

Razonamiento científico e ideas previas en alumnos de ciencias básicas de la UAM-Iztapalapa



Michel Picquart, Orlando Guzmán y Rebeca Sosa

*Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa,
San rafael Atlixco No.186. Colonia Vicentina, CP 09340, México D. F.*

E-mail: mp@xanum.uam.mx

(Recibido el 14 de Diciembre de 2009; aceptado el 20 Abril de 2010)

Resumen

Se presentan los resultados de una investigación realizada con alumnos del tronco general de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAM Iztapalapa. Cuatro grupos recibieron una enseñanza centrada en conceptos, con participación activa y utilización de simulaciones o de laboratorio, y cuatro grupos control una enseñanza más tradicional. Se inició una búsqueda de las ideas previas usando el Inventario del Concepto de Fuerza (FCI) y la puesta en marcha de estrategias didácticas diferentes para tratar de lograr el cambio conceptual adecuado. El FCI fue aplicado a principio y a final del trimestre, y a final del segundo trimestre. Con los resultados obtenidos en los grupos experimental, este trabajo muestra, *i*) que la clase magistral no funciona, *ii*) que el uso de cualquier evolución técnica no cambia nada si el alumno no participa, *iii*) que la implicación de los alumnos es indispensable para un aprendizaje significativo y que éste tiene que ver con la actitud e interés por los alumnos más que por la cátedra en sí misma. Se compararon los resultados obtenidos con varias instituciones de Estados Unidos y Europa. Además, se aplicó a los alumnos la prueba de Lawson para tratar de relacionar las deficiencias en los resultados al FCI con deficiencias en el razonamiento formal.

Palabras clave: Prueba de Lawson, ideas previas, errores conceptuales de mecánica, enseñanza de la mecánica.

Abstract

We present the results of an investigation realized with students of the first year of the Basic Sciences and Engineering Division of the UAM Iztapalapa. Four groups received classes based on concepts, with active participation and use of applets or laboratory and four groups with a more traditional teaching. We investigated the misconceptions by using the Force Concept Inventory (FCI) and the implementation of different didactic strategies in order to obtain the conceptual change. The FCI was applied at the beginning and at the end of trimester, and at the end of the second trimester. With the results obtained in the experimental groups, this work shows, *i*) the lecture doesn't work, *ii*) the use of any technical evolution doesn't change anything if the student doesn't participate, *iii*) implication of students is the key for a significant learning. We compared our results with some institutions from United States and Europe. We applied also the Lawson test in order to relate FCI deficiencies with formal reasoning deficiencies.

Keywords: Lawson test, misconceptions of mechanics, mechanics teaching.

PACS: 01.40.Fk, 01.40.gb, 01.50.Kw, 45.20.D..... **ISSN 1870-9095**

I. INTRODUCCIÓN

La formación científica en los diferentes niveles de enseñanza primaria, secundaria y preparatoria debería proporcionar a los futuros ciudadanos adultos los elementos básicos de las disciplinas científicas para que sean capaces de entender la realidad que les rodea y puedan comprender el papel de la ciencia en nuestra sociedad. Asimismo, este primer contacto con la ciencia debería contribuir a que éstos desarrollasen ideas adecuadas sobre la ciencia y el conocimiento científico y a que aplicasen hábitos propios del pensamiento y razonamiento científico en su vida cotidiana. Estos objetivos chocan muchas veces con la realidad.

Es muy común escuchar por parte de varios colegas, la queja de que ha bajado el nivel de los alumnos, que no saben nada con respecto a la época en la que los actuales profesores eran estudiantes, que la culpa la tienen los niveles anteriores de educación, etc., sin hacer ninguna crítica o autocrítica del propio proceso de enseñanza - aprendizaje. Las graves deficiencias de la educación secundaria y preparatoria en México cuestionan nuestro propio desempeño y el modelo de enseñanza centrada en la clase magistral del profesor y más aún la actitud de quien se opone a cualquier cambio. No podemos esperar que se hagan los cambios necesarios en los niveles anteriores de enseñanza para trabajar a gusto. Tenemos que recibir a los alumnos como están y no como lo deseáramos y hacer lo necesario

para que, lo que aprenden sea duradero y eficiente. Evidentemente, esto necesita por parte del cuerpo docente un cambio de actitud: el de dejar de trabajar solamente para una pequeña elite de alumnos.

La mayoría de los profesores consideran su enseñanza como algo muy personal. Mientras que para sus actividades de investigación, se admite que cualquier artículo sea sometido a la crítica de otros expertos e investigadores, no es siempre lo mismo para las actividades de docencia. Obtener informaciones relativas a la calidad y a la eficacia de su docencia, replantear las estrategias que permitirían que el aprendizaje de los alumnos sea más eficaz y duradero debería ser parte integral del mandato de un miembro del personal académico. Tener una visión crítica sobre sus actividades de docencia y desarrollar un pensamiento reflexivo en cuanto a la práctica docente son actitudes indispensables a cualquier profesor, sobre todo en una perspectiva de política de calidad de las formaciones.

Tomar el tiempo de hacer el balance de su manera de enseñar, estar a la búsqueda de informaciones de cualquier procedencia (estudiantes, colegas, pedagogos...), observar la evolución de los resultados de sus alumnos... son medios que permiten analizar y tener la visión necesaria para emprender cualquier nueva acción pedagógica.

Que el aprendizaje significativo de las ciencias por parte de los alumnos sea una tarea con un índice de fracaso elevado es una realidad que cuestiona directamente nuestro propio desempeño. Es probable que las causas de este fracaso sean múltiples y resulte complicado abordarlas todas a la vez, como un todo. Parte de la responsabilidad del fracaso está en los alumnos, parte en los profesores y, seguramente, otra parte esté en el contexto escolar y en la propia sociedad. En este trabajo nos concentramos sólo en dos aspectos: lo que los alumnos *saben* (ideas previas) cuando ingresan y lo que *saben hacer* (estrategias de razonamiento).

A mediados de los setentas, físicos y profesores de física se dieron cuenta que numerosos estudiantes aprendían muy poco con las clases magistrales tradicionales. Varios investigadores, estudiaron cuidadosamente la comprensión de los estudiantes sobre una gran variedad de temas y concluyeron que los cursos tradicionales aumentan muy poco la comprensión de los conceptos centrales de la física, aún, si los estudiantes aprenden exitosamente la manera de resolver problemas de física sacados de los libros de texto [1, 2, 3] con el uso automático de un par de formulas sin necesidad de entender lo que significan. De manera simultánea, investigadores que estudiaron el aprendizaje en la educación superior, han establecido que los estudiantes desarrollan habilidades de razonamiento complejo de manera más eficiente cuando participan en actividades colaborativas [4].

En un artículo reciente [5], hemos propuesto la realización a título experimental, de un proceso de enseñanza-aprendizaje diferente, más centrado en el aprendizaje conceptual para los alumnos de primer ingreso en el tronco general (TG) de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería (DCBI) de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAM-I). Además, para que el

aprendizaje sea más efectivo, habíamos incluido también el uso de métodos didácticos diferentes de la clase magistral: trabajo en equipos, discusiones y resoluciones de problemas como investigación, uso de simulaciones o de laboratorio, etc., de tal manera que aumente la participación activa de los alumnos en el aula.

El concepto de fuerza, como cantidad vectorial, se encuentra en las tres leyes de Newton y es fundamental en el estudio de la mecánica newtoniana. Desde el primer trabajo de L. Viennot [6], muchas investigaciones han sido realizadas, enfatizando las dificultades encontradas por los estudiantes en todos los niveles de enseñanza, en el mundo entero, en cuanto a la asimilación de los conceptos básicos de mecánica newtoniana (ver [7] y las referencias que contiene). Una de las dificultades en esta asimilación se encuentra en el hecho de que los alumnos no nos llegan con la cabeza vacía. Vienen ya con ideas, estructuras de pensamiento inadecuadas que varios autores reagrupan bajo los términos de ideas previas, preconceptos, etc.

Todos los estudios realizados en los últimos veinte años coinciden en señalar que estos preconceptos son difíciles de erradicar, en particular si no se desarrollan métodos didácticos específicos para esto. Coinciden también en mostrar que la enseñanza tradicional ilustrada por la exposición o curso magistral no tiene efecto alguno en la erradicación de estas ideas previas, y que pueden sobrevivir aún a las clases de los llamados “mejores” profesores.

Una herramienta importante para saber de los conceptos de mecánica de los estudiantes es el Inventario del Concepto de Fuerza (FCI), elaborado inicialmente por Hestenes *et al.* [8, 9]. No solamente nos permite controlar el avance de cada uno de los alumnos en el entendimiento conceptual sino también conocer sus preconceptos y evolución de las mismas en el tiempo. Además de determinar la comprensión de varios conceptos básicos de la mecánica newtoniana como fuerza, velocidad, aceleración, etc, este instrumento permite determinar el nivel de conocimientos de mecánica en un momento dado, evaluar la eficiencia didáctica del proceso de enseñanza-aprendizaje y determinar y clasificar los preconceptos de los alumnos [8, 9, 10, 11, 12, 13]. Los bajos resultados del FCI encontrados en varias instituciones que usan métodos tradicionales [3] sugieren que el conocimiento de los alumnos después de un curso introductorio es frecuentemente incompleto, fragmentario, y contiene todavía errores significativos y conceptuales.

El segundo aspecto que puede permitir conocer mejor a nuestros alumnos, es poder evaluar su capacidad de razonamiento. Según los trabajos de Piaget [14], el desarrollo intelectual está relacionado con el desarrollo biológico. El desarrollo intelectual es necesariamente lento y también esencialmente cualitativo: la evolución de la inteligencia supone la aparición progresiva de diferentes etapas que se diferencian entre sí por la construcción de esquemas cualitativamente diferentes. Nos interesaremos en las dos últimas etapas, la del razonamiento concreto y la del razonamiento formal. Este último es indispensable para cualquier alumno que quiere estudiar ciencias [15, 16].

Coletta y Phillips [17] utilizaron la prueba de Lawson de razonamiento científico para mostrar que existía una

correlación muy fuerte entre el resultado a esta prueba y la ganancia normalizada del FCI. Alarcón *et al.* [18] encontraron un resultado parecido con alumnos del Tecnológico de Monterrey.

Finalmente, unas de las características básicas del modelo piagetiano son, que el aprendizaje es un proceso de reorganización cognitiva y que depende del nivel de desarrollo del individuo en el cual son importantes los conflictos cognitivos o contradicciones cognitivas. De ahí, la necesidad de conocer las preconcepciones y las capacidades de razonamiento de los alumnos. Además, como lo menciona Piaget [14], las experiencias de aprendizaje deben estructurarse de manera que se privilegie la cooperación, la colaboración y el intercambio de puntos de vista en la búsqueda conjunta del conocimiento (aprendizaje interactivo). De ahí, la necesidad de encontrar nuevas formas de enseñanza más interactivas.

II. MATERIALES Y METODOS

Se aplicó la prueba de Lawson a 167 alumnos del TG, 57 del primer trimestre, 86 del segundo y 24 del tercero durante el último trimestre del 2009. Con respecto a la prueba original [19], se escogieron ocho de las doce preguntas dobles. La lista con el porcentaje de aciertos en cada una de ellas se presenta en la Tabla 1.

En función del resultado de esta prueba, se puede clasificar al alumno según su tipo de razonamiento. Puede haber algunos matices en determinar el nivel de razonamiento de los alumnos. Según Lawson [19], si el alumno tiene menos de 33.3 % de respuestas correctas se encuentra en el grupo de razonamiento operacional concreto, y arriba de 66.6 % en el de razonamiento operacional formal. Hemos considerado en nuestro caso que era más pertinente dividir las respuestas en cuatro intervalos, [0, 25%], (25%, 50%], (50%, 75%] y (75%, 100%]. El intervalo inferior siendo el del razonamiento operacional concreto y el superior el del razonamiento operacional formal, con dos niveles intermedios. Finalmente, se analizó el porcentaje de respuestas correctas a cada pregunta, la calificación promedio en cada uno de los tres primeros trimestres y la repartición de los alumnos en los intervalos de respuestas correctas.

Llamemos grupo experimental (E) a los alumnos que recibieron clase de acuerdo a los principios mencionados anteriormente y grupo control (C) a los alumnos que recibieron una clase más tradicional. El grupo experimental fue constituido de cuatro grupos de alumnos: dos grupos del trimestre de otoño del año 2007 y dos grupos del trimestre de primavera del 2009 (175 alumnos a principio del trimestre). El grupo control fue constituido de otros cuatro grupos: dos grupos en cada uno de los mismos trimestres (137 alumnos a principio del trimestre).

La versión que hemos considerado del FCI para este estudio es la versión revisada de Halloun *et al.* [20] de treinta preguntas adaptada al español por Macia-Barber *et al.* [21]. Esta prueba fue aplicada durante el primer día de clase y durante la última semana de clase del trimestre, a todos los

alumnos de los grupos experimentales y controles. Al trimestre siguiente, el FCI fue aplicado a dos grupos de alumnos (40 alumnos) que habían cursado el grupo experimental el trimestre anterior. De la misma manera se aplicó a alumnos del sexto trimestre de la licenciatura en física y a alumnos del último trimestre o que ya habían terminado la licenciatura.

Los parámetros de evaluación utilizados fueron: la media de respuestas correctas del FCI en los grupos, el incremento relativo (índice de ganancia [22]) de respuestas correctas entre las dos aplicaciones del FCI calculado por:

$$g = \frac{P_2 - P_1}{100 - P_1} \times 100$$

donde P_1 y P_2 son los resultados en porcentaje en las dos pruebas, respectivamente. Para el análisis detallado de los conceptos, se consideraron los resultados globales de los cuatro grupos E y C en las dos pruebas. Se realizó también un análisis de los errores más frecuentes y su evolución en los diferentes trimestres.

Un estudio de correlación entre la prueba de razonamiento científico de Lawson y el inventario del concepto de fuerza no fue posible ya que las muestras en las dos pruebas no coincidieron totalmente. Parte de las dificultades de la investigación didáctica reside en la poca participación de algunos colegas que pretextan frecuentemente la falta de tiempo, la necesidad de terminar el programa, etc, para aplicar varias pruebas en un solo grupo.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En una primera parte, estudiaremos los resultados a la prueba de razonamiento científico de Lawson y en una segunda los resultados comparativos al FCI.

A. Prueba de Lawson

La prueba de razonamiento científico de Lawson consta originalmente de doce preguntas dobles [19]. Hemos quitado la mayor parte de las preguntas del tema de probabilidades, dejando solamente la más sencilla de ella. Los temas de las ocho preguntas restantes están listados en la Tabla I. Como es comúnmente admitido [17], en esta prueba es considerada buena la respuesta que contiene las dos respuestas correctas de la pregunta doble. Por lo tanto, el puntaje máximo que un alumno puede obtener es de ocho puntos.

Los resultados a las ocho preguntas, medidos en porcentaje de aciertos, están listados en la última columna de la Tabla 1, donde el número de aciertos, para la muestra total de alumnos (167), varía de 7.2 % a 87.4 %. Cabe resaltar de estos resultados las respuestas a las dos primeras preguntas sobre conservación de la masa y del volumen, en las cuales para más de 12 % de alumnos la masa no se conserva y para casi 42 % tampoco el volumen, en las condiciones del experimento. Así mismo, notamos que muy pocos alumnos

contestan de manera correcta a las dos últimas preguntas sobre el pensamiento y razonamiento hipotético-deductivo.

TABLA I. Temas de las preguntas y porcentaje de respuestas correctas.

Pregunta	Tema	Aciertos (%)
1, 2	Conservación de la masa	87.4
3, 4	Conservación del volumen	58.1
5, 6	Proporciones	62.9
7, 8	Proporciones	34.1
9, 10	Identificación y control de variables	50.3
11, 12	Probabilidades	42.5
13, 14	Pensamiento hipotético-deductivo	7.2
15, 16	Razonamiento hipotético-deductivo	22.2

En la Figura 2, se presentan los histogramas de las calificaciones de los alumnos en función del trimestre que están cursando. Se puede observar que solo un alumno de primer trimestre contestó bien a las ocho preguntas y tres de primer trimestre contestaron bien a siete preguntas.

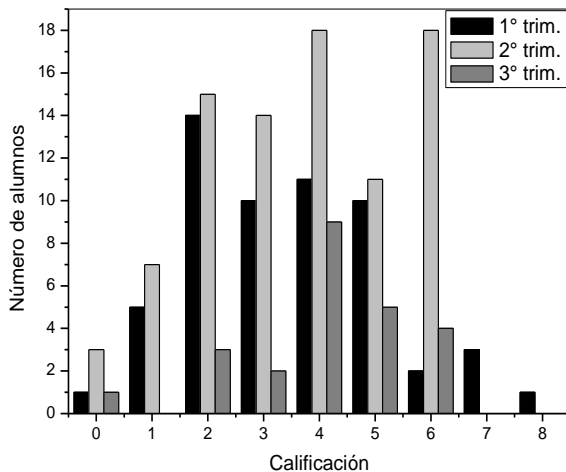


FIGURA 1. Histograma de las calificaciones de los alumnos en los diferentes trimestres del TG.

Si se comparan las calificaciones promedios en los tres grupos, no aparece diferencia significativa ($p < 0.001$). Los alumnos de primer trimestre tienen un promedio de 3.47 ± 1.75 , los de segundo 3.65 ± 1.74 y los de tercero 4.04 ± 1.49 , como lo podemos notar en la Tabla II.

TABLA II. Promedio de calificaciones a la prueba de Lawson en los alumnos de tres primeros trimestres.

Trimestre	Promedio	D.E.
1	3.47	1.75
2	3.65	1.74
3	4.04	1.49

La Figura 2 representa la repartición de los alumnos de los diferentes trimestres en los cuatro intervalos de respuestas correctas de la prueba de Lawson: el primer intervalo contiene los alumnos que responden correctamente a dos o menos preguntas, los del segundo intervalo contestan

correctamente a tres o cuatro preguntas, los del tercero a cinco o seis y los del último a siete u ocho.

Más del 70 % de los alumnos del primer trimestre se encuentran en los dos intervalos inferiores y más de 60 % para los dos trimestres siguientes. Solamente una minoría de alumnos se encuentra en los dos intervalos superiores, es decir alumnos que están en una fase de transición o han adquirido el razonamiento formal.

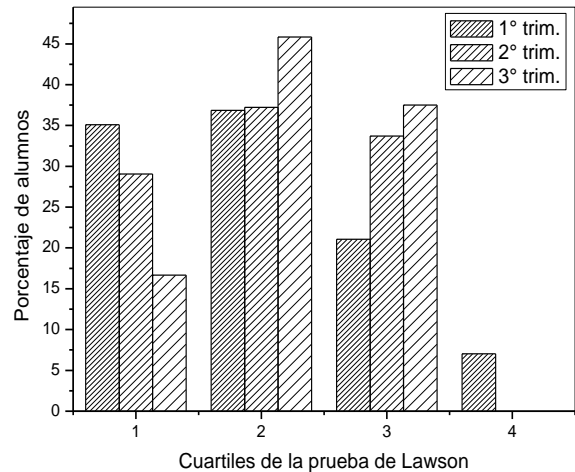


FIGURA 2. Repartición de los alumnos por nivel de razonamiento en los diferentes trimestres del TG.

Estos resultados no se alejan mucho de los resultados obtenidos a la prueba Enlace realizada en 2008 por la Secretaría de Educación Pública [22], en donde casi la mitad de los alumnos de nivel medio superior de la república mexicana tienen un nivel de razonamiento y conocimientos insuficientes en matemáticas. Esta prueba fue aplicada a 90 % de los alumnos del tercer año de preparatoria y abarcaba español y matemáticas. Los resultados se dividieron según las calificaciones en: Insuficiente, Elemental, Bueno y Excelente. El 46.6 % de los alumnos evaluados en matemáticas, tuvieron un resultado Insuficiente. Se limitan a hacer operaciones básicas. Sólo 3.4 % obtuvo calificación Excelente.

B. Inventario del Concepto de Fuerza

Uno de los primeros resultados del FCI está relacionado con la tasa de abandono de los alumnos. A final del primer trimestre, quedaban 129 alumnos en el grupo experimental (175 al principio) y 80 en el grupo control (137 al principio), respectivamente, aunque la mayoría de los abandonos se presentó en la semana 5 (de un total de 11 semanas del que constan los cursos trimestrales). En la UAM, los alumnos pueden darse de baja en una UEA en dicha semana si consideran que no la pueden aprobar.

La tasa de abandono fue del 26.29 % en el grupo experimental y del 41.61 % en el grupo control. Una prueba χ^2 muestra que la diferencia en las tasas de abandono es muy significativa ($p < 0.005$) entre el grupo experimental y el

grupo control. Una de las razones que podemos avanzar para explicar que menos alumnos abandonaron los cursos en el grupo experimental, es que las clases fueron más participativas y/o más amenas en el grupo experimental que en el grupo control y que los alumnos se sintieron en un ambiente más agradable para estudiar. Aparentemente, una clase interactiva, en donde los alumnos participan realmente, permite la retención de alumnos.

TABLA III. Promedios de respuestas correctas en las dos pruebas sucesivas del FCI para todos los grupos.

	Experimental		Control	
	Promedio	D.E.	Promedio	D.E.
Prueba 1	7.79	3.83	8.30	4.01
Prueba 2	13.62	4.63	11.09	3.91

En la Figura 3, se comparan los resultados de las dos pruebas realizadas en el grupo experimental y en el grupo control. Se puede observar que en la prueba 1 los histogramas coinciden, mientras en la prueba 2, el histograma del grupo experimental está desplazado hacia la derecha con respecto al grupo control. La Tabla III resume las características de los dos histogramas.

Mientras que no hay diferencia significativa entre el grupo experimental y el grupo control en los resultados de la prueba 1, existe una diferencia significativa ($p < 0.0001$) en los resultados de la prueba 2. El índice de ganancia en el grupo experimental fue de 26.2 %, mientras en el grupo control fue de 12.9 %. En los dos grupos hay una progresión, pero es mucho mayor (más del doble) en el grupo experimental que en el grupo control.

En la Figura 4, se representa el índice de ganancia g en función del resultado a la primera prueba P_1 comparado con diferentes instituciones de los EUA en donde se separaron entre los alumnos que recibieron una clase tradicional (T) y los que recibieron una clase interactiva (IE). Se compara también con los resultados de algunas instituciones españolas con clases esencialmente tradicionales y con una escuela preparatoria finlandesa que prepara al bachillerato internacional con enseñanza interactiva.

Lo que podemos observar es que nuestros alumnos tienen unos de los resultados más bajos en la primera prueba. Esto refleja el nivel de ingreso de los alumnos, lo que tiene que ver probablemente con las deficiencias de la educación en México, pero se observa que los alumnos del grupo control (clase tradicional), progresan muchos menos que los alumnos del grupo experimental (clase más interactiva). Además, los del grupo experimental progresaron más con respecto a los alumnos de las instituciones de EUA que recibieron una clase tradicional y con respecto a los alumnos de las instituciones españolas. No obstante, el grupo experimental progresa mucho menos que los alumnos estadounidenses o finlandeses que recibieron una clase interactiva y no llega a los 60 % de aprendizaje conceptual. En estas comparaciones, no debemos olvidar que los

resultados obtenidos en la UAM-I son después de un solo trimestre de clase.

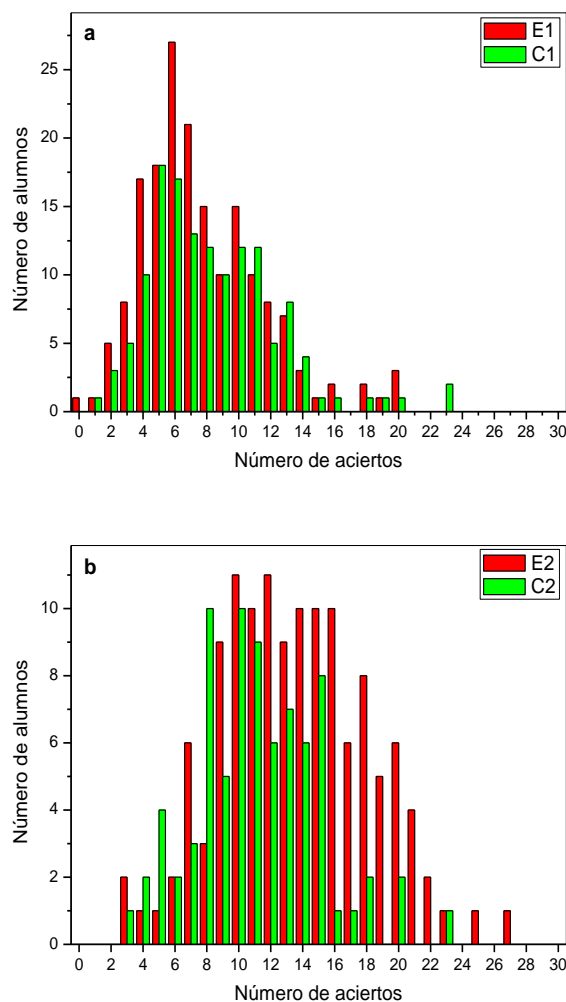


FIGURA 3. Resultados de las pruebas 1 (a) y 2 (b) en los grupos experimental (rojo) y en los grupos control (verde).

Para tratar de ver lo que pasaba con los alumnos en escalas de tiempo mayores, se seleccionó la licenciatura de física. El FCI fue aplicado a un grupo de alumnos de esta licenciatura que cursaban la UEA de Mecánica del sexto trimestre (10 alumnos), y a alumnos del duodécimo trimestre o que ya habían terminado la licenciatura (10 alumnos más). Los promedios con su desviación estándar se presentan en la Tabla IV.

Aunque los alumnos sean diferentes, podemos observar que el promedio a la salida de la licenciatura en física es mayor a los dos resultados del FCI en el TG. No obstante, el promedio más alto obtenido se debe a dos muy buenos alumnos. Si estos no se consideran, el promedio es de 12.13 ± 4.64 , no muy diferente del promedio obtenido a la segunda prueba en los grupos C (Tabla III). Parece que una vez pasado el tronco general, no hay mejora significativa en el aprendizaje conceptual de los alumnos. Además, el promedio es justo la mitad del total de aciertos, lo que significa que un

alumno saliendo de la licenciatura todavía no tiene adquirido los conceptos básicos de fuerza.

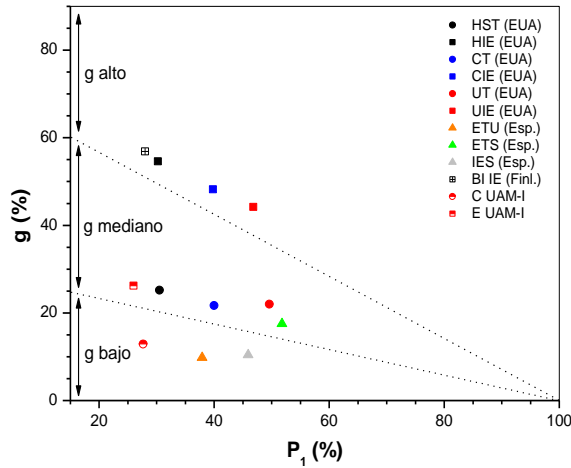


FIGURA 4. Índice de ganancia g en función del resultado en la primera prueba P_1 , para los grupos de la UAM-I (E: Experimental, C: Control) y para diferentes centros de estudios de EUA (HS: High-Schools, C: Colleges, U: Universities, con enseñanza tradicional (T) o interactiva (IE)), España (ETU: Escuela Técnica Universitaria, ETS: Escuela Técnica Superior, IES: Institutos de Enseñanza Secundaria) y Finlandia (BI: Bachillerato Internacional).

TABLA IV. Comparación de los promedios de calificaciones al FCI, en el trimestre cero (prueba inicial) y en los trimestres seis y doce de la licenciatura en física.

Trimestre	Promedio	D.E.
0	8.01	3.91
6	11.67	3.08
12	15.00	7.32

Si ahora se compara el promedio obtenido después de un trimestre en los grupos E (Tabla III), podemos observar que casi idéntico al obtenido al final de la licenciatura en física. Para profundizar la comparación entre los grupos E y la educación tradicional en la licenciatura, hemos aplicado también el FCI a alumnos que cursaron dos trimestres en los grupos E (es decir, que estaban inscritos en el segundo trimestre en grupos E anterior). El promedio obtenido fue de 15.83 ± 4.27 , equivalente al de los alumnos con licenciatura.

En la Figura 5, se comparan los porcentajes de respuestas correctas a las cuales menos de 50 % de alumnos contestaron bien a la primera prueba, y su evolución en los diferentes trimestres. Comparando los dos diagramas, se puede observar que después de dos trimestres los alumnos de los grupos E, tienen resultados mejores que los alumnos de los grupos C y, en varias preguntas que los alumnos a final de la licenciatura. No obstante, en los dos casos quedan preguntas con muy poca respuestas correctas, en particular las preguntas de la segunda mitad de la prueba. Esta prueba no se realizó en tiempo limitado, se dejó hasta hora y media para que los alumnos contesten. Aún así, parece que contestar treinta preguntas es demasiado y que llegado a la mitad, el cansancio pesa.

En la primera prueba, en los dos grupos C y E, cuatro preguntas (9, 15, 17 y 30) tuvieron respuestas correctas muy bajas y un acumulación característica de respuestas erróneas en algunos de las opciones de respuesta. La primera tiene que ver con la suma de velocidades como cantidades vectoriales. Para 31.31 % de los alumnos, las velocidades se suman aritméticamente (respuesta 9C). La segunda pregunta y la tercera tienen que ver con la aplicación de la tercera ley de Newton. Una mayoría de respuestas incorrectas se concentraron en las respuestas 15C y 17A (45.69 % y 61.66 %, respectivamente). La cuarta, está relacionada a un error frecuente (respuesta 30E) de asociar la dirección de una fuerza con la dirección del movimiento (59.11 %).

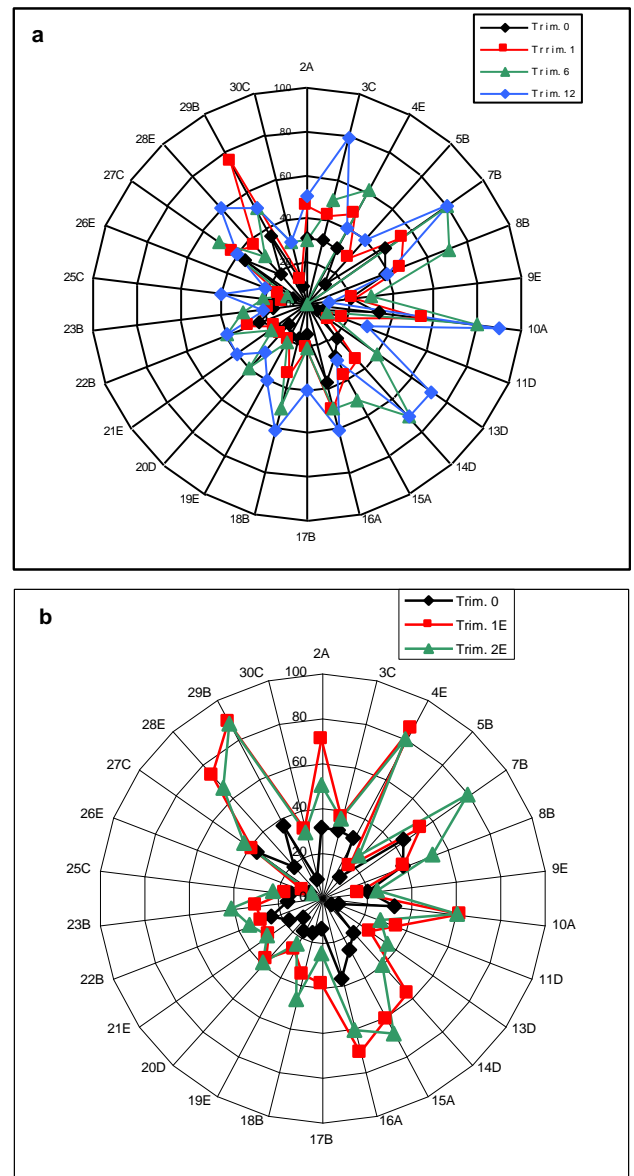


FIGURA 5. Porcentaje de respuestas correctas a las cuales menos de 50 % de alumnos contestaron bien a la primera prueba: a) en los grupos C y en los trimestres seis y doce de la licenciatura; b) en los grupos E.

En los otros trimestres, estas mismas preguntas tuvieron tasas de respuesta muy variables. Se nota en particular que la respuesta 9C sigue con alta tasa, independientemente del método de enseñanza (grupos E: 38.52 %, grupos C: 41.25 %) y que llega a 60 % para los alumnos del trimestre doce. Una posible razón a este resultado en el tronco puede ser el desfase entre los cursos de matemáticas en los cuales no se estudia todavía el cálculo vectorial y los cursos de física que lo necesitan desde el principio. A final de la licenciatura en física, encontrar un resultado así es preocupante y tal vez señala que después del tronco los alumnos ya no utilizan más el cálculo vectorial.

Varias otras preguntas tuvieron respuestas erróneas con una tasa superior a los 30 %. En la Figura 6, estos resultados están presentados. El trimestre llamado cero corresponde a los resultados de todos los grupos E y C de la primera prueba, ya que no hay diferencia entre ellos. Los trimestres dos y tres corresponden a los resultados de los grupos E en la segunda prueba del primer trimestre y en la prueba realizada en el segundo trimestre, respectivamente. Los trimestres seis y doce son los resultados de alumnos de la licenciatura en física.

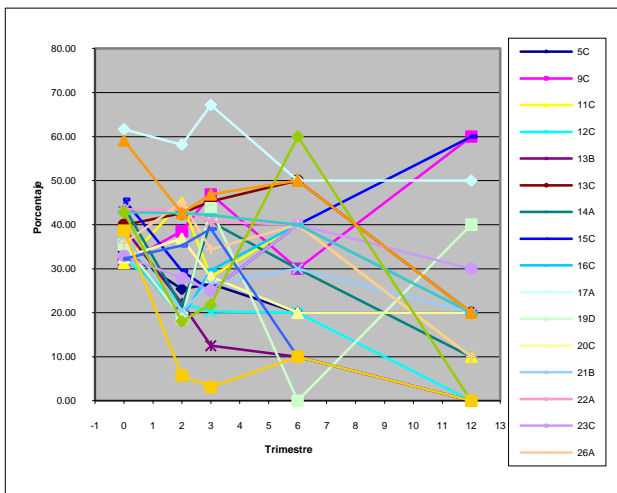


FIGURA 6. Porcentajes de los errores más frecuentes en los diferentes trimestres. Los resultados en los trimestres dos y tres son solamente de alumnos de los grupos E.

Lo que podemos resaltar de esta figura es que el porcentaje de errores, aún siendo alto en estas preguntas, es casi idéntico al final de la licenciatura que después de uno o dos trimestres en los grupos E. Desafortunadamente, el aprendizaje conceptual en los trimestres posteriores al TG queda muy limitado en varias materias.

IV. CONCLUSIONES

Hemos observado, a partir de los resultados al FCI en los grupos E, que un proceso de enseñanza más interactivo permite obtener mejores resultados al FCI. No obstante, este progreso no es suficiente para que el aprendizaje sea

considerado como eficiente y durable. Varios conceptos no son suficientemente bien adquiridos. Frecuentemente, los alumnos no saben aplicar lo aparentemente aprendido a nuevas situaciones y en su mayoría se encuentran en niveles de razonamiento del tipo operacional, cuando sería indispensable que alcanzaran niveles del tipo formal a lo largo de su educación universitaria básica. Una razón para esto, en nuestra institución, además de lo mencionado anteriormente, puede ser la falta de laboratorio o del uso de simulaciones (tipo applets) para asentar la comprensión conceptual y que el aprendizaje sea más eficiente.

Lo que concretamente proponemos es: Organizar el trabajo en equipos de 3-5 alumnos, en los que cada uno pueda presentar y defender sus argumentos, en un diálogo respetuoso y atento; pedirles que analicen errores que aparecen publicados en la literatura científica; recurrir, en el caso de los conceptos los más difíciles de adquirir, a la historia de las ciencias para que los alumnos vean la evolución del pensamiento que ha conducido al conocimiento actual; que el profesor acompañe y promueva la discusión y proponga temas, actividades y ejercicios específicos para cada equipo y que los resultados se compartan en el grupo para generar el intercambio de opiniones y sugerencias de todos; promover el desarrollo de las capacidades de observación, descripción, identificación y elaboración de hipótesis, análisis y obtención de conclusiones, confrontando con la información obtenida a lo largo del curso, en clase o por el trabajo de investigación realizado en cada equipo; identificar y estudiar en forma sistemática los preconcepciones de los alumnos; promover el cambio conceptual en los alumnos, proponiendo tareas y problemas que se discutan de manera que el propio alumno identifique sus contradicciones y descubra las respuestas correctas con la colaboración de sus compañeros; buscar formas de evaluación que eviten que el alumno memorice fórmulas sin comprender los conceptos asociados; usar modelos y simulaciones para que los alumnos vean y analicen el modelo y se familiaricen con los conceptos y variables relevantes de cada problema; aprovechar la tecnología actual para agilizar, motivar y mejorar el trabajo en el aula y así lograr que los estudiantes aprendan a aprender. Existen varias maneras de experimentar cambios en el manejo de la clase que proporcionan resultados positivos, como los mencionados anteriormente. Nosotros hemos favorecido el trabajo a partir de tutoriales [23] pero se puede trabajar con problemas abiertos y con experiencias concretas que constituyan sencillos pero verdaderos proyectos de investigación para los alumnos; o trabajar con modelos [18, 24, 25]. Parece que cualquier actividad que sale del curso tradicional (clase magistral) lleva a mejores resultados para el aprendizaje de los alumnos.

La deficiencia de razonamiento formal observada parece ser parcialmente compensada cuando el proceso de enseñanza es más interactivo. Efectivamente, aunque no hemos podido realizar un estudio de correlación, los alumnos de los grupos E alcanzan un mejor resultado al FCI que los alumnos de los grupos C. No obstante, el resultado alcanzado es insuficiente aún si siguen progresando después de dos trimestres en grupos experimentales. Los alumnos

necesitan tiempo de asimilación: el contenido de los cursos se tiene que adaptar al sistema trimestral que tenemos en la UAM para que se tome en cuenta este problema. Efectivamente, nuestros alumnos carecen de técnicas de estudio y de algunas deficiencias como lo hemos observado. El problema no es que no quieran estudiar o estén pasivos, el problema es más bien que con sus deficiencias no pueden. El trabajo colaborativo permite enfrentar estos problemas y alcanzar resultados limitados pero estimulantes.

Mucho se comenta sobre el uso de las nuevas tecnologías. Es cierto que los alumnos tienen facilidades para el manejo de computadoras pero no se trata solamente reemplazar en clase la pareja tiza-pizarra por la de computadora-cañón. Recientemente, R. Hake mencionó que de cualquier manera, el uso de técnicas basadas en computadoras no era en sí la panacea, si no promovía el “compromiso interactivo” [26], que definitivamente parece ser uno de los focos del aprendizaje. En un testimonio recientemente publicado en donde explica las razones que le hicieron cambiar sus métodos de enseñanza, Eric Mazur [27] menciona que una vez escuchó un comentario que decía que “la clase magistral era un proceso en el cual las notas de curso del profesor se transferían a los cuadernos de los alumnos sin pasar por el cerebro de ninguno de los dos”.

Quizás debemos enfocar nuestros esfuerzos en el planteamiento de estrategias para influir en el aprendizaje de los estudiantes un “conocimiento generador”, como lo define David Perkins [28], en el que se plantea como objetivos de la enseñanza: la retención, la comprensión y el uso activo del conocimiento; más que aprender las formulas de memoria.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Dra. Verónica Medina y al Dr. José Antonio de los Reyes, respectivamente directora y secretario académico de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAM-I por haber permitido realizar este trabajo y probar nuevas formas de docencia. Se agradece también a los colegas Dra. Alma Arrieta, Dra. Ruth Diamant, Dra. Cecilia Díaz, Dra. Virginia Fuentes, Dr. Juan Hernández, Dr. Javier Jiménez, Dr. Fausto Ramos, Dr. José Luis del Río por haber ayudado a la realización de las encuestas en sus respectivos grupos. Se agradece también de manera particular a todos los alumnos que participaron en estas encuestas.

REFERENCIAS

[1] Halloun, I. and Hestenes, D., *The initial knowledge state of college physics students*, Am. J. Phys. **53**, 1043 (1985).
[2] McDermott, L. C., *Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned – Closing the gap*, Am. J. Phys. **59**, 301 (1991).
[3] Hake, R. R., *Interactive-engagement vs. traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses*, Am. J. Phys. **66**, 64 (1998).

[4] Cordero, S., Colinvaux, D. y Dumrauf, A. G., *¿Y si trabajan en grupo...? Interacciones entre alumnos, procesos sociales y cognitivos en clases universitarias de física*, Enseñanza de las Ciencias **20**, 427 (2002).
[5] Picquart, M., *¿Qué podemos hacer para lograr un aprendizaje significativo de la física?*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **2**, 29 (2008).
[6] Viennot, L., *Raisonnement en Physique. La part du sens commun*, (De Boeck, Bruselas, 1996).
[7] Palmer, D. H., *Measuring contextual error in the diagnosis of alternative conceptions in science*, Issues Educ. Res. **8**, 65 (1998).
[8] Hestenes, D., Wells, M. and Swakhamer, G., *Force Concept Inventory*, Phys. Teacher **30**, 141 (1992).
[9] Hestenes, D. and Halloun, I., *Interpreting the force concept inventory*, Phys. Teacher **33**, 502 (1995).
[10] Huffman, D. and Heller, P., *What does the Force Concept Inventory actually measure?*, Phys. Teacher **33**, 138 (1995).
[11] Crouch, H. and Mazur, E., *Peer instruction: ten years of experience and results*, Am. J. Phys. **69**, 970 (2001).
[12] Henderson, C., *Common concern about the Force Concept Inventory*, Phys. Teacher **40**, 542 (2002).
[13] Covián Regales, E. y Celemín Matachana, M., *Diez años de evaluación de la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de Newton en las escuelas de ingeniería españolas. Rendimiento académico y presencia de preconceptos*, Enseñanza de las Ciencias **26**, 23 (2008).
[14] Piaget, J. y Inhelder, B., *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*, (Buenos Aires, Paidós, 1972).
[15] Renner, J. W. and Lawson, A. E., *Piagetian theory and instruction in physics*, Phys. Teacher **11**, 165 (1973).
[16] Renner, J. W. and Lawson, A. E., *Promoting intellectual development through science teaching*, Phys. Teacher **11**, 273 (1973).
[17] Coletta, V. P. and Phillips, J. A., *Interpreting FCI scores: Normalized gain, preinstruction scores, and scientific reasoning ability*, Am. J. Phys. **73**, 1172 (2005).
[18] Alarcón Opazo H. R. y de la Garza Becerra J. E., *Influencia del razonamiento científico en el aprendizaje de conceptos de física universitaria: comparación entre instrucción tradicional e instrucción por modelación*, X Congreso Nacional de Investigación Educativa, Vera Cruz, México (2009).
[19] Lawson A. E., <<http://www.public.asu.edu/~anton1/LawsonAssessments.htm>>, Consultado el 15 de noviembre del 2009.
[20] Halloun, I., Hake, R., Mosca, E. and Hestenes, D., *Force Concept Inventory (revised 1995)*. <<http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>>, Consultado el 15 de noviembre del 2009.
[21] Macia-Barber, E., Hernández, M. V. y Menéndez J., *Cuestionario sobre el concepto de fuerza*, (1995) <<http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>>, Consultado el 15 de noviembre del 2009.
[22] SEP-SEMS, <http://www.sems.gob.mx>, Consultado el 15 de noviembre del 2009.
[23] McDermott, L., Shaffer, P. *Tutoriales para física introductoria*, (Pearson, Buenos Aires, 2001).

- [24] Hestenes, D. *Toward a modeling theory of physics instruction*, Am. J. Phys. **55**, 440 (1987).
- [25] Wells, M., Hestenes, D. and Swackhamer, G. *A modeling method for high school physics instruction*, Am. J. Phys. **63**, 606 (1993).
- [26] Hake, R. R., *Six lessons from the physics education reform effort*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **1**, 24 (2007).
- [27] Mazur, E., *Farewell, Lecture?* Science **323**, 50 (2009).
- [25] Perkins, D., *La Escuela Inteligente, Del adiestramiento de la memoria a la educación de la mente*, (Gedisa editorial. Debate Socio Educativo, México, 1992).