laosianos. Fagen, Crouch y Mazur (2002) dicen que más de 500 profesores que aplicaron la metodología *Peer Instruction* administraron FCI en sus cursos para evaluar los resultados de los estudiantes.

Para el año 2008, Covián y Celemín hacen un análisis de la utilización del test FCI en España (Covián, R. & Celemín, M., 2008), donde se aplicó la versión del test FCI traducida al español por Celemín y que contenía 29 preguntas en total en años anteriores. En esta investigación fueron encuestados 1,300 alumnos en el periodo comprendido entre los cursos 1992-1993 y 2000-2001 en 7 distintas universidades de España. De esta manera fue posible evaluar simultáneamente diferentes propuestas académicas tomando como base el desarrollo conceptual de los educandos.

Actualmente, se pueden encontrar versiones del test FCI en la página web de American Modeling Teachers Association en inglés, español, alemán, francés, italiano, y en total en 21 idiomas (<http://modelinginstruction.org/researchers/evaluation-instruments/fci-and-mbt>). Se está validando la versión japonesa del test FCI (Yasuda *et al.*, 2012).

De esta forma el test FCI se convirtió en la herramienta más utilizada para determinar los conocimientos de los estudiantes y para evaluación de la eficiencia didáctica de diferentes cursos y metodologías en temas de mecánica newtoniana.

A lo largo de 20 años el test FCI fue utilizado con distintos propósitos, siendo los más importantes como:

- Herramienta de evaluación de los conocimientos de mecánica de un estudiante particular;
- Herramienta de evaluación de la eficiencia didáctica de cierto curso;
- Herramienta de detección de preconcepciones en mecánica.

Otros propósitos con los cuales fue aplicado el test FCI son:

- Para determinar si el nivel de comprensión de la Física introductoria del estudiante es suficiente para un curso más avanzado;
- Para comparar el nivel de conocimientos en mecánica adquirido por diferentes grupos de estudiantes del mismo programa o por estudiantes de diferentes programas académicos, cursos, semestres, instituciones educativas y etc.;
- Para comparar la eficiencia didáctica de la utilización de diferentes metodologías de enseñanza.

II. METODOLOGÍA DE LAS INVESTIGACIONES

La metodología de investigación presenta pequeñas variaciones según el objetivo presente al usar el test FCI, o lo que es lo mismo, según la utilización específica que se le asigne al test. Algunas de las aplicaciones más utilizadas son:

II.1. Determinar el nivel de conocimientos de mecánica

En este caso el porcentaje de respuestas correctas del test FCI que se calcula para cada estudiante constituye una medida válida del nivel de conocimientos de mecánica (Hestenes *et al.*, 1992; Hake, 1998; Celemín *et al.*, 1998^a, 1998b; Henderson, 2002). Este porcentaje se calcula tanto al principio (% < pre >), como al final del curso de mecánica (% < post >).

Para Hestenes y Halloun (1995), un nivel mínimo de conocimientos y de comprensión de la Mecánica válido se sitúa en el 60% de respuestas correctas del FCI (18 respuestas correctas de 30 preguntas); el nivel exigido en el contexto español se considera situado en el 50% (15 respuestas correctas de 30 preguntas) (Covián y Celemín, 2008).

Hestenes y Halloun (1995) proponen que el límite a partir del cual se da un nivel de conocimientos y de comprensión de la mecánica comparable a la concepción newtoniana (nivel de master) se sitúa en el 85% de respuestas correctas del FCI (25,5 en promedio de respuestas correctas de 30 preguntas).

II.2. Calcular la ganancia individual de aprendizaje (factor *g* de Hake)

Es usual que el grupo de entrada a un determinado curso sea muy heterogéneo y en general así mismo son los resultados finales. Si se realizan dos pruebas, una antes de dictar el tema y otra después que el tema ya ha sido presentado a los estudiantes, sus resultados se reportan como un valor de *g* de Hake que es un número denominado “*ganancia normalizada*” y que es la razón del aumento entre una prueba preliminar (pre) y una prueba final (post) respecto al máximo aumento posible (1):

$$g = \frac{\%<post> - \%<pre>}{100\% - \%<pre>}. \quad (1)$$

Utilizar la ganancia normalizada permite evaluar el progreso de cada estudiante evitando el problema de

comparar entre estudiantes que empiezan un curso mejor preparados que otros. Tal información sirve para elaborar planes de complemento didáctico para aquellos estudiantes que aunque no han alcanzado un alto nivel de conocimientos, si están mejor motivados para continuar la profundización en la temática estudiada.

Hake (1998) considera tres rangos de *ganancia normalizada*:

- *g* alto.- Cuando el resultado obtenido para *g* es $g > 0,7$;
- *g* medio.- Cuando el resultado obtenido para *g* está en el rango $0,3 < g < 0,7$;
- *g* bajo.- Cuando el resultado obtenido para *g* es $g < 0,3$.

II.3. Calcular la Eficiencia didáctica del curso

La Eficiencia didáctica es definida por Covián y Celemín (2008) como “el incremento relativo de respuestas correctas entre la primera y la segunda aplicaciones del FCI, respecto de la mayor mejora posible, o eficiencia didáctica $\Delta_{rel.B}$ ”, que representa la influencia del proceso enseñanza-aprendizaje en el nivel de conocimiento de la percepción newtoniana (2).

$$\text{Eficiencia didáctica} = \Delta_{rel.B} = \frac{\overline{B2^a \text{ aplic. del FCI}} - \overline{B1^a \text{ aplic. del FCI}}}{100 - \overline{B1^a \text{ aplic. del FCI}}}, \%$$

El valor *B* aquí es la media del porcentaje de respuestas correctas del FCI para todo el grupo en Pre-test o Post-test.

La eficiencia didáctica promedia en poblaciones estadounidenses para cursos con metodología tradicional de aprendizaje fue de 23% y para los cursos con metodología interactiva de aprendizaje fue de 48% (Hake, 1998). Es claro que este factor no busca evaluar al alumno mismo, sino más bien el proceso enseñanza-aprendizaje y las estrategias didácticas del docente.

III. Investigaciones en América Latina

En la Figura 1 se presenta gráficamente la relación existente entre los promedios de Post-test FCI para diferentes grupos de estudiantes de diferentes países, respecto a los promedios del Pre-test FCI.

Mayor información sobre cada grupo se puede obtener de la Tabla I (presentada al final), y de las referencias bibliográficas que están en la primera columna de esta misma tabla.

Se puede observar que todos los grupos pueden ser divididos en sub-grupos de acuerdo al promedio del Pre-test que se obtuvo.

Cada sub-grupo está encerrado en una elipse. La línea roja representa casos cuando el promedio en Post-test es estadísticamente el mismo que en Pre-test, lo que indica que no hubo aprendizaje conceptual y lo cual se refleja en valores *g* de Hake iguales a cero. La línea verde representa los casos cuando la eficiencia didáctica es igual a 30% con lo cual los puntos que están en medio de las líneas roja y verde con eficiencia didáctica $0\% < g < 30\%$, son casos considerados como de eficiencia didáctica baja.

Los puntos que están entre la línea azul y la verde son grupos con eficiencia didáctica media. Y los grupos de eficiencia didáctica alta estarían por encima de la línea azul de la Figura 1.

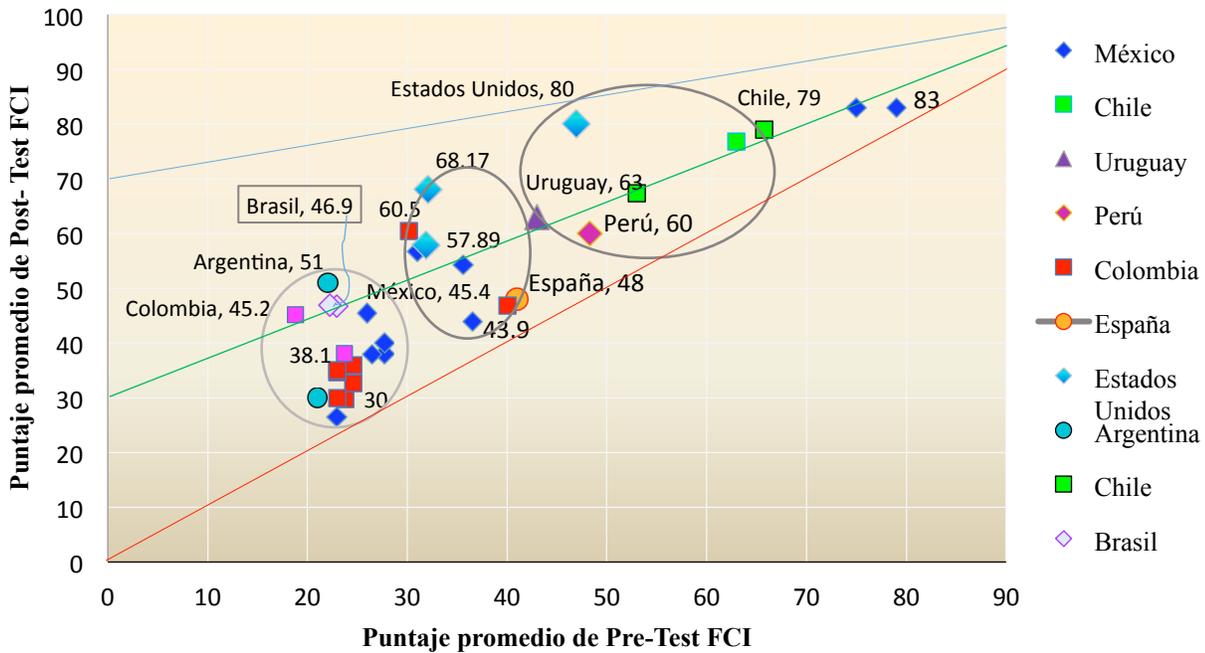
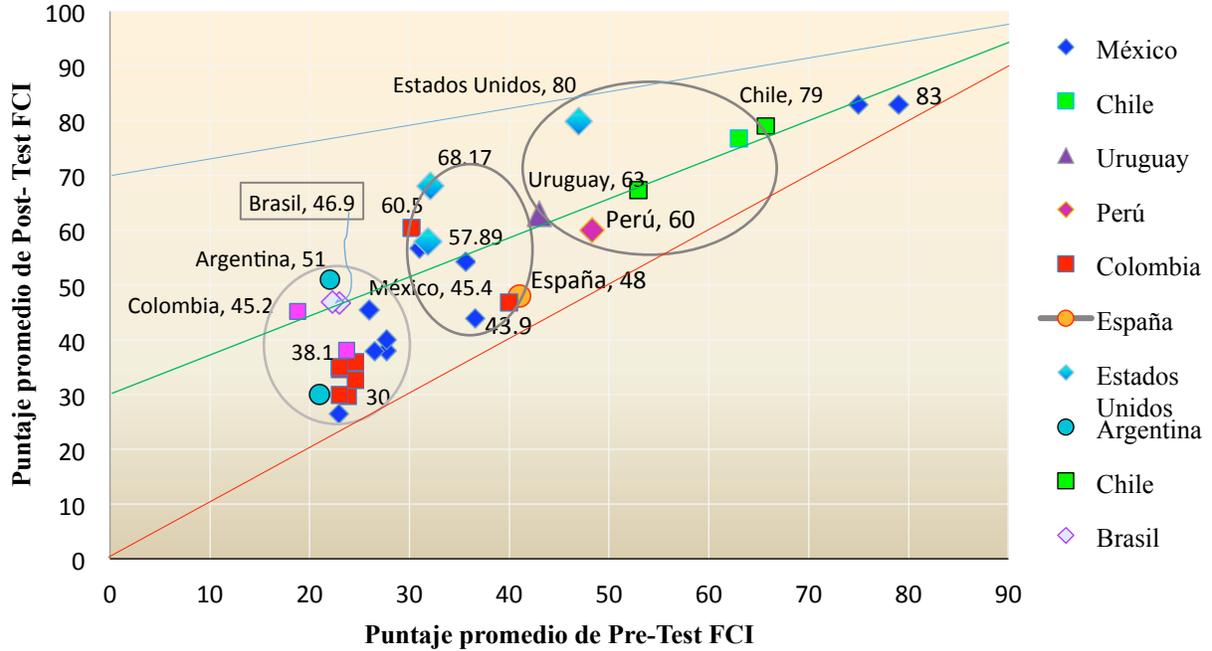


FIGURA 1. Relación Pre-test FCI y Post-test FCI para diferentes países.

En el primer grupo señalado en la gráfica con la elipse de la izquierda (Figura 1), los promedios de Pre-test FCI varían entre 18,8% y 27,7%. En este grupo la mayoría de los estudiantes no tienen conocimientos de mecánica newtoniana o respondieron el test FCI de forma aleatoria. En muchas universidades no hay elección de los estudiantes que ingresan a una carrera por sus conocimientos en Física, si no que tienen otros criterios de ingreso. Pueden ser estos casos también.

En este primer grupo en Post-test FCI los promedios que alcanzan los estudiantes varían desde 26,5% hasta

51,0%. En total la variación es alrededor de 24,5%. Los promedios más bajos en Post-test FCI corresponden a los grupos de control donde fue aplicada la metodología tradicional de aprendizaje por recepción- transmisión de conocimientos en Argentina, Colombia y México. Muchos cuadrados rojos corresponden a una sola universidad en Colombia pero a diferentes programas y metodologías aplicadas en la Universidad del Quindío. Los cuadrados color rosa son grupos donde fue aplicada la metodología 4MAT en esta universidad y se puede ver que los promedios más altos de Post-test FCI corresponden a grupos donde se aplicó la metodología experimental de aprendizaje (Artamónova, Mosquera *et al.*, 2014).

Igualmente se observan dos círculos para Argentina (Mercado, Alarcón *et al.*, 2014), uno corresponde a metodología tradicional y otro con mayor promedio de Post-test FCI a metodología experimental. El mayor promedio en Post-test en este primer grupo de la Figura 1 lo alcanzaron los estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de San Luis de Argentina (Mercado, Alarcón *et al.*, 2014), que obtuvieron 51,0% en promedio de Post-test FCI.

La metodología experimental aplicada en esta universidad fue nombrada IDEA (Beichner, 2014) y consiste en los siguientes pasos:

- Informarse
- Desarrollar un Plan
- Ejecutar el plan
- Aprender de sus esfuerzos.

La estrategia IDEA se implementó en un marco de aprendizaje colaborativo (Panitz, s.f) donde se desarrolló la interacción entre los compañeros de clase. Esta es una herramienta de gran valor pedagógico basada en discusiones grupales que aceleran el intercambio de argumentos y razonamientos hasta alcanzar el consenso necesario.

Los problemas para resolver en el grupo con IDEA eran de los problemas “ricos en contexto”. Los problemas ricos en contexto (Heller, 1992) presentan algunos rasgos particulares: son fundamentalmente relacionados con las situaciones cotidianas; no son fáciles de resolver de manera individual. Por lo general, tienen o exceso o insuficiencia de información, así como pasa con los problemas reales. Adicionalmente éstos contienen palabras como "usted" para que el estudiante pueda sentirse implicado en el problema. El resultado de esta metodología es que los estudiantes puedan resolver más problemas difíciles que los estudiantes con el enfoque tradicional y parecen mejorar las habilidades de razonamiento y desarrollar una profunda comprensión de los conceptos y principios (Leonard, 2002).

Los estudiantes de licenciatura en Química de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná de Brasil (Goya & Laburú, 2014) lograron llegar a 46,9% en Post-test FCI. La metodología utilizada en esta universidad fue actividad de investigación multimodal representacional (AIM). En la práctica de la enseñanza de las ciencias, esto equivale a someter a los estudiantes a modos diferentes de representación, ya sea oral, gráficos, tablas, figurativa, esquemática, fotográfica, analógica, metafóricas, kinestésica como experimentos (3-D), modelos (3-D) y los gestos, representaciones matemáticas, filmicas, entre otros.

Para desarrollar una actividad de investigación multimodal (AIM) podrían unirse la autonomía de la metodología de la investigación con el aprendizaje a profundización multimodal y múltiples representaciones (Laburu *et al.*, 2013).

Los procedimientos consistieron en momentos o pasos flexibles de la siguiente presentación:

1. Fenómeno
2. Problema
3. Hipótesis
4. Plan de Trabajo
5. Análisis
6. Conclusión
7. Comunicación de los resultados a través de forma multimodal y de múltiples representaciones.

Entendiendo la comunicación de los resultados como un paso adicional a la “Conclusión”, de modo que el grupo

de estudiantes después de resolver un problema complementa la fijación del aprendizaje a través de la comunicación de los resultados a otros grupos. La mayoría de los estudiantes con los cuales se utilizó AIM (Goya & Laburú, 2014), considera la actividad de investigación multimodal (AIM) mejor que la enseñanza tradicional, sobre todo en la motivación y comprensión de los contenidos.

Otro grupo de los estudiantes de Programa de Química de la Universidad del Quindío de Colombia logró llegar a 45,2% en Post test FCI empezando con apenas 18,8% de respuestas correctas en Pre-test (Artamónova *et al.*, 2014). La metodología utilizada en este grupo fue 4MAT.

El grupo de Ciencias Básicas e Ingenierías de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa de México alcanzó resultados similares a la Universidad del Quindío con 45,4% en promedio de Post-test FCI, pero tiene una eficiencia didáctica baja puesto que sus estudiantes en Pre-test FCI obtuvieron un promedio de 26%. Esto último es un buen ejemplo del poderío comparativo del FCI.

En la segunda elipse de la Figura 1 están los grupos que tienen mejores criterios de selección de los estudiantes para entrar a la universidad. Los promedios de Pre-test en este grupo varían desde 30,2% hasta 41,0%. En Post-test los promedios varían desde 43,9% hasta 68,2%. El círculo color naranja corresponde a la población de estudiantes universitarios de España con Pre-test de 41% y Post-test de 48%, con una eficiencia didáctica de 12%.

El grupo de los estudiantes del Programa de Física de la Universidad del Quindío se comporta casi como la población universitaria española (Covián & Celemín, 2008). Las poblaciones universitarias de Estados Unidos están en la segunda elipse y son los que sacaron el mayor promedio en Post-test - 68,2%.

El grupo de estudiantes de la Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental de la Universidad de Antioquia de Colombia, que sacó 60,5% en Post-test (López, Veit & Araujo, 2011), logró resultados un poco mejores que la población de los estudiantes de Estados Unidos que obtuvieron un promedio en Post- test FCI de 57,9% (Covián & Celemín, 2008).

Casi los mismos resultados (56,7%) se alcanzaron en dos universidades de Guadalajara, Jalisco, México con estudiantes de carreras de ingeniería y ciencias en el grupo experimental (Gómez, 2008). Ambos grupos presentan hasta ahora los mejores resultados reportados en literatura para Colombia y México.

En la tercera elipse de la Figura 1 están los grupos de las universidades de alto prestigio cada uno en su país, así como por ejemplo, Harvard University de Estados Unidos. De todas las universidades latinoamericanas que se encontraron en la literatura, los mejores resultados en Post-test FCI son de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile del grupo de solo hombres, que alcanzaron 79% en Post-test FCI con promedios en la prueba de entrada del FCI similares a Harvard University. Para las mujeres de esta universidad el promedio fue de 67,3% (Zamorano & Meza, 2007; Meza & Zamorano, 2008). En el caso de la Universidad de Chile, en las clases de cátedra se incorporaron las preguntas conceptuales del método de “Instrucción entre pares” (Mazur, 1997).

Típicamente, se utilizaron dos preguntas de este tipo por clase para incentivar la discusión entre alumnos. Con esta misma finalidad, se mostraron alrededor de 40 videos cuidadosamente seleccionados de la “Videoenciclopedia de demostraciones de Física” para ilustrar diversos experimentos de mecánica. Las clases fueron dictadas usando PowerPoint® y los apuntes de materia fueron publicados con anticipación para que los alumnos pudieran revisarlos antes de la clase. En las clases auxiliares se utilizó un esquema de trabajo cooperativo con problemas de contexto amplio (Heller *et al.* 1992a; Heller & Hollabaugh 1992b).

Durante la última parte de la clase, los alumnos trabajaron en grupos, bajo la supervisión de los ayudantes, en la solución de uno o dos problemas de contexto amplio tomados del grupo de PER de la Universidad de Minnesota (<http://groups.physics.umn.edu/physed>). Los autores (Meza & Zamorano, 2008) consideran este esquema es ideal para los cursos grandes y produce, como se puede observar de la Figura 1, unos resultados excelentes. Aunque en algunos de los grupos de esta universidad a la eficiencia didáctica llegó a casi 48%, los autores dicen que el desafío de ellos es llegar a 65% de la eficiencia didáctica del curso como se obtuvo en Harvard University.

Entre los años 2009 y 2011, de la Pontificia Universidad Católica de Perú han sido evaluados 4,535 alumnos con la prueba FCI (Castillo & otros, 2013). Este grupo también se encuentra ubicado en la última elipse de la Figura 1

de los estudiantes con mejores puntajes de entrada, pero presenta una la eficiencia didáctica no mayor a 30%. Los resultados indican que los conocimientos de fuerza y movimiento se implantan entre los cursos de Física 1 y Física 2, y no se encuentra una mejora significativa después. El concepto con mayor dificultad de aprendizaje es la Segunda Ley de Newton. Además, existe un importante número de alumnos para los cuales no hay relación entre la ganancia de conceptos y la aprobación del curso.

En Uruguay en la Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, también fue utilizado el método que combina las estrategias de aprendizaje cooperativo con la resolución de problemas ricos en contexto (Kahan *et al.*, 2014) logrando porcentajes de Post-test FCI de 63% en promedio. El análisis multidimensional realizado en esta investigación ha demostrado que los resultados de los parciales del segundo semestre están fuertemente correlacionados con el aprendizaje de los conceptos físicos involucrados, demostrando la importancia del aprendizaje conceptual de la Física.

Finalmente, los puntos azules de Post-test 83% que están por fuera de las elipses de la Figura 1 son los resultados del Post-test de los profesores del Tecnológico de Monterrey de México, que participaron en los Cursos de Formación Profesional (Benegas, Alarcón & Zavala, 2015). Aquí se dejaron estos datos como puntos de referencia de la meta a la cual deben llegar los estudiantes universitarios.

TABLA I. Pre-test FCI, Post-test FCI y la eficiencia didáctica para diferentes grupos de estudiantes de diferentes países.

Fuente	No.	Población	Media de porcentaje de respuestas correctas		Eficiencia didáctica
			pre-test	post-test	
Gómez, A. L. B. (2008)	52	Dos universidades de Guadalajara, Jalisco, México con estudiantes de carreras de ingeniería y ciencias (grupo-control)	27.7	38.0	14.3
Gómez, A. L. B. (2008)	49	Dos universidades de Guadalajara, Jalisco, México con estudiantes de carreras de ingeniería y ciencias (grupo experimental)	31.0	56.7	37.2
Sandoval, M., Mora, C., Ramírez, M. H. <i>et al.</i> (2014)	32	Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco, Tabasco, México, Ingeniería Industrial (grupo de control: aprendizaje por transmisión-recepción)	22.9	26.8	4.5
Sandoval, M., Mora, C., Ramírez, M. H. <i>et al.</i> (2014)	30	Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco, Tabasco, México, Ingeniería Industrial (grupo experimental: Tutoriales para Física Introductoria)	26.5	37.9	14.4
Opazo, H. R. A., Eugenio, J. & Becerra, G. (2009)	94	Universidad Tecnológico de Monterrey, México, estudiantes de ingeniería (grupo de control)	36.6	43.9	11.5
Opazo, H. R. A., Eugenio, J. & Becerra, G. (2009)	57	Universidad Tecnológico de Monterrey, México, estudiantes de ingeniería (grupo experimental: metodología de modelación)	35.6	54.3	29.1
Picquart, M., Guzmán, O. & Sosa, R. (2010)	137/80	Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México, Ciencias Básicas e Ingenierías (grupo de control)	27.7	40.0	12.9
Picquart, M., Guzmán, O. & Sosa, R. (2010)	175/129	Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México, Ciencias Básicas e Ingenierías (grupo experimental)	26.0	45.4	26.2

Benegas, J., Alarcón, H. & Zavala, G. (2015)		Tecnológico de Monterrey, México, profesores que participaron en los Cursos de Formación Profesional	79	83	20.0
Benegas, J., Alarcón, H. & Zavala, G. (2015)		Tecnológico de Monterrey, México, profesores que participaron en los Cursos de Formación Profesional	75	83	31.0
Kahan, S., Auyuanet, A., Davoine, F. & Stari, C. (2014)	55	Universidad de la República, Facultad de Ingeniería, Montevideo, Uruguay. El método combina las estrategias de aprendizaje cooperativo con la resolución de problemas ricos en contexto	43	63	34.0
Castillo, H., Moscoso, R., Phan, J. L. & Quiroz, J. (2013).	539	Pontifical Catholic University of Perú (PUCP)	48.3	60.0	22.6
López Ríos, S., Veit, E. A. & Araujo, I. S. (2011)	23	Universidad de Antioquia, Colombia, Licenciatura en Ciencias Naturales y Educación Ambiental (Adaptación del diagrama V de Gowin a la Modelación Computacional)	30.2	60.5	43.4
Artamónova, I. (2015).	52/45	Universidad del Quindío, Colombia, estudiantes de Ingeniería Civil, Ing. Electrónica (grupo de control)	23.8	29.8	8.0
Artamónova, I. (2015).	52/58	Universidad del Quindío, Colombia, estudiantes de Ingeniería Civil (grupo experimental: 4MAT)	23.7	38.1	18.9
Artamónova, I. (2015).	35/38	Universidad del Quindío, Colombia, estudiantes de Programa de Química (grupo de control)	24.6	32.7	10.8
Artamónova, I., Mosquera, J. C., Ramírez, M. H. & Mosquera, J. D.	11/14	Universidad del Quindío, Colombia, estudiantes de Programa de Química (grupo experimental: 4MAT)	18.8	45.2	32.6
Artamónova, I., Mosquera, J. C., Ramírez, M. H. & Mosquera, J. D.	54	Universidad del Quindío, Colombia, estudiantes de Programa de Química e Ingeniería Civil	23.0	34.6	15.1
Artamónova, I. (2015).	180/193	Universidad del Quindío, Colombia, estudiantes de Programas de Química, Física, Ingeniería Civil e Ingeniería Electrónica	24.6	35.9	15.0
Artamónova, I. (2015).	12/17	Universidad del Quindío, Colombia, estudiantes de Programa de Física	40.0	46.9	11.5
Gómez López, J. F. (2011)		Universidad Politécnico Colombiano Jorge Isaza Cadavid (grupo de control)	23	30	9.1
Gómez López, J. F. (2011)		Universidad Politécnico Colombiano Jorge Isaza Cadavid (grupo experimental)	23	35	15.6
Covián Regales, E. & Celemín M. M. C. (2008)		Poblaciones españolas de estudiantes universitarios	41	48	12.0
Crouch, H. & Mazur, E. (2001)		Harvard University, Peer instruction, 2000	47	80	63.0
Covián Regales, E. & Celemín M. M. C. (2008)		Muestra global de las poblaciones estadounidenses	31.8	57.9	38.2
Covián Regales, E. & Celemín M. M. C. (2008)		Poblaciones estadounidenses universitarias	32.1	68.2	53.1
Mercado, V. M., Alarcón, H., Benegas, J. et al. (2014)	30	Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de San Luis, Argentina (grupo de control)	21	30	11.4

Mercado, V. M., Alarcón, H., Benegas, J. <i>et al.</i> (2014)	30	Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de San Luis, Argentina (grupo experimental: IDEA)	22	51	37.2
Zamorano, N. & Meza, A. (2007)	285	Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas	63.0	76.7	37.0
Meza, A. & Zamorano, N. (2008)	228	Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Sección hombres	65.7	79.0	38.8
Meza, A. & Zamorano, N. (2008)	57	Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Sección mujeres	53	67.3	30.5
Goya, A. & Laburú, (2013)	37	C. E. Uma atividade experimental de Física por meio de investigação multimodal representacional media, Brasil	23.0	46.7	30.8
Goya, A. & Laburú, (2014)	41/26	Estudiantes de licenciatura en Química de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná (Metodología: actividad de investigación multimodal representacional - AIM), Brasil	22.3	46.9	31.7

IV. CONCLUSIONES

En este artículo se presentaron los resultados del test FCI y sus aplicaciones para diferentes poblaciones universitarias de Estados Unidos, España y algunos países de América Latina. El análisis gráfico permitió crear tres grupos de universidades de acuerdo al nivel de conocimientos previos de los estudiantes que ingresan a la universidad: grupo “novatos”, intermedio (donde existe la selección de los estudiantes) y de las universidades de alto prestigio.

Al mismo tiempo se mostró como se puede, con los datos de pre-test y post-test FCI y la eficiencia didáctica, evaluar la efectividad de la enseñanza en contexto de las investigaciones actuales en América Latina. En especial, las mediciones realizadas con el FCI permiten decidir sobre la pertinencia del uso de una u otra estrategia didáctica al realizar una medición, no sólo del nivel de maduración conceptual de cada alumno (lo cual incide en su preparación para afrontar retos superiores en sus carreras), sino que también permite medir la eficiencia didáctica. Ésta última resulta ser una evaluación no tanto del alumno en sí, sino de la estrategia utilizada durante el desarrollo del curso, para el desarrollo conceptual de los involucrados.

La utilidad de este método puede ser extendida a otros campos conceptuales de la Física u de otras ciencias exactas, ya que existen los test conceptuales de opción múltiple o cuestionarios con problemas, para muchos temas de Física, Química y otras áreas del saber.

Con esta investigación la comunidad de educadores latinoamericanos tendrá un marco teórico propio para hacer las comparaciones entre las metodologías de enseñanza, entender la necesidad de mejoramiento de los planes de estudio y evaluar las necesidades de cambios curriculares.

AGRADECIMIENTOS

Artamónova, I. agradece a la Universidad del Quindío el apoyo otorgado para los estudios del Doctorado en Física Educativa realizados en CICATA-IPN, México. Resultados de la tesis doctoral se presentan como parte de este trabajo.

REFERENCIAS

- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158.
- Hestenes, D., Wells, M. (1992). A mechanics baseline test. *The Physics Teacher*, 30(3), 159-166.
- Halloun, I. & Hestenes, D. (1985A). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043-1055.
- Halloun, I. & Hestenes, D. (1985B). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53(11), 1056-1065.
- Hestenes, D. & Halloun, I. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory. A response to Huffman and Heller. *The Physics Teacher*, 33, 502-506.
- Hake, R. (1998). Interactive-engagement vs. traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64-74.
- Crouch, H. & Mazur, E. (2001). Peer instruction: ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970-977.
- Covián R., E. & Celemin M., 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*, 26(1), 23-42.
- Henderson, C. (2002). Common concerns about the Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 40, 542-47.
- Caballero, M. D., Greco, E. F., Murray, E. R., Bujak, K. R., Marr, M. J., Catrambone, R. & Schatz, M. (2012). Comparing large lecture mechanics curricula using the Force Concept Inventory: A five thousand-student study. *American Journal of Physics*, 80(7), 638-644.
- Luangrath, P., Pettersson S. & Benckert, S. (2011). On the use of two versions of the Force Concept Inventory to Test Conceptual Understanding of Mechanics in Lao PDR. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 7(2), 103-114. Recuperado de: <http://www.ejmste.com/ms.aspx?kimlik=10.12973%2feurasia.209&nerden=2>. Accesado el 22 de abril de 2015.
- Fagen, A. P., Crouch, C. H., & Mazur, E. (2002). Peer instruction: Results from a range of classrooms. *The Physics Teacher*, 40(4), 206-209.
- Savinainen, A. & Scott, P. (2002a). The Force Concept Inventory: A tool for monitoring student learning. *Physics Education*, 37, 45-52.
- Savinainen, A. & Scott, P. (2002b). Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching. *Physics Education*, 37, 53-58.
- Steinberg, R. N. & Donnelly, K. (2002). PER-based reform at a multicultural institution. *The Physics Teacher*, 40, 108-114.

Celemín, M. & Covián, E. (1998a). El FCI como instrumento de evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje de la mecánica en las enseñanzas técnicas. *VI Congreso de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas*. Tomo 1. pp. 333-351. Las Palmas de Gran Canaria, España. 9-11 de septiembre.

Celemín, M., Covián, E., Palencia, C., Vicente, P., Díez, P. & García Fernández, M. (1998b). *Evaluación del proceso enseñanza-aprendizaje de la mecánica de Newton*. Proyecto de investigación (sin publicar). Convocatoria del programa de apoyo a proyectos de investigación a realizar en 1997, por medio de la Orden de 26 de marzo de 1996 de la Consejería de Educación y Cultura de la Junta de Castilla y León. León, España.

Yasuda, J. I., Uematsu, H. & Nitta, H. (2012). Validating a Japanese version of the Force Concept Inventory. *Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol, 1*(89), 6.

Benegas, J., Alarcón, H. & Zavala, G. (2015). *Formación de profesorado en metodologías de aprendizaje activo de la Física*. Recuperado de: http://www.researchgate.net/profile/Genaro_Zavala/publication/264768097_Formacin_de_Profesorado_en_Metodo_logas_de_Aprendizaje_Activo_de_la_Fsica/links/53ee586d0cf26b9b7dc86a93.pdf. Accesado el 15 de abril de 2015.

Gómez, A. L. B. (2008). Acerca de la enseñanza-aprendizaje de los conceptos de fuerza y trabajo. *Latin-American Journal of Physics Education*, 2(3), 18.

Rodríguez, M. D., Mena, D. A. & Rubio, C. M. (2010). Razonamiento científico y conocimientos conceptuales de mecánica: Un diagnóstico de alumnos de primer ingreso a licenciaturas en ingeniería. *Formación universitaria*, 3(5), 37-46.

Sandoval, M., Mora, C., Ramírez, M. H., Ricárdez, C. & De los santos, U. (2014). Análisis del razonamiento conceptual en movimiento acelerado de estudiantes universitarios utilizando tutoriales de Física Introductoria. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 8(3), 573. Recuperado de: http://www.lajpe.org/sep14/23_LAJPE_Sandoval.pdf. Accesado el 23 de abril de 2015.

Opazo, H. R. A., Eugenio, J. & 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. Accesado el 30 de abril de 2015.

Zamorano, N. & Meza, A. (2007). *Usando el cuestionario sobre conceptos de fuerza (FCI) como instrumento de diagnóstico y evaluación de aprendizajes*. Recuperado de: <http://www.ici.ubiobio.cl/ccei2007/papers/43.pdf>. Accesado el 2 de abril de 2015.

Meza, A. & Zamorano, N. (2007). *El desafío de innovar en la enseñanza de la Física: Ejemplo de una implementación exitosa basada en PER*. Recuperado de: <http://www.ici.ubiobio.cl/ccei2007/papers/116.pdf>. Accesado el 13 de abril de 2015.

Mazur, E. (1997). *Peer instruction: A user's Manual*, México: Prentice-Hall.

Kahan, S., Auyuanet, A., Davoine, F. & Stari, C. (2014). Física 1++: Aulas de aprendizaje cooperativo para

estudiantes que recursan. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* 8(2), 335. Recuperado de: http://lajpe.org/jun14/14_LAJPE_914_Sandra_Kahan.pdf. Accesado el 3 de abril de 2015.

Castillo, H., Moscoso, R., Phan, J. L. & Quiroz, J. (2013). Impacto de la enseñanza de conceptos de fuerza y movimiento en los cursos de Física General. *En Blanco y Negro*, 4(1). Recuperado de: <http://ezproxybib.pucp.edu.pe/index.php/enblancoynegro/article/view/7412/7636>. Accesado el 8 de abril de 2015.

Picquart, M., Guzmán, O. & Sosa, R. (2010). Razonamiento científico e ideas previas en alumnos de ciencias básicas de la UAM-Iztapalapa. *Latin-American Journal of Physics Education*, 4(1), 38.

Arias, Q. J. A. *Los diagramas de fuerza como elemento fundamental en la enseñanza-aprendizaje de las leyes de Newton bajo un enfoque constructivista: Estudio de caso en el curso de Física mecánica para ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia* (Doctoral dissertation). Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. Recuperado de: http://www.bdigital.unal.edu.co/6822/1/Tesis_Diagramas_de_Fuerza_en_la_Ense%C3%B1anza.pdf. Accesado el 9 de abril de 2015.

López, R., S., Veit, E. A. & Araujo, I. S. (2011). Modelación computacional apoyada en el uso del diagrama V de Gowin para el aprendizaje de conceptos de dinámica newtoniana. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), 202-226. Obtenido de: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen10/ART10_Vol10_N1.pdf. Accesado el 20 de abril de 2015.

Artamónova, I., Mosquera, J. C., Ramírez, M. H. & Mosquera, J. D. (2014). Resultados cuantitativos de la aplicación del Sistema 4MAT en Mecánica en la Universidad del Quindío. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* 8(4), 4511-1. Recuperado de: http://www.lajpe.org/dec14/4511_Irina.pdf. Accesado el 20 de abril de 2015.

Artamónova, I. (2015). *Aplicación del sistema 4mat en la enseñanza de la mecánica: Caso particular de los estudiantes de Programas de Ingeniería Civil y Química en la Universidad del Quindío, Colombia*. Tesis inédita de doctorado en Física Educativa. CICATA-IPN. México.

Gomez, L. J. F. (2011). *Una propuesta de intervención didáctica que promueve el aprendizaje activo de la Física universitaria y la utilización de un ambiente virtual interactivo de aprendizaje: Un estudio comparativo en el caso de la dinámica*. Tesis para optar el título de Magister en Educación. Universidad de Medellín, Colombia. Recuperado de: <http://cdigital.udem.edu.co/TESIS/CD-ROM61652011/11.Capitulo5.pdf>. Accesado el 22 de abril de 2015.

Barragán, G. A. L. (2011). Un modelo de enseñanza neuropedagógico de las leyes de Newton para la NetGen. *Latin-American Journal of Physics Education*, 5(2), 33.

Mercado, V. M., Alarcón, H., Benegas, J., Monasterolo, R. R., Rosales, F. & Ribotta, M. I. P. S. L. (2014). IDEA: An alternative for learning problem solving in the course of Mechanics for engineering students at FICA. *Journal of Education and Human Development*, 3(4), 171-180.

Goya, A. & Laburú, C. E. (2014). Uma atividade experimental de Física por meio de investigação multimodal representacional. An experimental activity of physics by means of representational multimodal research. *Experiências em Ensino de Ciências*, 9(2), 32-44.

Laburú, C. E., De Freitas Zompero, A. & Barros, M. A. (2013). Vygotsky e múltiplas representações: leituras convergentes para o Ensino de Ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30(1), 7-24.

Beichner, J. D. D. (2014). *GOAL-Oriented problem solving*. Recuperado de: <https://lost-contact.mit.edu/afs/unity.ncsu.edu/lockers/ftp/beichner/RB/GOALPaper.pdf>. Accesado el 23 de abril de 2015.

Panitz, E. (s.f.). Collaborative vs Cooperative Learning: *A comparison of the two concepts, which will help us, understand the underlying nature of interactive learning*. Recuperado de: <http://home.capecod.net/~tpanitz/Tedsartitedsarticles/coopdefinition.htm>. Accesado el 27 de abril de 2015.

Heller, P., Keith, R. & Anderson, S. (1992a). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving. *Am. J. Phys.*, 60, 627-636.

Heller, P. & Hollabaugh, M. (1992b). Teaching problem solving through cooperative grouping. Part 2: Designing problems and structuring groups, *Am. J. Phys.*, 60, 637-644.

Leonard, W. J. & Dufresne, R. J. (2002). Resolución de problemas basada en el análisis. Hacer del análisis y del razonamiento el foco de la Enseñanza de la Física. *Enseñanza de las ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 20(3), 387-400.