

APRENDIZAJE DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS EN EL NIVEL POLIMODAL: RESULTADOS DE DISTINTAS APROXIMACIONES DIDÁCTICAS

SIRUR FLORES, JULIO^{1,2} y BENEGAS, JULIO^{2,3}

¹ Colegio Nacional J.C. Lafinur. San Luis, Argentina

² Departamento de Física. Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales. Universidad Nacional de San Luis, Argentina

³ Instituto de Matemática Aplicada San Luis (IMASL), Argentina

jflores@unsl.edu.ar

jbenegas@unsl.edu.ar

Resumen. En este trabajo se informa sobre la enseñanza mediante *Tutoriales para Física Introductoria* de circuitos eléctricos simples en 2º año Polimodal de la escuela pública argentina. La experiencia se realizó en dos escuelas distintas, una estatal mixta y otra privada de mujeres. Se asignó, aleatoriamente, como población de control a otra división de la escuela estatal, donde se continuó con la enseñanza de tipo tradicional. Se utilizó como instrumento de medición un test de respuestas múltiples (DIRECT), que contiene una taxonomía, por demás completa, de concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje sobre circuitos eléctricos. Se logró una importante mejora en el aprendizaje conceptual respecto de la enseñanza tradicional, independientemente del nivel socioeconómico, tipo de escuela y género de los alumnos. Se postula que la utilización conjunta de este tipo de estrategia educativa e instrumentos de medición provee condiciones de trabajo adecuadas para una mejora sustancial en la enseñanza de la física en casi cualquier sistema educativo.

Palabras clave. Enseñanza activa y tradicional, circuitos eléctricos, tutoriales, DIRECT.

Learning Electrical Circuits in Upper Secondary Schools: The Results of Different Educational Approaches

Summary. We report on teaching resistive electric circuits through *Tutorials for Introductory Physics* to 11th grade students at Argentina high schools. The experiment was carried out at two different schools: one public, state-run, mixed-gender institution and a confessional school only for women. The *Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Tests* (DIRECT), which contain a rather complete taxonomy of misconceptions and learning difficulties with regards to electric circuits, were used to measure conceptual learning. Our results show a very significant improvement in conceptual learning when Tutorials are used, as compared to the traditional instruction used in the control population, for students from different socio-economic backgrounds, of different gender and types of schools. We advocate that the complementary use of active learning teaching strategies, like Tutorials, and measuring instruments like DIRECT, provides the conditions for significant improvements in the teaching of physics in almost any educational system.

Keywords. Active and traditional learning, electric circuits, tutorials, DIRECT.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las investigaciones que se han realizado en las últimas dos décadas sobre las dificultades en el aprendizaje de la física, tanto en el nivel medio como en los cursos introductorios universitarios, uno de los temas más estudiados es el de circuitos eléctricos, quizás por la facilidad de disponer de material de trabajo experimental simple y de bajo costo, pero también por el interés que

despierta en los alumnos debido a su relación con la vida cotidiana y las aplicaciones tecnológicas.

Numerosas investigaciones acerca de la forma en que los estudiantes adquieren el conocimiento muestran que en el proceso de enseñanza-aprendizaje los alumnos arriban al aula con un conocimiento práctico e intuitivo sobre

leyes o fenómenos físicos y con los cuales explican cómo funcionan las cosas en el mundo real. Estas ideas previas, a veces llamadas de sentido común o preconcepciones, generalmente no coinciden con el punto de vista aceptado por la disciplina científica. En las modernas estrategias de enseñanza activa, basadas en el modelo constructivista del aprendizaje, se parte del reconocimiento de estos preconcepciones en la población estudiantil, para construir, modificándolos a través de la instrucción, los nuevos esquemas conceptuales deseados (Ausubel et al., 1976).

En los últimos veinte años, varios grupos de investigadores en la enseñanza de la física han mostrado que existe un amplio espectro de estas ideas previas y de la forma de razonar del estudiante respecto de los distintos temas de la llamada física básica.

Con esta base científica de conocimientos algunos grupos de investigación han diseñado currículos destinados a obtener un aprendizaje conceptual y significativo de la física en alumnos de nivel secundario y universitario (Redish y McDermott, 1999). Una de estas estrategias didácticas es «Tutoriales para Física Introductoria» (McDermott y Shaffer, 2001; de aquí en adelante «Tutoriales»), desarrollada por el grupo de investigación en enseñanza de la física que lidera la profesora Lillian McDermott en la University of Washington en Seattle, EEUU, para su uso en los cursos introductorios de física básica dictados para alumnos de ciencias e ingeniería de la universidad.

En este panorama resulta imprescindible aclarar que la investigación no está agotada, y que siguen apareciendo continuamente estudios básicos y aplicados cuyo objetivo es mejorar el aprendizaje logrado en el aula. Un ejemplo reciente en los sistemas educativos iberoamericanos es la exitosa propuesta didáctica de Guisasola y otros (2005) que, basada en investigaciones propias sobre aprendizaje de campo magnético, logra una mejora sustancial en el aprendizaje estudiantil.

A pesar de estos enormes avances de tipo experimental y de contar inclusive con estrategias didácticas completas publicadas en español, como Tutoriales, la situación en nuestras aulas no ha cambiado prácticamente nada y se sigue con la instrucción tradicional. En este cuadro de situación el objetivo de este trabajo es informar sobre la aplicación de Tutoriales para la enseñanza de la física en los cursos habituales de física de los últimos años de la escuela secundaria (nivel Polimodal en Argentina). La experiencia local se plantea dos objetivos centrales: el primero es experimentar en este nivel educativo y en esta población estudiantil sobre la aplicabilidad de la estrategia de Tutoriales y su incidencia en el aprendizaje conceptual de circuitos eléctricos. El segundo objetivo, ligado estrechamente al primero, es mostrar el uso de un test de respuestas múltiples diseñado científicamente para evaluar el aprendizaje conceptual sobre circuitos eléctricos simples. El test permite además estudiar las concepciones alternativas y las dificultades características de aprendizaje que sobre este tema tiene la población estudiantil al comenzar la instrucción y cómo las mismas evolucionan a través del uso de diversas estrategias

didácticas. Utilizaremos a tal fin el «Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test» (DIRECT) desarrollado en la Universidad de Carolina del Norte por el grupo de investigación en enseñanza de la física liderado por el profesor Beichner (Engelhardt y Beichner, 2004). DIRECT contiene entre sus distractores una verdadera taxonomía de concepciones alternativas y dificultades características sobre circuitos eléctricos. El análisis de las respuestas erróneas permitirá entonces determinar en la población bajo estudio la distribución de estas ideas previas y de su importancia relativa.

Pretendemos mostrar que el uso sistemático de Tutoriales en conjunción con instrumentos de evaluación del tipo de DIRECT permite construir un círculo virtuoso de planificación didáctica, instrumentación en el aula y evaluación, que posibilite una retroalimentación positiva para el mejoramiento del proceso de enseñanza-aprendizaje de la física.

En la presente experiencia analizaremos los resultados obtenidos de la aplicación de esta metodología de enseñanza en dos colegios distintos: uno es una escuela estatal mixta, mientras que el otro colegio es de gestión privada y sólo de mujeres. Para hacer la comparación utilizaremos los resultados alcanzados por la instrucción tradicional llevada a cabo en otra división del colegio estatal.

Teniendo en cuenta que Tutoriales abarca prácticamente todos los temas de la física básica, la heterogeneidad de las poblaciones experimentales y los modestos recursos humanos y materiales necesarios para aplicar esta metodología, la presente propuesta aparece como una vía práctica y efectiva para lograr un mejoramiento de la enseñanza de la física prácticamente en cualquier sistema educativo.

ENSEÑANZA ACTIVA Y ENSEÑANZA TRADICIONAL

Los docentes de ciencias tienen un desafío: proponer una aproximación al conocimiento científico que resulte ágil, útil y real para los alumnos. Esto puede lograrse mediante estrategias de enseñanza que no sólo permitan transmitir contenidos conceptuales actualizados y relevantes, sino también trabajar contenidos procedimentales y actitudinales acordes con el modo de producción del conocimiento científico.

La presente propuesta didáctica considera, en el marco general del aprendizaje activo, la actividad experimental en la clase de ciencias como una herramienta de trabajo sistemática y organizada, donde es necesario articular el uso metodológico de la clase-laboratorio para enriquecer el proceso de enseñanza-aprendizaje y la construcción del conocimiento. Cuando los alumnos arman, diseñan y participan activamente en la realización de actividades experimentales se puede hablar de aprendizaje, ya que el fortalecimiento de los contenidos procedimentales refuerza la asimilación del conocimiento. No se trata aquí del uso del laboratorio estrictamente como «espacio físi-

co» ni de realizar experiencias que deslumbren y alegren a los alumnos, sino de considerar la actividad cuasi-experimental como una metodología de trabajo sostenido, que posibilite la integración de las diferentes actividades del aula (Gil Pérez et al., 1999), con los hechos cotidianos con los cuales se vinculan y, también, con sus aplicaciones tecnológicas.

Distintos estudios indican que estos objetivos no se logran adecuadamente con la enseñanza tradicional, la cual supone esencialmente que el alumno por repetición aprenderá cada uno de los temas de la disciplina y formará con ellos la estructura conceptual de esa ciencia. En esta aproximación didáctica la instrucción es generalmente deductiva, con el docente irradiando conocimientos, mientras que el alumno debe recibirlos y asimilarlos, en una actitud esencialmente pasiva. En general la enseñanza tradicional es poco interactiva y adaptativa y no estimula la reflexión en los estudiantes, es el profesor quien expresa su concepción del mundo. Aunque este tipo de aprendizaje está centrado en el profesor, ya que es él quien tiene el control del proceso e irradia el conocimiento, el alumno es el que se ve sobrecargado cognitivamente, ya que debe hacer explícita la estructura implícita del discurso del profesor. También debería reflexionar sobre lo que él cree y lo que le dice el profesor, encontrar las diferencias, afrontarlas, y verificar que esto sea compatible con lo que el profesor dijo. Estas redescripciones hechas por el alumno no recibirán retroalimentación hasta que entregue alguna tarea o ensayo, o resuelva algún examen.

La enseñanza tradicional también se caracteriza por su énfasis en la resolución de problemas de tipo numérico. Al respecto se ha comprobado en distintas poblaciones que resolver problemas cuantitativos no es una forma fiable para lograr una comprensión conceptual de circuitos eléctricos, ya que estudiantes que pueden resolver problemas cuantitativos normales (de los que se encuentran al final de capítulo de los libros de texto) a menudo no pueden contestar preguntas cualitativas simples basadas en los mismos conceptos físicos (Mazur, 1997, p. 5). Este hecho parece confirmar la presencia de dificultades conceptuales subyacentes que al parecer no se resuelven adecuadamente mediante la enseñanza tradicional. En este sentido hay amplia evidencia (McDermott y Shaffer, 1992a) de que algunos conceptos alternativos sobre circuitos eléctricos son comunes entre la mayoría de los estudiantes, aun en aquellos que ya han tenido (y aprobado) una instrucción formal en el tema. Los Tutoriales de circuitos eléctricos han sido desarrollados sobre la base de los estudios de McDermott y Shaffer (1992a), que encuentran que las principales dificultades de aprendizaje y preconcepciones sobre circuitos son conceptuales, como la confusión entre distintos conceptos o variables físicas, inadecuada idea de circuito cerrado, creencias de que el sentido de la corriente u orden de los elementos son relevantes, que la corriente se «gasta» en cada elemento o que la batería es una fuente de corriente constante. Los estudiantes además dan importancia al número de elementos o ramas, sin importar el tipo de conexión, asociada con las dificultades para interpretar el concepto de *resistencia equivalente*, en distintos tipos de conexión (serie, pa-

ralelo o mezclas). No reconocen que la batería mantiene una diferencia de potencial constante y no distinguen entre ramas conectadas en paralelo a los terminales de la batería o conectadas en paralelo en otra parte. A esas dificultades conceptuales, se agregan las procedimentales como la confusión de que un diagrama de circuito es sólo un esquema y no una imagen de la realidad física, falla en la interpretación acerca de que los instrumentos de medidas, son elementos de un circuito y sus implicancias. Hay dificultades de razonamiento que obstaculizan la formación y el uso de modelos cualitativos, como la tendencia a pensar sólo local o secuencialmente respecto del efecto de un elemento en un circuito.

Estas dificultades y preconcepciones aparecen en diferentes niveles y sistemas educativos (Engelhardt y Beichner, 2004), inclusive entre los propios profesores de ciencias (Pardhan y Bano, 2001). Basados en numerosas investigaciones, en los últimos años algunos grupos de investigación han desarrollado materiales didácticos expresamente diseñados para atacar estas preconcepciones y dificultades de aprendizaje. Para el caso de circuitos eléctricos simples, nuestra propuesta didáctica sigue los lineamientos de McDermott y Shaffer (1992b), que dieron origen a los Tutoriales utilizados en la presente experiencia.

Partiendo del supuesto de que el alumno tiene un rol central en la construcción de su propio conocimiento y moviéndonos en el marco de la enseñanza activa, la estrategia didáctica debería proveer tantas instancias de participación estudiantil como sea posible. En particular, es necesario que la metodología de enseñanza:

- Reconozca y afronte las ideas previas que los alumnos tienen sobre el tema que se va a desarrollar.
- Aproveche la actividad experimental como recurso didáctico para promover el hábito de la observación, medición e interpretación de procesos, la extracción de conclusiones y la formación de modelos.
- Fomente el trabajo grupal y la puesta en común de las producciones.
- Asocie los fenómenos que se abordan en el aula con los hechos de la vida cotidiana.

De acuerdo con estos principios, hemos elegido la estrategia de «Tutoriales para Física Introductoria» (McDermott y Shaffer, 2001) para la instrucción de circuitos eléctricos porque:

- No proponen memorizar datos ni enumeraciones, sino que buscan el conocimiento conceptual y su aplicación en diversas situaciones.
- Favorecen la construcción de modelos físicos de los hechos o fenómenos estudiados.
- Proponen sistemáticamente el proceso de predicción, discusión grupal de posiciones y verificación experimental, básico para la construcción del conocimiento individual.

– Se analizan, comparan y razonan procesos, estableciendo correspondencias entre causa y efecto.

En Tutoriales la experimentación cumple la función de mostrar empíricamente las leyes físicas, clarificando ideas a través de la observación, comparación y discusión. Los contenidos procedimentales se aúnan con los conceptuales para construir un modelo plausible de circuitos eléctricos simples.

En el caso particular de circuitos eléctricos se utilizaron los dos Tutoriales existentes de «Modelos para Circuito»: «Corriente y Resistencia» y «Diferencia de Potencial». En estos dos Tutoriales la secuencia de actividades propone que los estudiantes realicen experimentos simples y utilicen las inferencias de sus observaciones para construir los conceptos básicos de corriente y resistencia. Los alumnos son entrenados en el razonamiento inductivo y deductivo, y en la síntesis de los conceptos en un modelo cualitativo para la corriente eléctrica. Este cuadro mental y juego de reglas les proporciona un marco conceptual que les permite predecir y explicar la conducta de circuitos simples. Cuando los estudiantes aplican el modelo a circuitos de complejidad creciente, con ramas en paralelo y en serie, la necesidad del concepto de *diferencia de potencial* se pone de manifiesto. El proceso de construcción del modelo continúa con el desarrollo de los conceptos semicuantitativos y representaciones diagramáticas que extienden la pertinencia del modelo. Como en el resto de los Tutoriales, el formalismo algebraico es introducido y utilizado por los alumnos sólo después de que han obtenido una clara comprensión cualitativa.

EL EXPERIMENTO

A. Descripción de la población

El presente estudio se llevó a cabo en tres divisiones de 2º año Polimodal (decimoprimer año de escolarización, alumnos de 16-17 años) con orientación ciencias naturales de dos colegios diferentes. Dos divisiones corresponden a una escuela estatal con población estudiantil mixta, mientras que la otra corresponde a un colegio privado

sólo de mujeres. Las tres divisiones tienen casi igual número de estudiantes (Tabla 1). Una división del colegio estatal se asignó aleatoriamente como curso testigo. Llamaremos «A» a esta población de control (colegio estatal con instrucción tradicional), «B» a la población experimental del colegio privado confesional sólo de mujeres y «C» a la población experimental correspondiente a la otra división del colegio estatal mixto.

Excepto por las diferencias de género y porque el colegio estatal tiene una población de nivel socioeconómico ligeramente menor que la del privado, las demás condiciones de la instrucción (contenidos, conocimiento matemático, crédito horario y recursos didácticos) fueron similares, con el mismo profesor a cargo de las tres divisiones. En todos los casos los estudiantes habían sido asignados a una dada división por la autoridad escolar siguiendo sus reglas internas, ajenas a este experimento.

B. Tutoriales para Física Introductoria sobre circuitos eléctricos

En las dos poblaciones experimentales la instrucción consistió únicamente en las tareas de Tutoriales descritas más abajo. Toda la instrucción se desarrolló en un tiempo total de tres semanas y no se realizaron exposiciones «teóricas» por parte del profesor.

Los «Tutoriales para Física Introductoria» (McDermott y Shaffer, 2001) consisten en tres unidades de trabajo: el Tutorial propiamente dicho, los ejercicios complementarios y un pretest de Tutorial. El pretest (de Tutorial) es administrado inmediatamente antes de la realización de cada Tutorial y consiste en unas pocas preguntas a desarrollar por el alumno. Cada pretest tiene dos objetivos: informar al docente sobre el estado de conocimientos de sus alumnos, haciendo aflorar las ideas con que llegan a la instrucción, y ayudar a que los alumnos comprendan qué se espera que aprendan, alistándolos, en cierta forma, para el aprendizaje. En nuestra aplicación, el análisis de preconcepciones es realizado mediante la administración del test DIRECT, de manera que en adelante cuando nos referimos a pretest, se debe entender la aplicación de DIRECT antes de la instrucción, según se detalla más abajo.

Tabla 1
Características de las poblaciones experimentales (B y C) y de control (A) descritas en el texto.
Cada módulo horario semanal tiene 80 minutos de duración.

GRUPO	TIPO DE ESCUELA	ORIENTACIÓN	GÉNERO	EDAD (AÑOS)	MÓDULOS SEMANALES	NO. ALUMNOS
A	Estatal	Cs. naturales	Mixto	16-17	2	31
B	Privado Religioso	Cs. naturales	Mujeres	16-17	2	30
C	Estatal	Cs. naturales	Mixto	16-17	2	30

Cada Tutorial (la tarea central de la metodología) es una guía de actividades que los alumnos deben desarrollar trabajando en grupos de tres o cuatro estudiantes. En el caso particular de circuitos eléctricos el trabajo de lápiz y papel se complementa con dispositivos experimentales simples (focos, cables, baterías) con los cuales cada grupo de estudiantes realiza actividades, controla resultados y obtiene, por inducción y generalización, las leyes de circuitos eléctricos simples. En nuestra experiencia los materiales fueron aportados por los propios estudiantes y el trabajo de Tutorial fue realizado en el aula normal.

Tutoriales es una estrategia que se adapta a diversas implementaciones didácticas, puede complementar la clase expositiva tradicional o suplantarla. En la presente prueba el docente no realizó clases expositivas, de manera que la construcción de conocimientos se logró sólo con la tarea estudiantil del Tutorial y los ejercicios complementarios.

En clase de Tutorial el docente supervisa la tarea de los grupos, observando la discusión, razonamiento y conclusiones de cada tarea e interviniendo además en aquellos casos en que el Tutorial demanda que los alumnos presenten sus conclusiones al docente. Estos puntos de control tienen por objetivo que los alumnos no avancen sobre el siguiente material/concepto sin haber entendido aquellos conceptos que le servirán de base para la comprensión de los aspectos siguientes, asegurando la continuidad del aprendizaje. El docente también controla el uso del tiempo para que la labor estudiantil sea efectiva. En nuestra experiencia, cada Tutorial demandó algo más de un módulo didáctico completo. Los alumnos luego debían realizar en forma individual y fuera del horario de clase los ejercicios complementarios del Tutorial. La resolución de estos problemas era analizada en la clase siguiente, discutiendo las dudas remanentes y afirmando y controlando los conceptos adquiridos. El total de actividades de cada Tutorial demandó alrededor de tres módulos completos, es decir, que todo el tema de circuitos eléctricos (seis módulos) fue cubierto en tres semanas de instrucción, el mismo tiempo utilizado por la instrucción tradicional del grupo control.

De nuestra experiencia destacamos además el interés y la disposición con que los alumnos desarrollan estas actividades experimentales y la importancia que la discusión entre pares (en el grupo de trabajo y en las discusiones de toda la clase) tiene para el proceso de aprendizaje de cada uno de los estudiantes.

C. La instrucción tradicional del grupo control

La enseñanza tradicional practicada en la división «A» siguió la estructura y metodología utilizadas en años anteriores por el mismo profesor. Los objetivos, similares a la instrucción experimental, eran: analizar y reconocer circuitos eléctricos resistivos simples, comprender la forma de conexión de los elementos de un circuito resistivo simple, identificar y reconocer cuándo un circuito es cerrado, aplicar el concepto de *resistencia* en un circuito en serie y en paralelo, interpretar dibujos y diagramas de

una variedad de circuitos, entender y aplicar la conservación de corriente, aplicar el concepto de *diferencia de potencial* y relacionar la corriente eléctrica con la diferencia de potencial y la resistencia del circuito.

El temario y el tiempo total de instrucción fue exactamente igual al de la instrucción con Tutoriales. Cada tema fue desarrollado esencialmente mediante una presentación teórica del profesor, que incluía las principales definiciones y algún ejemplo de aplicación característico. Se acompañó la exposición teórica con algunas experiencias demostrativas simples y con la resolución de problemas numéricos tipo, realizadas siempre por el profesor y contempladas por los alumnos. Los alumnos trabajaron la resolución de problemas en pequeños grupos, que es la modalidad habitual de trabajo que han tenido en este curso. Aunque el profesor iniciaba sus explicaciones de cada tema proponiendo a los alumnos que resolvieran (en la pizarra) un circuito simple de batería y focos, de manera que (de)mostrarán sus ideas previas, la diferencia fundamental entre esta aproximación y la de Tutoriales es que en esta última, además de haber sido diseñada a partir de los resultados de la investigación cualitativa en aprendizaje del tema, los alumnos realizan las tareas y, en lugar de ser espectadores de las actividades realizadas por el profesor, están continuamente activos en la construcción de su propio conocimiento.

D. Utilización de pruebas de respuesta múltiple para evaluar el aprendizaje conceptual: el uso de DIRECT

Uno de los objetivos de este trabajo es mostrar cómo, con los resultados de investigación en educación de la física, no sólo se puede programar una enseñanza activa científicamente diseñada, sino también cómo la evaluación está siendo enriquecida con la incorporación de tests de respuesta múltiple, en cuyos distractores se han incorporado lo que diversas investigaciones han mostrado como las ideas alternativas y dificultades de aprendizaje más comunes. Quizás en este sentido el test más conocido es el Force Concept Inventory (FCI) (Hestenes et al., 1992), diseñado para medir el conocimiento conceptual de fuerza y movimiento. En el tema de circuitos eléctricos ha sido publicado recientemente (Engelhardt y Beichner, 2004) el «Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test» (DIRECT), cuya versión en español obtuvimos del profesor Beichner (2005). DIRECT es una prueba de 29 preguntas de respuesta de opción múltiple. Cada pregunta tiene cinco opciones de respuesta, con distractores que corresponden a las concepciones previas y a las dificultades de aprendizaje más características sobre circuitos eléctricos. Su aplicación como diagnóstico pre-instrucción (pretest) proporciona una distribución (y su importancia relativa) de dichas preconcepciones en la población estudiantil de interés, mientras que su aplicación post-instrucción (postest), además de medir la ganancia o efectividad de la instrucción, permite al docente reconocer qué conceptos han sido mejor capturados por los estudiantes y en cuáles la instrucción ha sido menos satisfactoria. Cada concepto está contenido en más de un ítem, de manera

que el docente puede verificar la consistencia interna de la respuesta estudiantil controlando la correlación de las respuestas de ítems con un mismo objetivo. Los 29 ítems de DIRECT se distribuyen en once objetivos particulares o específicos. Éstos, a su vez, están agrupados en seis objetivos integradores (Tabla 2). A manera de ejemplo vemos que el objetivo integrador «aspectos físicos de un circuito eléctrico» está compuesto por cinco objetivos específicos, los cuales a su vez son indagados por once ítems diferentes. Hacemos notar que en este trabajo el DIRECT ha sido utilizado sólo para medir la efectividad global de la estrategia educativa y para el análisis de la evolución del aprendizaje conceptual y de las ideas previas. La evaluación individual de cada alumno, a los efectos institucionales, fue realizada de manera tradicio-

nal, fundamentalmente con problemas cuantitativos y no se informa de ello en este trabajo.

RESULTADOS

La tabla 2 muestra los objetivos, ítems que los indagan y resultados de la aplicación de DIRECT (Versión 1.1) en las tres divisiones de 2º año Polimodal cuyas poblaciones se describen más arriba. Se ha agregado, para comparación, el rendimiento medio post-instrucción, por objetivo, de alumnos de diversas escuelas secundarias, *colleges* y universidades de los Estados Unidos de América, Canadá y Europa, informado por Engelhardt y Beichner (2004), referida en la tabla 2 con el nombre genérico de EE UU.

Tabla 2

Objetivos específicos e integradores de DIRECT, con los ítems que los miden. Para cada objetivo se incluye el rendimiento promedio obtenido por los alumnos de las divisiones experimentales (B y C), la división de control (A) y la población referida por Engelhardt y Beichner (EEUU).

OBJETIVOS	PREGUNTA N°	RENDIMIENTO MEDIO (%)			
		EEUU	A	B	C
POBLACIÓN					
Aspectos físicos de circuitos eléctricos DC (Objetivos 1-5)		52	40	76	74
1) identificar y explicar un cortocircuito (más corriente sigue el camino de menor resistencia)	10,19, 27	56	31	64	67
2) comprensión de la funcionalidad de los dos extremos de cada elemento de circuito (los elementos tienen dos posibles puntos para hacer una conexión)	9,18	59	50	85	83
3) identificación de un circuito cerrado y entender la necesidad de un circuito cerrado para que la corriente pueda fluir de manera constante (las cargas están en movimiento pero sus velocidades en cualquier lugar no es cambiante y no hay ninguna acumulación de cargas en cualquier parte en el circuito)					
Combinación (Objetivos 1-3)	27	73	26	77	83
4) aplicar el concepto de <i>resistencia</i> (obstáculo al flujo de cargas en un circuito) incluyendo que esta resistencia depende de la propiedad del objeto (la geometría de objeto y tipo de material del que el objeto está compuesto) y que en un circuito en serie la resistencia aumenta mientras más elementos se agregan y que en una conexión en paralelo mientras más elementos se agregan la resistencia disminuye	5,14,23	40	38	69	64
5) interpretación de dibujos y diagramas de una variedad de circuitos incluso serie, paralelo y combinaciones de los dos	4,13,22	54	44	87	85
Esquema del circuito (Objetivos 1-3,5)		56	41	78	78
Energía (Objetivos 6-7)		31	14	16	20
6) aplicación del concepto de <i>potencia</i> (trabajo hecho por unidad de tiempo) a una variedad de circuitos	2,12	28*	14	14	19
7) aplicación de la comprensión conceptual de conservación de energía incluyendo la regla de Kirchoff ($\sum V = 0$ alrededor de un circuito cerrado) y la batería como una fuente de energía	3,21	49	19	14	22
Corriente (Objetivos 8-9)		44	32	36	40
8) entender y aplicar la conservación de corriente (la conservación de carga en el estado continuo) a una variedad de circuitos	8,17	59	50	65	72
9) explicar los aspectos microscópicos de flujo de la corriente en un circuito a través del empleo de términos electrostáticos como campo eléctrico, diferencia de potencial e interacción de fuerzas sobre las partículas cargadas	1,11, 20	19	20	16	18
Diferencia de potencial (Voltaje) (Objetivos 10-11)		35	30	45	53
10) aplicación del concepto de que la cantidad de corriente es influenciada por la diferencia de potencial mantenida por la batería y por la resistencia en el circuito	7,16,25	38	31	49	55
11) aplicación del concepto de <i>diferencia de potencial</i> a una variedad de circuitos incluyendo la idea de que la diferencia de potencial en un circuito en serie se suma, mientras que en un circuito paralelo permanece igual	6,15, 24, 28,29	34	29	43	52
Corriente y Voltaje (Objetivos 8 y 11)	26	40	29	50	57

Aunque el objetivo de este trabajo no es hacer un análisis detallado del rendimiento de cada uno de los objetivos y de los distintos ítems de DIRECT, se observa en la tabla 2 que las dos poblaciones experimentales (divisiones B y C) han alcanzado un aceptable nivel de logro en los objetivos aspectos físicos de circuitos eléctricos, esquema de circuito, diferencia de potencial y corriente y voltaje. En todos estos temas el rendimiento ha sido satisfactorio, superior en general al reportado por Engelhardt y Beichner (población EEUU) y notablemente mejor que la población de control (división A). Nótese que los objetivos 6 y 7 (ítems 2, 3, 12 y 21) correspondientes al concepto *energía* y 9 (ítems 1, 11 y 20), sobre los aspectos microscópicos del flujo de corriente no fueron tratados por la instrucción. Tampoco son considerados los ítems 7 y 25 del objetivo diez (diferencia de potencial) pues corresponden a baterías en paralelo y a aspectos cuantitativos que no fueron tratados por la instrucción. Consecuentemente, en los ítems precitados, las tres divisiones tienen un rendimiento post-instrucción muy bajo, en los mismos niveles que el pretest (no mostrado) y por debajo del rendimiento de la población EEUU.

Podríamos concluir que, en un medio educativo y población estudiantil bien diferentes, nuestros resultados parecen confirmar lo informado por Abbot y sus colaboradores (2000) en el sentido de que el uso de experimentos simples, pero en actividades didácticas basadas en resultados de la investigación en enseñanza de la física, como es el caso de Tutoriales, se logra una notable mejora en el aprendizaje conceptual.

Nuestra experiencia reafirma además resultados de trabajos previos que indican que con métodos de enseñanza activa se obtienen rendimientos estudiantiles marcadamente superiores a los logrados mediante enseñanza tradicional. En la tabla 3 se muestran los resultados globales de los pre y postests de las tres divisiones de este estudio y la ganancia intrínseca (fracción de la máxima ganancia posible), o índice *g* (propuesto por Hake, 1998), definido como:

$$g = (\langle \text{Post} \rangle - \langle \text{Pre} \rangle) / (100 - \langle \text{Pre} \rangle)$$

Donde los corchetes < > indican el rendimiento medio del test de toda la población. Se observa en dicha tabla que la población de control tiene una ganancia intrínseca de $g_A = 0,21$, mientras que las divisiones B y C tienen ganancias de $g_B = 0,53$ y $g_C = 0,61$, respectivamente. Esta amplia diferencia en ganancia intrínseca está en línea con la recopilación de más de seis mil estudiantes de muy distintas instituciones reportada por Hake (1998), referida al aprendizaje del concepto *fuerza*, utilizando al FCI como instrumento de medición. Aunque el tema es distinto (circuitos eléctricos en el presente caso, fuerza y movimiento en el caso reportado por Hake), y también el instrumento de medición (DIRECT y FCI), las diferencias de rendimiento estudiantil encontradas son características de los resultados que se obtienen mediante metodologías de enseñanza tradicional (población EEUU y división A) y con el uso de metodologías de enseñanza activa (divisiones B y C). Según Hake (1998), el promedio de la ganancia intrínseca de 14 cursos con

instrucción tradicional fue $g_{TRD} = 0,23 \pm 0,04$, mientras que el valor medio de 48 cursos que habían tenido algún tipo de enseñanza activa fue $g_{EA} = 0,48 \pm 0,14$. La tabla 3 muestra que la ganancia intrínseca lograda en la instrucción local está totalmente en línea con estos valores.

Tabla 3

Rendimiento promedio en DIRECT (en %), pre y post-instrucción de las tres divisiones de 2º año Polimodal. Al calcular estos valores se han considerado sólo los ítems tratados por la instrucción (ver texto). Se indica también la ganancia intrínseca *g*.

DIVISIÓN	<PRETEST>	<POSTEST>	G (Hake)
A	20	37	0,21
B	16	61	0,53
C	12	66	0,61

Las figuras 1 y 2 muestran los resultados porcentuales de respuestas correctas de cada alumno antes y después de la instrucción, para las divisiones A y B, respectivamente.

Observamos que en la población de control la instrucción ha provocado una muy pequeña modificación de los conocimientos conceptuales en la mayoría de los estudiantes. En la figura 1 se observa que sólo alrededor del 20% de la población de control mejoró su rendimiento de manera significativa, mientras que el resto permaneció casi igual que antes de la instrucción. Por el contrario, en la población experimental de la división B (Figura 2) se observa que prácticamente todos los alumnos (más del 90%) muestran una mejora sustancial en su conocimiento conceptual. Similar resultado se logra con la población experimental C (no mostrado).

Parece claro que en la enseñanza tradicional sólo unos pocos alumnos (que quizás tengan alguna afinidad especial por la física) han mejorado su conocimiento, mientras que en la población experimental la efectividad de la instrucción es homogénea para casi toda la población estudiantil. Esta afirmación también puede inferirse de la tabla 4, donde se han representado las fracciones de la población estudiantil de cada división agrupada por cuartiles de rendimiento. Se observa aquí que en las dos poblaciones experimentales los resultados post-instrucción se ubican en los dos cuartiles centrales, mientras que en el grupo de control la mayor parte de la población está en los dos cuartiles inferiores.

Se hace notar que en este tipo de pruebas, como los distractores responden a preconceptos o dificultades características de aprendizaje, resultan muy atractivos para los estudiantes que no tienen un buen conocimiento conceptual del tema. Por ello, si bien la respuesta al azar *corresponde a un rendimiento medio del 20%, generalmente los resultados de los estudiantes no instruidos están por debajo de ese valor (Tabla 3).*

Figura 1

Rendimiento medio (%) en los 29 ítems del test DIRECT de los 31 alumnos de la división A (población de control). Pretest (barras claras) y postest (barras oscuras). Las dos últimas barras muestran el rendimiento medio pre y post-instrucción de toda la clase.

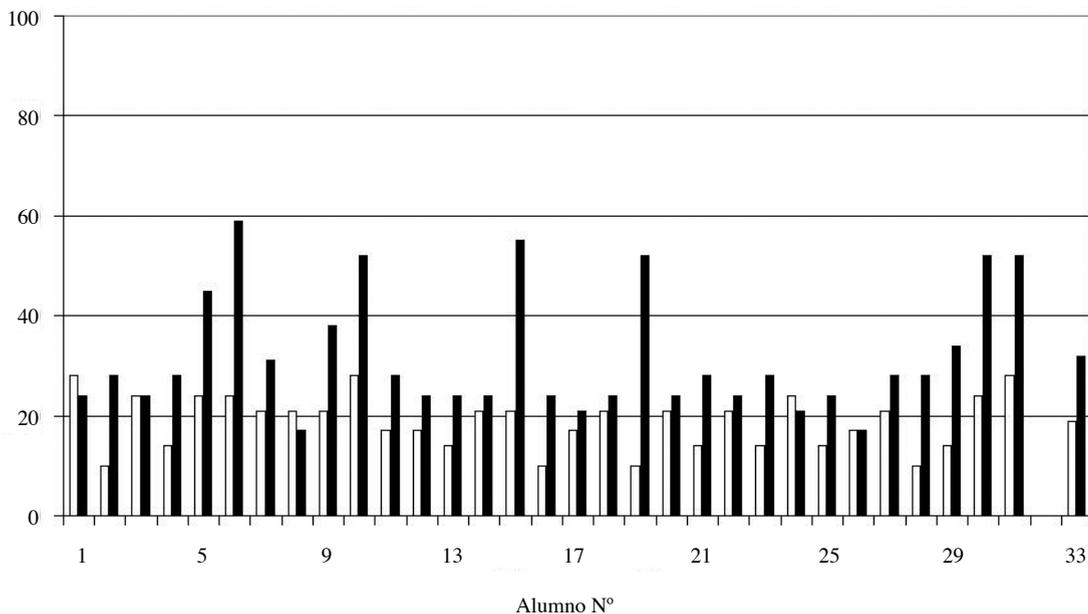


Figura 2

Rendimiento medio (%) en los 29 ítems del test DIRECT de los 30 alumnos de la división B. Pretest (barras claras) y postest (barras oscuras). Las dos últimas barras a la derecha muestran el rendimiento medio pre y post-instrucción de toda la clase.

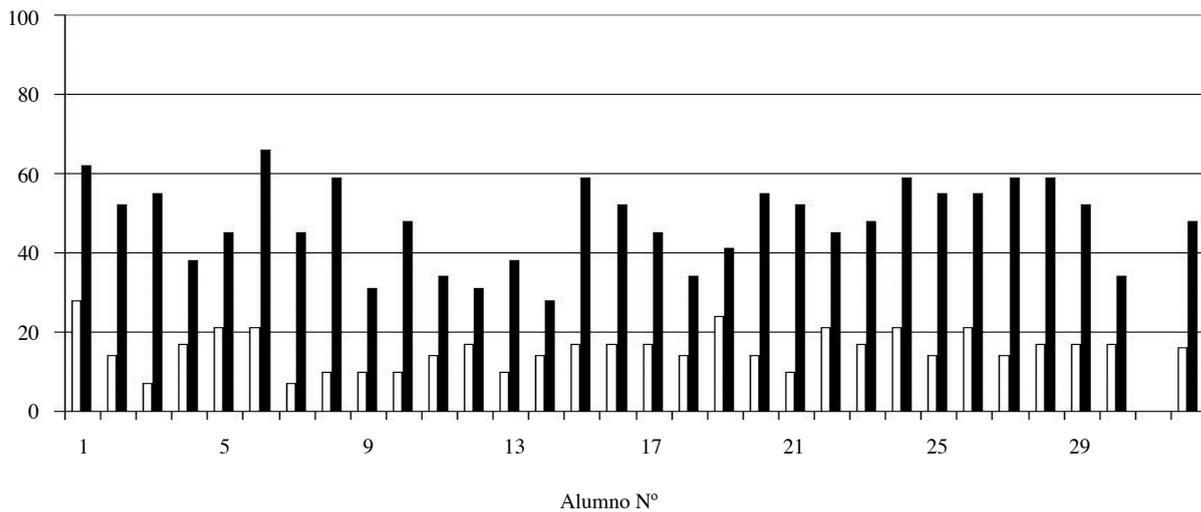
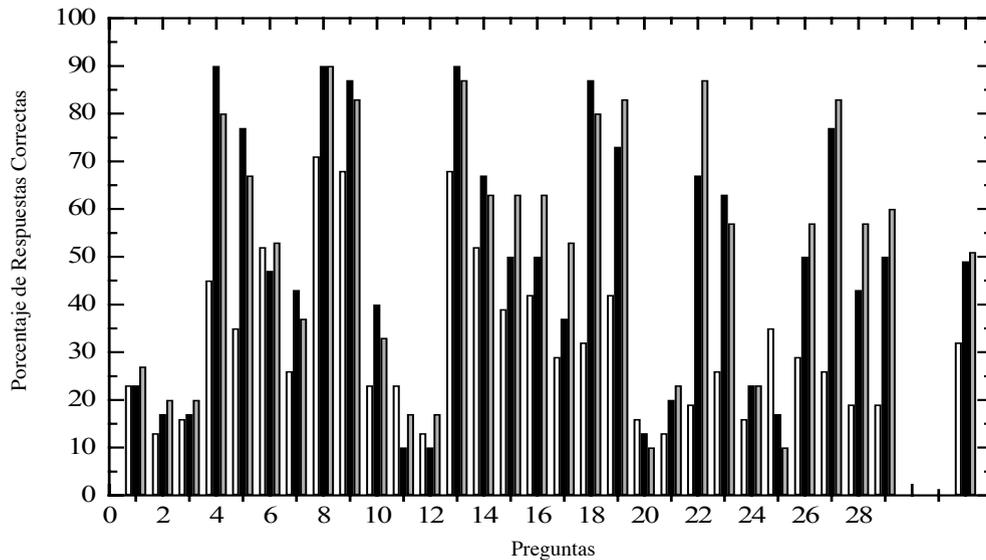


Figura 3

Rendimiento promedio (%) post-instrucción en las 29 preguntas del DIRECT para la población de control «A» (barras blancas) y las poblaciones experimentales «B» y «C» (barras negra y gris respectivamente). Las tres últimas barras a la derecha muestran el rendimiento promedio de cada clase.



De las anteriores gráficas y tablas se desprende que la diferencia de rendimiento entre las poblaciones experimentales y la de control es clara. Un análisis de significación estadística mediante la t-Student indica que los resultados post-instrucción de la población experimental B (C) respecto de la de control son estadísticamente diferentes con parámetros $t = 5,36$ y $p = 1,45 \cdot 10^{-6}$ ($t = 6,4$, $p = 2,7 \cdot 10^{-8}$). En cambio los resultados post-instrucción de las dos poblaciones experimentales NO son estadísticamente diferentes ($t = 1,1$ y $p = 0,27$). Todos los datos anteriores al nivel de confianza 0,05.

Para analizar el rendimiento por ítem, la figura 3 muestra el rendimiento porcentual post-instrucción de las tres divisiones en las 29 preguntas de DIRECT.

Se observa una gran diferencia entre el grupo control (A) y los dos grupos experimentales (B y C) en aquellas preguntas cuya temática corresponde a la desarrollada por la instrucción, mientras que las respuestas correctas en las demás preguntas es similarmente muy pobre para los tres grupos (ítems 1, 2, 3, 7, 11, 12, 20, 21 y 25, correspondientes a los objetivos 6, 7 y 9, no cubiertos por los Tutoriales ni por la instrucción tradicional desarrollada en las diferentes divisiones de este estudio).

CONCLUSIONES

El presente trabajo tuvo como objetivo principal determinar la posibilidad y conveniencia de implementar la estrategia de Tutoriales para Física Introdutoria (desarrollada a partir de experiencias educativas en cursos

universitarios de los Estados Unidos de América) en la enseñanza de circuitos eléctricos en los cursos de física de 2° año Polimodal (decimoprimer año de instrucción) del sistema educativo local. Se utilizaron los dos Tutoriales diseñados para el aprendizaje de circuitos eléctricos resistivos simples en dos grupos experimentales, uno correspondiente a un curso de una escuela pública mixta, y el otro a una escuela privada, confesional y sólo de mujeres, de manera que cubriera un rango importante de características socioeconómicas y de género de posibles usuarios de la metodología. Como instrumento de evaluación de la experiencia se utilizó el test de respuestas de opción múltiple DIRECT (Engelhardt y Beichner, 2004) que contiene una taxonomía, por demás completa, de concepciones previas y dificultades de aprendizaje del tema, obtenida a partir de diversos resultados de la investigación en enseñanza de la física.

Los resultados del rendimiento estudiantil del grupo control (alumnos que tuvieron la enseñanza tradicional que se venía aplicando hasta el presente) y de los dos grupos experimentales muestran una clara diferencia de rendimiento a favor de estos últimos. La instrucción tradicional produjo una muy pequeña modificación de los conocimientos conceptuales en la mayoría de los estudiantes (del 20% de respuestas correctas al iniciar la instrucción se pasó al 37% al finalizar la instrucción). Por el contrario, en las dos poblaciones experimentales se observa que prácticamente todos los alumnos han tenido una mejora sustancial en los conocimientos conceptuales de circuitos eléctricos, con rendimientos medios de esas poblaciones que pasaron de alrededor del 15% antes de la instrucción a un rendimiento superior al 60% al final de la misma.

Tomando como parámetro de evaluación la fracción de ganancia máxima posible g (ganancia intrínseca o índice de Hake), se encuentra que este índice es bajo para la población de control ($g_A = 0,21$), lo cual es característico de la instrucción tradicional, mientras que en el caso de las otras dos divisiones es media-alta ($g_B = 0,53$ y $g_C = 0,61$, respectivamente). Esto confirma, con esta población estudiantil y en el tema de circuitos eléctricos, los resultados informados por Hake (1998), respecto a la muy importante diferencia en rendimiento intrínseco cuando se comparan los niveles de logro de la instrucción activa y de la tradicional.

Es importante notar que la efectividad de la instrucción activa es homogénea prácticamente para toda la población experimental: más del 90% de los estudiantes mejoró notablemente su rendimiento, alcanzando o superando los niveles informados por Engelhardt y Beichner (2004) para una población con mayor preparación y madurez que la del presente experimento. Se comprueba de nuevo que los alumnos responden positivamente a propuestas metodológicas que estimulan su activa participación en la construcción de su propio conocimiento y que además conecten la instrucción con la realidad cotidiana.

Dado que estos resultados altamente positivos han sido logrados en condiciones normales de instrucción, con instalaciones sumamente modestas y sin ningún equipamiento especial, con dos poblaciones experimentales de diferentes características, podemos concluir que la metodología de enseñanza es la principal responsable de dicha mejora.

Se corroboran así, en una población y condiciones de enseñanza muy diferentes, las conclusiones de Abbott y colaboradores (2000) respecto del gran cambio en rendimiento que se logra con sólo dos Tutoriales. Se corrobora entonces el valor de los contenidos procedimentales de los experimentos cualitativos simples propuestos en los Tutoriales de circuitos eléctricos, que además fomentan

la participación estudiantil, el aprendizaje conceptual y el desarrollo del pensamiento científico.

Los resultados de este trabajo confirman también resultados preliminares de Engelhardt y Beichner (2004) respecto de la utilidad del test DIRECT como instrumento para determinar diferencias en el aprendizaje logrado por distintas metodologías y por distintas poblaciones.

Se puede entonces afirmar que, al menos en los temas tratados en esta experiencia, Tutoriales para Física Introductoria es una metodología que se puede implementar en los cursos superiores de la escuela secundaria con resultados ampliamente superiores a la enseñanza tradicional. La gran ventaja que significa la disponibilidad en español de todo el material didáctico (McDermott y Shaffer, 2001) para su implementación inmediata debería estimular experiencias similares a la presente para determinar qué temas de Tutoriales son convenientes y apropiados para el nivel educativo y tipo de población. Por otro lado, la utilización de pruebas de respuestas múltiples, construidas a partir de los resultados de diversas investigaciones sobre enseñanza-aprendizaje de temas particulares de la física (como FCI y DIRECT) y cuya confiabilidad y validez han sido determinadas científicamente, provee de herramientas que facilitan tanto el estudio de la situación inicial de una determinada clase, como el posterior análisis de resultados. La difusión de estas metodologías de instrucción y de evaluación debería contribuir significativamente al mejoramiento de la enseñanza de la física en los niveles secundario y universitario.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el proyecto de investigación «El rol del aprendizaje conceptual de la matemática y la física en el rendimiento de los alumnos ingresantes a carreras de ciencias y de ingeniería en la UNSL», Universidad Nacional de San Luis. Julio Benegas es miembro de la Carrera del Investigador de CONICET, Argentina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, D., SAUL, J., PARKER, G. y BEICHNER, J.R. (2000). Can one lab make a difference? *American Journal of Physics*, 68(7), pp. S60-S61.
- AUSUBEL, D., NOVAK, J. y HASENIAN, H. (1976). *Psicología Educativa: Un punto de vista Cognoscitivo*. Ed. Trillas, México.
- BEICHNER, R.J. (2005). En <<http://www.ncsu.edu/per/Test-Info.html>>.
- ENGELHARDT, P. y BEICHNER, R. (2004). Students understanding of direct current resistive electrical circuits, *American Journal of Physics*, 72, pp. 98-115.
- GIL PÉREZ, D., FURIÓ MAS, C., VALDÉS, P., SALINAS, J., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J., GUIASOLA, J., GONZÁLEZ, E., DUMAS-CARRÉ, A., GOFFARD, M. y PESSOA DE CARVALHO, A. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las ciencias*, 17(2), pp. 311-320.
- GUIASOLA, J., ALMUDI, J., ZUBIMENDI, J., ZUZA, K. (2005). Campo Magnético: evaluación de estrategias de enseñanza basadas en el aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las ciencias*, 23(3), pp. 303-320.
- HAKKE, R. (1998). Interactive engagement vs traditional methods: a six-thousand student survey of mechanics test data for introductory physics, *American Journal of Physics*, 66, p. 64.
- HESTENESS, D., WELLS, M. y SWACKHAMER, G. (1992). Force Concept Inventory, *The Phys. Teach.* 30, pp. 141-158.
- MAZUR, ERIC (1997). *Peer Instruction: A user's Manual*, Prentice Hall.
- MCDERMOTT, L. y SHAFFER, P. (1992a). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding, *American Journal of Physics*, 60(1), pp. 994-1003.
- MCDERMOTT, L. y SHAFFER, P. (1992b). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part II: Design of instructional strategies, *American Journal of Physics*, 60(11), pp. 1003-1013.
- MCDERMOTT, L.C. y REDISH, E.F. (1999). Resource Letter: PER-1: Physics Education research. *American Journal of Physics* 67(9) pp. 755-767.
- MCDERMOTT, L.C., SHAFFER, P.S. (2001). *Tutoriales para Física Introductoria*, Prentice Hall, Buenos Aires.
- PARDHAN, H. y BANO, Y. (2001). Science teachers' alternate conceptions about direct-currents, *Int. J. Sci Educ.* 23(3), pp. 301-318.

[Artículo recibido en mayo de 2005 y aceptado en septiembre de 2006]

Learning Electrical Circuits in Upper Secondary Schools: The Results of Different Educational Approaches

SIRUR FLORES, JULIO^{1,2} y BENEGAS, JULIO^{2,3}

¹Colegio Nacional J.C. Lafinur. San Luis, Argentina

²Departamento de Física. Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales. Universidad Nacional de San Luis, Argentina

³Instituto de Matemática Aplicada San Luis (IMASL), Argentina

jflores@unsl.edu.ar

jbenegas@unsl.edu.ar

Abstract

This paper reports on the use of Tutorials for Introductory Physics for teaching resistive electric circuits to 11th grade students attending two high schools in San Luis, Argentina. The experiment was carried out in three classes (with the same teacher, JSF) at two different schools: one public, state-run, mixed-gender institution; and a confessional school only for women. These schools have no formal lab facilities, encompassing therefore a wide range of socioeconomic and institutional conditions characteristic of the local educational system. Another public school class, randomly selected as the control population, followed the traditional instruction practiced in previous years. The «Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test» (DIRECT, Engelhardt & Beichner, 2004), which contains a rather complete taxonomy of misconceptions and learning difficulties in relation to electric circuits as distracters, was used to measure conceptual knowledge. The learning gain in the class traditionally taught was rather modest (pretest=20%, posttest=37%); while both experimental classes showed significant learning gains (pretest = 16 and 12%, posttests= 61 and 66%, respectively). It was also noted that about 90% of the students in the experimental classes showed significant learning gains, com-

pared to only about 15% of the students in the control population. The fraction of the maximum possible gain obtained, g (Hake, 1998), is low for the control population ($g_{\text{control}}=0.21$), and medium-high for the two experimental classes ($g_{\text{Exp,B}} = 0.53$ y $g_{\text{Exp,C}}=0.61$, respectively), thus confirming Hake's findings (1998) for this student population and subject with respect to the substantial difference in the conceptual learning of mechanics between classes that were traditionally taught with respect to those that practiced active learning.

In conclusion, our results show that students of different socio-economic conditions and gender who attend different types of schools experience very significant improvement in conceptual knowledge when Tutorials are used for teaching simple electric circuits as compared to those in the control population who were taught in the traditional way. These findings strongly indicate that the complementary use of active learning teaching strategies, like Tutorials, complemented by research-based measuring instruments like DIRECT, provides the conditions for significant improvements when teaching high school physics in our educational systems.

Keywords: Active and traditional learning, electric circuits, Tutorials, DIRECT