

Tutoriales para Física Introductoria: Una experiencia exitosa de Aprendizaje Activo de la Física



Julio Benegas

Departamento de Física/IMASL, Fac. Cs. Fís. Mat. y Naturales, Univ. Nacional de San Luis/CONICET, Argentina

E-mail: jbenegas@unsl.edu.ar

(Recibido el 30 de Julio de 2007; aceptado el 17 de Septiembre de 2007)

Resumen

Se relatan dos experiencias locales de aplicación y desarrollo de metodologías de enseñanza activa en cursos de física del 11° año de instrucción. La metodología de aprendizaje activo utilizada en ambos casos es Tutoriales para Física Introductoria, desarrollado por Lillian McDermott y su Physics Education Group en la Universidad de Washington en Seattle, USA. Esta metodología, una de las muy pocas que hasta el momento han sido traducidas al español [1]. Está basada en un extenso trabajo desarrollado en las últimas dos décadas sobre las dificultades características de aprendizaje de los diversos temas de la física general y el consecuente desarrollo de actividades (Tutoriales). La evaluación de la instrucción se ha realizado mediante la aplicación de diagnósticos de respuestas múltiples al inicio (pre-test) y al final de la instrucción (post-test). Este procedimiento permite valorar el efecto del uso de Tutoriales, y su comparación con el resultado de otras estrategias didácticas, tanto locales como aquellas realizadas en otros sistemas educativos. Se muestran aquí los excelentes resultados de la aplicación de Tutoriales, aún comparando con poblaciones de formación superior y/o de sistemas educativos más desarrollados. Se destaca que el mejor aprendizaje se logra en general en toda la clase, independientemente del sexo y nivel de rendimiento.

Palabras clave: Errores conceptuales sobre fuerza, Física Educativa, enseñanza de la mecánica, métodos y estrategias de aprendizaje.

Abstract

In this work are reported two experiences of the application of Tutorials in Introductory Physics, developed in the University of Washington at Seattle by Prof. Lillian McDermott and the Physics Education Group. This methodology, the first translated to Spanish [1] it is based on the results of more than 20 years of Physics Education Research (PER) on the main learning difficulties of different subjects of basic physics and the corresponding curriculum development. The evaluation has been realized by comparison of the performance of groups subjected to different teaching approaches. The measuring instruments have been in all cases single response, multiple choice test also developed upon the results of PER. Excellent results are obtained in both applications, even when performance is compared with student populations of more demanding and advanced educational systems. It is noted that higher learning's are obtained in the whole class, independently of student performance and sex.

Key words: Misconceptions in force, Physics Education, teaching of mechanics, methods and strategies of learning.

PACS: 01.30.Os, 01.40.-d, 45.20.d-, 01.40gb

I. INTRODUCCIÓN

La realidad socioeducativa en muchos sistemas educativos, incluyendo el español y los de diversos países latinoamericanos, indica que existe un muy bajo nivel de logro de los estudiantes de ciencias que ingresan en la universidad, tanto en Matemáticas como en otras disciplinas científicas como la Física. Por ejemplo en un estudio realizado durante el curso 1996-97 en las universidades de Alcalá y de Burgos [2], se encontró que en la asignatura de Física de los Procesos Biológicos del primer curso de la licenciatura en CC. Biológicas de la

Universidad de Alcalá, se presentaban al examen final ordinario un 66% de los matriculados, aprobando un 51% de los presentados, es decir, una tercera parte de los matriculados. Después de las dos convocatorias de ese año seguía quedando pendiente un 55% de los alumnos matriculados. En la asignatura de Física General de la licenciatura en CC. Químicas de la Universidad de Burgos, se presentaron al examen final ordinario el 48% de los matriculados, aprobando un 39% de los presentados, es decir, un 19% de los matriculados. En este caso, después de las dos convocatorias de ese curso quedaba pendiente un 70% de los alumnos matriculados. Incluso para los

alumnos de Física Médica de la licenciatura en Medicina de la Universidad de Alcalá que, de acuerdo con la calificación de acceso a la universidad, tienen de los más altos rendimientos académicos, el porcentaje de alumnos pendientes de aprobar la asignatura después de las dos convocatorias del curso 1996/1997, era del 36% sobre los alumnos matriculados. En los países latinoamericanos, tanto los escasos estudios sistemáticos [3] como la experiencia cotidiana alertan que la situación es similar, manteniéndose, cuando no empeorando el rendimiento de los alumnos ingresantes a la universidad, como tan a menudo lo reflejan los medios informativos [4].

Esta realidad es, para muchos de nosotros, paradójica, puesto que la comprensión de los problemas de enseñanza/aprendizaje de la Física en el nivel universitario ha experimentado en los últimos 25 años un desarrollo muy importante. En este período se han logrado enormes avances en la comprensión de las dificultades de aprendizaje de los temas principales de la llamada “Física Básica” y en el desarrollo de currículo adecuado para superar dichas dificultades [5,6,7,8,9,10]. Los resultados de los estudios sobre concepciones alternativas [11,12] han sido tomados como base para el desarrollo de metodologías de enseñanza activa en la universidad y para la confección de diagnósticos especializados (una muy buena descripción se puede encontrar en Redish [13]). Esta aproximación didáctica, denominada en general como enseñanza para el aprendizaje activo (active learning), ha demostrado en numerosas investigaciones y aplicaciones experimentales ser más efectiva que la instrucción tradicional [9,10,14].

A pesar de estos resultados, la experiencia cotidiana en los distintas instituciones y sistemas educativos nos dice que la práctica real de nuestras aulas en la escuela secundaria y en el nivel universitario básico ha cambiado poco o nada [15]. En España, por ejemplo, el informe del Plan Nacional de Evaluación de las Universidades indica que la clase magistral sigue siendo la predominante, aun cuando esta metodología ha sido probada como muy ineficiente para producir aprendizajes significativos. Es claro que en los países latinoamericanos la situación es similar.

Los excelentes resultados de la investigación en aprendizaje de la física, con el consecuente desarrollo de muy exitosas estrategias de enseñanza, son fruto de diversas circunstancias que rodean la educación de las ciencias en la actualidad y que nacen del paradigma de “física para todos” (una parte de “ciencia para todos”) que reclama una sociedad basada en el desarrollo tecnológico. En primer lugar debió considerarse que las clases de física debían dejar de ser para unos pocos “elegidos” (es decir aquella pequeña fracción de la población con intereses y aptitudes especiales para la física) para convertirse en clases multitudinarias, donde la enorme mayoría de estudiantes no tienen a física como eje de sus carreras. Después de experiencias con una importante motivación y asignación de recursos humanos y materiales, que no fueron exitosas en las décadas del 60 y del 70, finalmente alrededor de 1980 se comenzó con una aproximación diferente, poniendo esta vez al estudiante y a su proceso de

aprendizaje en el centro del proceso de enseñanza. Se comprendió que el estudiante debía construir su propio proceso de aprendizaje, partiendo de un estado inicial de conocimientos proveniente de sus experiencias de vida, el cual debe ser modificado por la instrucción para llegar al estado final deseado de comprensión de la disciplina. Comenzaron en ese tiempo los estudios de dificultades características de aprendizaje, sobre todo lo que se entiende como concepciones alternativas, o concepciones de sentido común [9]. Por estas entendemos aquellas explicaciones que se tienen sobre cómo funcionan las cosas en el mundo físico (o real), pero que se contraponen a las explicaciones actualmente aceptadas como correctas por los expertos de la disciplina. Algunos estudios muestran que estas concepciones alternativas constituyen una red de creencias, verdaderas teorías alternativas, que se contraponen a las estructuras científicas aceptadas, y que por lo tanto se constituyen en importantes barreras u obstáculos para el aprendizaje. McDermott [15] y DiSessa [16], entre otros, encuentran que estas estructuras de conocimiento alternativas se conforman con débiles patrones de asociación, formando estructuras difusas, a veces inclusive contradictorias entre sí y dependientes del contexto de aplicación.

Para poder atacar este problema desde una base científica, a partir del año 1980 se han llevado a cabo estudios de concepciones alternativas y de dificultades características en la mayoría de los temas importantes de la física [9]. Los resultados de estos estudios han sido tomados como base para el desarrollo de metodologías de enseñanza activa y para la confección de diagnósticos especializados [12].

En este punto resulta importante precisar que se entiende por enseñanza tradicional y por enseñanza activa. La enseñanza tradicional de la física (y de otras ciencias) supone esencialmente que el alumno por repetición aprenderá cada uno de los conceptos de la disciplina y formará con ellos la estructura conceptual de la ciencia. La instrucción es generalmente deductiva, con el docente irradiando conocimientos, mientras que el alumno debe recibirlos y asimilarlos, en una actitud esencialmente pasiva.

En su reconocido libro sobre enseñanza de la física, Arons [17] escribió: “...debo puntualizar ahora la siguiente verdad no deseada: tanto como rechazamos las implicancias, la investigación (en aprendizaje de la física) está mostrando que la simple exposición de ideas abstractas y desarrollos matemáticos (tan atractivos y lúcidos como podemos hacerlos) a oyentes pasivos conduce a resultados patéticamente bajos de aprendizaje y comprensión, excepto en aquel pequeño porcentaje de estudiantes especialmente dotados para la disciplina...”.

Este comentario ha sido comprobado en varias ocasiones por investigadores de la educación de la física. Al respecto McDermott [8] expone seis generalizaciones en enseñanza-aprendizaje que sintetizan los resultados de estas investigaciones:

- La facilidad para resolver problemas cuantitativos estándares no es un criterio adecuado para evaluar el entendimiento práctico.

- Frecuentemente las conexiones entre conceptos, representaciones formales y el mundo real son inexistentes después de instrucción tradicional.
- Ciertas concepciones erróneas no son superadas con una instrucción tradicional. El acceder a niveles más avanzados de instrucción no necesariamente incrementa en nivel de entendimiento de los conceptos básicos.
- La instrucción tradicional no promueve una estructura conceptual coherente.
- El incremento en la capacidad de análisis y razonamiento no es el resultado de una instrucción tradicional.
- Para la mayoría de los estudiantes la enseñanza basada en la exposición de contenidos es un modo ineficiente de instrucción. Para superar estos problemas los métodos de enseñanza activa ponen énfasis en el rol que el alumno debe tener en el proceso de construcción de su propio conocimiento. En esta aproximación didáctica el docente se transforma en un guía que ofrece al alumno material científicamente desarrollado para que resuelva sus dificultades de aprendizaje. Esto se hace teniendo en cuenta su situación inicial de conocimientos y diseñando, a partir de allí, un camino por el cual resuelva las inconsistencias y contradicciones entre sus creencias previas y el marco conceptual aceptado por los expertos de la disciplina.

En consonancia con las seis generalizaciones expuestas más arriba respecto del aprendizaje, McDermott [8] resume las siguientes generalizaciones (basadas también en la investigación en educación de la física) que debieran guiar el proceso de enseñanza:

- Para evaluar el aprendizaje son esenciales preguntas que requieran de un razonamiento cualitativo y de explicaciones verbales. Este tipo de preguntas constituyen a su vez una estrategia efectiva para el aprendizaje.
- Los estudiantes necesitan una práctica sostenida para interpretar el formalismo físico y relacionarlo con el mundo real.
- Dificultades conceptuales persistentes deben ser explícitamente atacadas en múltiples contextos.
- Los estudiantes deben participar en el proceso de construcción de modelos cualitativos y en la aplicación de estos modelos para predecir y explicar los fenómenos del mundo real.
- El razonamiento científico debe ser expresamente cultivado.
- Los estudiantes deben estar intelectualmente activos en el proceso de aprendizaje para desarrollar una comprensión funcional.

Estas conclusiones y principios de acción se enmarcan en una visión de la investigación de aprendizaje y enseñanza de la física que McDermott [8] define como ciencia empírica aplicada. Redish [13], en su disertación de aceptación del Premio Millikan, otorgado por la *Asociación Americana de Profesores de Física* (AAPT) por “sus notables y creativas contribuciones a la enseñanza de la física”, propone que para seguir avanzando las investigaciones deben tener una base teórica que enmarque

el trabajo de los distintos grupos y permita, por acumulación, la existencia de una reconocida base de conocimiento científico colectivo que caracterice a la enseñanza de la física como una ciencia y no como un arte. En su propuesta estos principios son:

1. El principio constructivista. Los individuos construyen su conocimiento procesando la información que ellos reciben construyendo patrones de asociación con sus conocimientos previos.
2. El principio contextual. Esta construcción individual depende del contexto, incluyendo los estados mentales del individuo.
3. El principio de cambio. Producir un cambio significativo en un patrón bien establecido es muy difícil, pero puede ser facilitado por una variedad de mecanismos o metodologías conocidas.
4. El principio de la función de distribución. Los individuos muestran una limitada, pero significativa variación en sus estilos de aprendizajes a los largo de un número de dimensiones.
5. El principio de aprendizaje social. Para la mayoría de los individuos el aprendizaje es más efectivo a través de las interacciones sociales. El último principio está basado en que la interacción entre pares actúa como herramienta de enorme valor pedagógico. Al discutir con su compañero más cercano y/o en pequeños grupos, los estudiantes se ven forzados a emitir sus razonamientos, los cuales son analizados críticamente por sus compañeros, y si la explicación no es clara y aceptada, generalmente es reelaborada socialmente hasta lograr el consenso necesario. Controlado por el profesor este mecanismo se ha probado de una enorme riqueza.

Estos cinco principios, basados en el constructivismo y en los trabajos de Vigotsky sobre la influencia del medio en el aprendizaje, son particularmente difíciles de aceptar por la comunidad de físicos profesionales, que fueron educados de una manera tradicional y que conforman esa ínfima minoría de la población que está especialmente dotada para el estudio de la disciplina. Para este selecto grupo se ha demostrado, además, que es más conveniente (y disfrutan de) el aprendizaje individual que el colectivo.

Las experiencias y el marco teórico descrito más arriba deberían ser básicos a la hora de programar la enseñanza de un curso de física. No solamente guían en la selección de temas y actividades, sino también que fijan el marco y las condiciones en que dos o más metodologías específicas pueden ser utilizadas complementaria y cooperativamente en un dado curso. Bajo estas premisas de la aprendizaje activo se están llevando adelante modificaciones curriculares y metodológicas tanto a nivel universitario como de escuela secundaria (Preparatoria). Describiremos aquí dos experiencias de aplicación de la metodología *Tutoriales para Física Introductoria* [1] en la escuela secundaria. El denominador común de estas experiencias es que se realizan en un ambiente didáctico muy controlado, en lo que pretendemos sea un círculo virtuoso de programación didáctica, instrumentación y evaluación.

II. TUTORIALES PARA FÍSICA INTRODUCTORIA: UNA ESTRATEGIA DIDÁCTICA FLEXIBLE PARA EL APRENDIZAJE ACTIVO

La metodología de Tutoriales para Física Introductoria ha sido desarrollada por el Grupo de Educación de la Física que dirige Lillian McDermott para los cursos introductorios de física que se dictan en la Universidad de Washington en Seattle (USA). Está basada en un extenso trabajo desarrollado en las últimas dos décadas sobre las dificultades características de aprendizaje de los diversos temas de la física general y el consecuente desarrollo de actividades (Tutoriales) para ayudar a los alumnos a vencer los distintos obstáculos de aprendizaje. Han sido el fruto de un enorme trabajo de investigación sobre las dificultades características de aprendizaje de cada uno de los temas, y del desarrollo científico de material curricular para la superación de estas dificultades [15].

Tutoriales están diseñados para desarrollar la comprensión conceptual de los temas de física básica, así como el razonamiento cualitativo y utilizan como estrategia de aprendizaje el conflicto cognitivo, tendiendo puentes entre lo que el alumno cree o sabe y el conocimiento científico que se quiere incorporar. La estrategia ha sido descrita por McDermott como de obtener información/confrontarla con lo que se cree/resolver discrepancias (elicit/confront/resolve).

Es una de las metodologías de aprendizaje activo más flexible, en el sentido que puede ser utilizada tanto para la introducción de conceptos, en reemplazo o reforzando la clase "teórica", o en algunos casos como práctico de laboratorio, así como una actividad de aprendizaje independiente y complementaria. Esto, sumado a casi ausencia de sofisticado material de laboratorio, lo hace adaptable a prácticamente cualquier circunstancia de instrucción.

La metodología didáctica consta de unas hojas de trabajo (el Tutorial propiamente dicho), de problemas para la casa (Ejercicios Complementarios) y de un Pre-test. El Tutorial consiste en una guía de actividades que los estudiantes, trabajando en grupos de 3 o 4 alumnos, desarrollan para construir los conceptos, partiendo de nociones que no entran en conflicto con sus concepciones previas. Las conclusiones a que son guiados sí pueden ser conflictivas para dichas preconcepciones, pero de este conflicto, discutido con sus pares en el grupo, y eventualmente con el docente, surge el conocimiento científico del tema tratado.

A. Secuencia didáctica de tutoriales

La aplicación de Tutoriales requiere de la realización de las siguientes actividades:

- la aplicación de un "pre- test de Tutorial", que los alumnos responden en una clase previa en alrededor de 10 a 15 minutos. Consiste normalmente de 2 o 3 preguntas cualitativas sobre el concepto(s) del Tutorial y tienen un doble objetivo: alertar a los estudiantes sobre los temas a estudiar, y proveer a los docentes de

información sobre los principales problemas de aprendizaje que los alumnos tienen sobre ese tema.

- Reunión de los docentes para analizar los resultados de los pre-tests y REALIZAR el propio Tutorial, en la misma forma que lo harán luego los alumnos. Los docentes, además de familiarizarse con el material, pueden identificar las preguntas con que guiarán, de manera socrática, la actividad de los alumnos. Este paso es esencial para el éxito de la estrategia didáctica.
- Los estudiantes realizan el Tutorial en clase, trabajando en pequeños grupos cooperativos. Toma entre 50 minutos (Seattle y otras universidades) hasta 2 horas (San Luis, universidad y escuela secundaria).
- Ejercicios complementarios, para realizar luego de la clase en forma individual, para afianzar los conceptos trabajados en el Tutorial. Es conveniente que tengan algún tipo de evaluación, y que sus resultados sean puestos a disposición de los alumnos para garantizar rol en el aprendizaje.
- En la evaluación del curso debería incluirse al menos un problema del tipo de Tutorial.

B. Ejemplos de aplicación de tutoriales en la escuela secundaria

B.1 La enseñanza de la mecánica clásica

Como ejemplos de aplicación nos referiremos a dos experiencias realizadas en distintas escuelas secundarias de San Luis, Argentina, en el 11° año de instrucción (alumnos de 16/17 años). La primera es de implementación en el curso de mecánica clásica. En este caso el concepto fundamental a comprender es el de fuerza, y las leyes que relacionan las fuerzas sobre un objeto y el movimiento resultante, incluyendo los conceptos de energía mecánica y de cantidad de movimiento, temas en los cuales existe una amplia literatura sobre las concepciones previas y dificultades de aprendizaje con que los estudiantes arriban al aula. Para una racional y efectiva planificación didáctica es siempre necesario que el docente conozca estas preconcepciones, su distribución y la importancia relativa de las mismas en la población estudiantil. En este caso es muy conveniente la utilización de diagnósticos surgidos de la investigación en enseñanza de la física, como el *Force Concept Inventory* (FCI), propuesto por Hestenes y colaboradores [12]. El FCI es un diagnóstico de 30 preguntas que propone como distractores un total de 28 preconceptos no newtonianos distribuidos entre seis dimensiones propuestas para el concepto fuerza. El análisis de las opciones incorrectas de cada una de las 30 preguntas brinda entonces una detallada distribución de los preconceptos en la población estudiantil, de su importancia absoluta y también de su importancia relativa.

El diagnóstico fue administrado al comienzo del año escolar (pre-test) de manera que sus resultados pudieran ser utilizados por el docente para programar las diversas actividades estudiantiles. Los resultados pueden resumirse diciendo que en la población analizada las principales dificultades a ser atacadas por la instrucción se refieren a:

La noción de fuerza como un ímpetu asociado al movimiento. Esta idea alternativa al concepto newtoniano de fuerza está fuertemente arraigado en los alumnos, adoptando distintas formas de acuerdo a la situación física presentada.

La idea de que objetos más pesados o más activos ejercen fuerzas dominantes cuando interaccionan con otros, que seguramente impondrá enorme resistencia a la asimilación del principio de acción y reacción.

Las diversas formas de concatenación de influencias, que interfieren con el correcto uso del principio de superposición de fuerzas enunciado en la 2da. Ley de Newton.

Las persistentes dificultades (a pesar de la instrucción del año anterior) para distinguir entre las variables cinemáticas, particularmente velocidad y aceleración, fundamentales para lograr un correcto esquema newtoniano de pensamiento.

Para afrontar estos problemas, el docente programó actividades basadas en metodologías de enseñanza surgidas en la última década de la investigación en enseñanza de la física. Estas actividades tuvieron como objetivo que los estudiantes confrontaran sus concepciones alternativas con el resultado de diversas experiencias, discutieran las mismas con sus compañeros (eventualmente con el docente) y resolvieran las inconsistencias. Se trató de seguir las generalizaciones enunciadas por McDermott [8], en el marco de los principios constructivistas y de aprendizaje grupal de Redish [13] citados al principio.

En la programación didáctica de este curso, además de los "Tutoriales para Física Introductoria", se utilizaron los Problemas Ricos en Contexto, desarrollados en la Universidad de Minnesota por Heller y Heller [13]. Se tuvo en cuenta en esta elección que la variabilidad de las respuestas frente al contexto requiere que la instrucción cuente con actividades en las que los alumnos puedan ver y vivenciar situaciones reales donde intervengan los conceptos objetos del aprendizaje. Los alumnos trabajaron en pequeños grupos cooperativos, tanto en el laboratorio como en resolución de problemas.

Los resultados obtenidos en el primer año de implementación se muestran en la Figura 2 donde se compara, para las 30 preguntas del FCI, el rendimiento post instrucción de los alumnos de secundaria con los de un curso de física para alumnos de ingeniería, en que se cubrió casi el mismo temario de mecánica clásica. Se observa que en casi todas las preguntas los alumnos de la escuela tuvieron mejor desempeño que los de 1er. año de la universidad, sobre todo si tenemos en cuenta que en la población de la escuela el post test consignado en la Figura 1 lo tomaron todos los alumnos, mientras que en el curso universitario lo tomaron solo los alumnos que tuvieron éxito en la materia (alrededor de la mitad de los que comenzaron a cursar y que tomaron el mismo diagnóstico como pretest).

Las dos últimas barras a la derecha de la figura indican los valores medios de todo el diagnóstico para cada población. El promedio de los alumnos de ingeniería fue de 39%, mientras que el desempeño promedio global de

los alumnos de 2do. Año Polimodal fue de 49%, es decir alrededor de un 25% superior a los alumnos de la universidad.

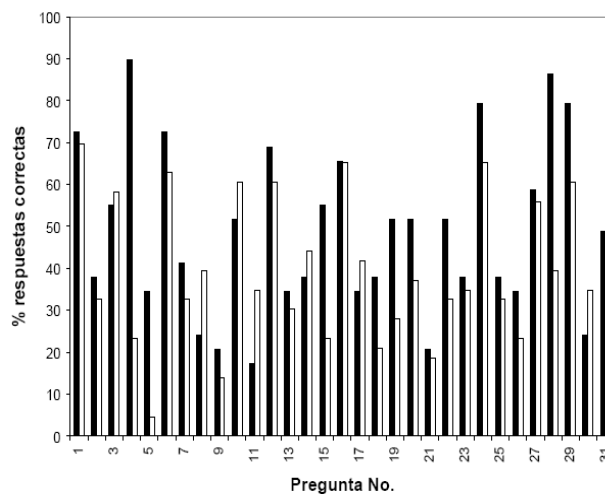


FIGURA 1. Resultados post instrucción del FCI. Las barras oscuras llenas representan el rendimiento (para cada una de las 30 preguntas) de los alumnos de 2do. Año Polimodal. Las barras claras representan el rendimiento de los alumnos universitarios de un curso de ingeniería de 1er. año de la UNSL. Las dos barras últimas a la derecha (item 31) indican el promedio para cada población del total del diagnóstico.

B.2 La enseñanza de circuitos eléctricos simples

Este trabajo consistió en una evaluación del aprendizaje logrado en el tema de circuitos eléctricos simples mediante la aplicación, también en el nivel 11° de enseñanza, de los "Tutoriales" "Corriente y resistencia" y "Diferencia de Potencial". Este rendimiento fue comparado con el logrado por la instrucción tradicional que se venía desarrollando hasta ahora. Ambas instrucciones, tanto la Experimental como la de Tradicional, han cubierto el mismo temario y en el mismo tiempo de instrucción. Los resultados después de la instrucción [19] han mostrado una importante diferencia en aprendizaje entre los alumnos que siguieron la enseñanza mediante Tutoriales, respecto a aquellos que siguieron la estrategia tradicional de instrucción. En esta experiencia nos propusimos además evaluar el conocimiento conceptual remanente un año después de la instrucción. Esto nos permitiría observar si realmente hubo un aprendizaje perdurable y no la simple memorización de algún algoritmo o procedimiento que luego se diluye en el tiempo [19]. Para ello se analizaron los resultados de la aplicación del test de respuestas múltiples DIRECT [20] en dos colegios donde se realizó la experiencia: uno es una escuela estatal mixta, mientras que el otro colegio es privado y solo de mujeres. Para comparación utilizaremos los resultados alcanzados por la instrucción tradicional, llevada a cabo en otra división del mismo colegio estatal.

El instrumento de medición utilizado, "Determining Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test" (DIRECT), ha sido desarrollado en la Universidad de North Carolina por el grupo de investigación en enseñanza de la Física liderado por el Prof. R. Beichner [20].

DIRECT es un diagnóstico de 29 preguntas de respuestas de opción múltiple. Cada pregunta tiene 5 opciones de respuesta, con distractores basados en lo que la investigación en concepciones previas de circuitos eléctricos ha mostrado que son las dificultades de aprendizaje más importantes en este tema.

En la Figura 2 se puede apreciar que en la población de control la instrucción no ha provocado una modificación de los conocimientos conceptuales en la gran mayoría de los estudiantes. Observamos que en promedio, esta población ha vuelto al estado inicial. Sólo un pequeño número de alumnos (menos del 10%) de la población de control mejoró su rendimiento de manera significativa, mientras que el resto mejoró poco su rendimiento o permaneció de manera similar a lo obtenido antes de la instrucción. Notamos que también alrededor del 10% disminuye su rendimiento de manera notable. En contraposición, en la Figura 3 se puede observar una mejora sustancial en el conocimiento conceptual de la gran mayoría de los alumnos.

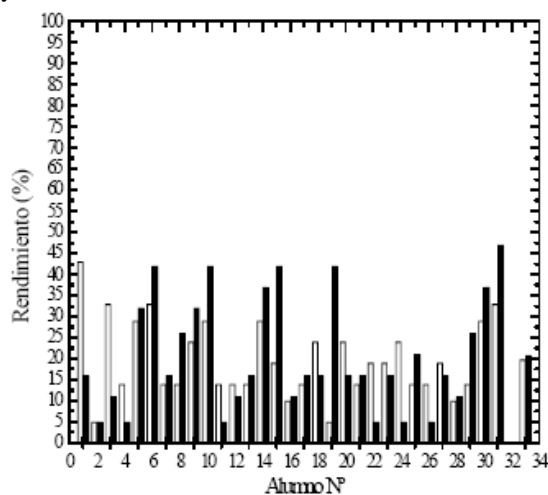


FIGURA II. Rendimiento (%) en los ítems del test DIRECT de los alumnos de la población de Control. Pre-test (barras blancas) y el Post-Test II (barras negras). Las dos últimas barras muestran el rendimiento medio pre y post instrucción de toda la clase.

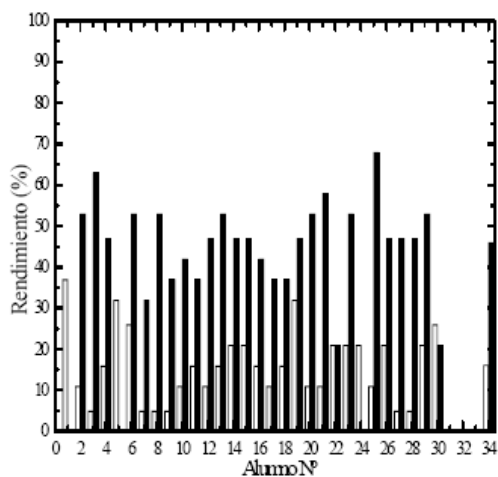


FIGURA III. Rendimiento (%) en los ítems del test DIRECT de la Población B. Pre-test (barras blancas) y el Post-test II (barras negras). Las dos últimas barras muestran el rendimiento medio pre y post instrucción de toda la clase.

Para remarcar estas diferencias en el aprendizaje conceptual de los alumnos de distinto rendimiento se ha construido la Tabla I que muestra los cuartiles según la ganancia (Post-test II–Pre-test) por alumno en cada una de estas poblaciones.

TABLA I. Cuartiles de ganancia porcentual de cada población después de la instrucción.

Ganancia %	Población A	Población B	Población C
> 30	4%	59%	73%
15 - 30	6%	33%	18%
0 - 15	58%	4%	5%
< 0	32%	4%	5%

Se observa en la población Control (A) que el mayor porcentaje de alumnos se encuentra en el cuartil medio inferior, es decir con ganancia entre 0 y 15%. Mientras que en ambas poblaciones experimentales el mayor porcentaje de alumnos se encuentra en el cuartil de ganancia superior al 30%.

III. CONCLUSIONES

De los resultados mostrados, y de aquellos que aparecen en la literatura, es claro que la utilización de “Tutoriales para Física Introductoria” genera aprendizajes significativos muy superiores a los logrados con la instrucción tradicional. De las experiencias aquí informadas deseamos destacar los siguientes aspectos:

- 1- Marco conceptual de la instrucción: adoptando un esquema teórico como el propuesto por McDermott [8] y Redish [13], el docente puede diseñar coherentemente un currículo global para su asignatura. El marco le ayudará a seleccionar contenidos, la secuencia de los mismos y las estrategias didácticas que puedan ser utilizadas en forma conjunta y cooperativa. Por ejemplo “Tutoriales para Física Introductoria” pueden, según las características del curso en cuestión, ser complementados con otras estrategias didácticas como “Instrucción por Pares” (Mazur [21]) en las clases teóricas, o “Cooperative Problem Solving” (Heller y Heller [18]), para el análisis conceptual y resolución de problemas. También se puede incluir material de “Physics by Inquire” [22].
- 2- Versatilidad y flexibilidad de “Tutoriales”, esta estrategia permite, con muy poco equipamiento (la mayoría de los Tutoriales son solo de lápiz y papel), adaptar su uso para casi cualquier programación didáctica. Sumado a la disponibilidad en español, lo convierte en una de las estrategias de aprendizaje activo más conveniente de la actualidad.
- 3- Utilización de diagnósticos surgidos de la investigación en enseñanza de la Física, la valía de estos diagnósticos, tanto para determinar el estado inicial de conocimientos de una clase, como para evaluar resultados absolutos y relativos de la instrucción ha sido demostrada en numerosas oportunidades. Su utilización como diagnósticos de pre y post instrucción permite además calcular la ganancia intrínseca o reducida, y comparar el

grado de logro de estudiantes que pueden estar en condiciones de enseñanza bastante diferentes.

4- Resultados obtenidos por instrucción, es claro que siguiendo metodologías de enseñanza que favorecen el aprendizaje activo se obtienen niveles de logro claramente superiores a los de las clases tradicionales, aún cuando estas últimas sean llevadas a cabo por experimentados profesores y con alumnos más avanzados.

REFERENCIAS

- [1] McDermott L.C., Shaffer P.S. (*Tutoriales para Física Introductoria*, Prentice Hall, Buenos Aires, 2001).
- [2] Pérez de Landazábal, M. C., Bilbao, F., Otero, J. y Caballero, C., *Formación inicial y rendimiento en Física del primer curso universitario*, Revista de Educación **329**, 331-347 (2002).
- [3] Benegas J., Villegas M., Macías A., Nappa N. Pandiella S., Seballos S., Ahumada W. Espejo R., Hidalgo M.A., Otero J., P.Landazábal M.C., Ruiz H. Slisko J., Alarcón H. y Zavala G., *Identifying Relevant Prior Knowledge and Skills in Introductory College Physics Courses*, Reunión GIREP 2006, Amsterdam, Holanda (2006).
- [4] Clarín, *Mas aplazos en el ingreso a Medicina en La Plata*, disponible en <http://www.unt.edu.ar/prensa/pag.asp?funcion=Home.Noticias.LeerNota&IdNota=7898>, consultado en Sept. 2007.
- [5] Furió, C. y Guisasola, J., *Construcción del concepto de potencial eléctrico mediante el aprendizaje por investigación*, Revista de Enseñanza de la Física **11**, 25-37 (1998).
- [6] Driver, R., *Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias*, Enseñanza de las Ciencias **6**, 109-120 (1988).
- [7] Pozo, J. I., *Más allá del cambio conceptual: el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional*, Enseñanza de las Ciencias **17**, 513-520 (1999).
- [8] McDermott, L. C., Oersted Medal Lecture 2001: *Physics education research: The key to student learning*, Am. J. Phys. **69**, 1127 (2001).
- [9] McDermott L. C. y Redish, E. F., *Resource Letter: PER-1: Physics Education Research*, Am. J. Phys. **67**, 755-767 (1999).
- [10] Guisasola, J., Zubimendi, J. L., Almuñí, J. M. y Ceberio, M., *Propuesta de Enseñanza en Cursos Introductorios de Física en la Universidad, Basada en la Investigación Didáctica: Siete Años de Experiencia y Resultados*, Enseñanza de las Ciencias **25**, 91-106 (2007).
- [11] Duit, R., *Students' and teachers' conceptions and Science Education*, Disponible en <http://www.ipn.unikiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>. Institute for Science Education. Alemania: University of Kiel, (2004).
- [12] Hestenes D., Wells M. y Swackhamer G., Force Concept Inventory, Phys. Teach. **30**, 141-58 (1992).
- [13] Redish, E., *Millikan Award Lecture Building a Science of Teaching Physics*, Am. J. Phys. **67**, 562-573 (1999).
- [14] Powell, K., *Spare me the lectura*, Nature **425**, 234-236 (2003). Disponible en www.nature.com/nature.
- [15] McDermott, L.C., *Guest comment: How we teach and how students learn: A mismatch*, Am. J. of Phys. **61**, 295-298 (1993). En español en McDermott, L. C., *Cómo enseñamos y cómo aprenden los estudiantes. ¿Un desajuste?, (Primera parte)*. Revista de Enseñanza de la Física **6**, 19-32 (1993).
- [16] diSessa A. et al. (*Toward a Scientific Practice of Science Education*, Lawrence Erlbaum Ass., Hillsdale, NJ, 1990).
- [17] Arons, A., *A Guide to Introductory Physics Teaching* (Wiley, New York, 1990).
- [18] Heller P. y Heller K. (*Cooperative Group Problem Solving in Physics*, University of Minnesota, Illinois 1999).
- [19] Sirur Flores y Benegas J., *Aprendizaje de circuitos eléctricos en el Nivel Polimodal: resultados de distintas aproximaciones didácticas*, Aceptada su publicación en Enseñanza de las Ciencias, (2006).
- [20] Engelhardt, P. V., and Beichner, R. J., *Students' understanding of direct current resistive electrical circuits*, Am. J. Phys. **72**, 98-115 (2004).
- [21] Mazur E. (*Peer's Instruction*, Prentice Hall, NJ, 1997).
- [22] McDermott L.C., Shaffer P.S. and Rosenquist, M. (*Physics by Inquire*, John Wiley and Sons, New York 1996).