

# Entendimiento conceptual y dificultades de aprendizaje de Electricidad y Magnetismo identificadas por profesores



Silvia Tecpan<sup>1</sup>, Julio Benegas<sup>2</sup>, Genaro Zavala<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física, Tecnológico de Monterrey, E. Garza Sada 2501, CP64849, Monterrey, México

<sup>2</sup>Departamento de Física/IMASL, Universidad Nacional de San Luis, Ej. de los Andes 950, CP 5700, San Luis, Argentina.

E-mail: stecpan@gmail.com

(Recibido el 25 de Julio de 2014, aceptado el 30 de Mayo de 2015)

## Resumen

Se reportan los resultados de entendimiento conceptual de los asistentes al taller de Aprendizaje Activo de Electricidad y Magnetismo AAEM. Este taller estuvo dirigido a formadores de formadores que se desempeñan en universidades e institutos dedicados a la formación inicial de profesores de Física en países de América del Sur. Utilizando como instrumento de medición el test de respuestas de opción múltiple *Conceptual Survey of Electricity and Magnetism* (CSEM), en una versión modificada que incluyó 12 preguntas sobre circuitos eléctricos. Se detectó que los profesores mostraban dificultades conceptuales en algunas áreas incluidas en la prueba. Se analizaron además las reflexiones de los asistentes sobre las principales preconcepciones de sus propios estudiantes en los tópicos del taller. Un bajo porcentaje de profesores fue capaz de describir las dificultades de aprendizaje más comunes en estas áreas de la Física básica, limitándose, la mayoría, a solo identificar los temas que causan dificultades de aprendizaje en sus estudiantes. Los resultados por áreas del CSEM han sido también discutidos, así como su posible correlación con las preconcepciones y dificultades de aprendizaje reportadas por los participantes al taller.

**Palabras clave:** formación docente, educación, electricidad y magnetismo.

## Abstract

The results of conceptual learning workshop attained by participants to the Active Learning Electricity and Magnetism workshop (AAEM) are shown in this work. This workshop was aimed at teachers working in Argentina and other countries. We used a modified version of the CSEM, which includes 12 electrical circuits' items, to measure teachers' conceptual difficulties previous and after the workshop. We observed some conceptual difficulties remained after the workshop ended. We also recollected participants' reflections on their students' preconceptions in Electricity and Magnetism. We found that a low percentage of teachers were able to describe the most common student's preconceptions, instead most of the teachers focused on identify the most complicated topics for their students. Results are discussed by the CSEM dimensions and along its relationship with the students' preconceptions reported by these teachers.

**Keywords:** education, in service training, teaching methods and strategies.

**PACS:** 01.40.-d, 01.40.jh, 01.40.gb

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

Los Talleres regionales del Cono Sur sobre Aprendizaje Activo de la Física fueron pensados como Escuela de Otoño para formadores de formadores que se desempeñaran en universidades e instituto de formación de profesores de Física de países del Cono Sur de América Latina. En el 2010 se abordaron estrategias de enseñanza para el Aprendizaje Activo de temas de Electricidad y Magnetismo (AAEM). Etkina [1] sugiere que en la formación del profesorado de Física se deben incluir tres tipos o aspectos del conocimiento (Ver Figura 1): a) conocimiento de Física, b) conocimiento pedagógico y c) conocimiento pedagógico

específico de la disciplina (*Pedagogical Content Knowledge*, PCK, por sus siglas en inglés). Con esto en mente, y con base en los resultados de investigación educativa en la enseñanza de la Física (*Physics Education Research*, o PER por sus siglas en inglés) que enfatizan la participación de los estudiantes en una variedad de actividades en el aula [2] se desarrolló un taller de formación profesional de enfoque constructivista con énfasis en las metodologías de aprendizaje activo de la Física. En esta aproximación se pretendió que los profesores construyeran, a través de la acción y la reflexión, su propio conocimiento sobre las estrategias de enseñanza presentadas [3].

Respecto de la evaluación conceptual propuesta y utilizada en este taller, los resultados de la Investigación en Física Educativa también han contribuido a desarrollar pruebas de opción múltiple que permiten diagnosticar el conocimiento conceptual de los estudiantes sobre un tópico en particular. Dichas pruebas ayudan a los docentes a evaluar, de una manera simple y objetiva, los resultados de aprendizaje de una determinada clase, de manera tal que pueda ser comparado con el obtenido en cursos anteriores o con otras muestras [4]. Una de las pruebas más conocida y ampliamente utilizada en Física Educativa es la Encuesta Conceptual sobre Electricidad y Magnetismo (*Conceptual Survey of Electricity and Magnetism*, CSEM, [5]), la cual fue utilizada en este trabajo para evaluar el aprendizaje de los participantes del taller AAeyM.

Congruente con la aproximación constructivista del taller, Gunstone [6] afirma que los docentes necesitan aprender a través de la reflexión en la práctica. Este aspecto fue promovido en el AAeyM al solicitar a los participantes que reflexionaran sobre las dificultades de aprendizaje y preconcepciones que tuvieran sus propios estudiantes sobre los temas de electricidad y magnetismo cubiertos en el taller. Chrobak [7] y Gil y colaboradores [8], entre otros, también sugieren cuestionar el pensamiento docente, bastante generalizado en la enseñanza de las ciencias, que esencialmente responsabiliza al estudiante de sus dificultades para aprender. Por ello también fue requerido a los asistentes al Taller AAeyM que reflexionaran al respecto.

En este marco en el presente trabajo se plantearon tres objetivos

- a) diagnosticar el conocimiento inicial y el aprendizaje conceptual de electricidad y magnetismo logrado por los asistentes al Taller AAeyM)
- b) describir que dificultades de aprendizaje y preconcepciones estudiantiles son reconocidas por estos formadores de formadores y
- c) indagar si existe alguna correlación entre este conocimiento de dificultades y preconcepciones estudiantiles y el conocimiento disciplinar que tienen los profesores sobre los temas del Taller.

A continuación se presentan algunos antecedentes del tema y la metodología de trabajo. La sección de resultados se divide en la presentación del análisis de ganancia normalizada en primer término y posteriormente el análisis de las dificultades de aprendizaje y preconcepciones reportadas por los asistentes. Se discuten luego estos resultados y sus posibles implicaciones didácticas. En la última sección se presentan las conclusiones del estudio.

## II. ANTECEDENTES

### A. ¿Qué deben saber los profesores de Física?

El éxito en la implementación de estrategias educativas recae principalmente en la formación del profesorado. No es suficiente que el profesor conozca la disciplina que enseña, es necesario, además, que sepa cómo aprenden los

individuos y cuáles dificultades enfrentan para aprender ciertos conceptos. El conocimiento pedagógico del contenido diferencia entre el conocimiento científico del profesor de ciencias y el del científico de esa disciplina. Los tres aspectos necesarios para la formación del profesor de Física propuestos por Etkina [1] se muestran gráficamente en la Figura 1.

### B. Aprendizaje activo de la Física

El objetivo principal de los talleres regionales de formación de formadores sobre aprendizaje activo de la Física fue promover el uso de estrategias de enseñanza centradas en el estudiante. Estas estrategias, que tienen su base fundamental en la investigación educativa en Física llevada a cabo en los últimos 30 años [2], guían al estudiante en la construcción de su conocimiento a través de la observación directa del mundo real. Se busca que el alumno siga un ciclo de aprendizaje que a veces se representa como PODS (Predicción, Observación, Discusión y Síntesis), en el cual se propicia la comparación entre las creencias con que llega a la clase de Física y las leyes Físicas que gobiernan al mundo real. Las metodologías de aprendizaje activo de la Física han demostrado su efectividad para incrementar el aprendizaje conceptual, reproducir el proceso científico en el aula y desarrollar las capacidades de razonamiento.

Una forma de introducir e integrar a los formadores de formadores a las estrategias de aprendizaje activo es a través de su realización como si fueran estudiantes. Por ello en el Taller AAeyM se pidió a los asistentes realizar detalladamente las distintas actividades de dichas estrategias de la misma manera en que deberían realizarla sus estudiantes. Siguiendo en la formación docente también esta misma aproximación constructivista al aprendizaje, se requirió a los asistentes que antes de abordar las actividades de cada tema, reflexionaran, reconocieran y registraran las dificultades de aprendizaje y modelos alternativos de sus propios estudiantes, así como sus propias experiencias en la enseñanza de dicho tema. Esta aproximación didáctica tiene entre sus objetivos principales ayudar al docente a transitar el difícil camino que va desde la instrucción tradicional, donde es autoridad y dueño del conocimiento, al de facilitador de los procesos de aprendizaje, característico de las estrategias de aprendizaje activo [9].

### C. Conocimiento conceptual de electricidad y magnetismo

Respecto del conocimiento conceptual que los participantes tenían y adquirieron durante el Taller AAeyM, al principio y al final del mismo se les requirió que contestaran un test sobre aspectos conceptuales de electricidad y magnetismo.

Esta actividad fue propuesta como un ejemplo práctico del uso de pruebas de respuestas de opción múltiple en la evaluación formativa [3].

En este punto, es importante destacar que la evaluación conceptual se ha visto muy favorecida en los últimos años por el desarrollo de pruebas conceptuales de opción múltiple, derivadas de la extensa investigación educativa

sobre los problemas de aprendizaje de los diversos tópicos de la Física. Una de ellas es *Conceptual Survey of Electricity and Magnetism* (CSEM, [5]), que mide el conocimiento en electricidad y magnetismo. Consiste en 32 preguntas de opción múltiple en la que las opciones incorrectas corresponden a los principales modelos conceptuales alternativos que la investigación educativa ha encontrado en distintas muestras de estudiantes. Es, junto con el *Brief Electricity and Magnetism Assessment* (BEMA) [10] uno de los diagnósticos más usado en temas de

electricidad y magnetismo, Ambos se basan en una exhaustiva taxonomía de concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje de los distintos temas de electricidad y magnetismo obtenido de estudiantes de nivel universitario y también preuniversitario. Los conceptos de electricidad y magnetismo no son tan concretos y familiares como los de mecánica, por lo que las preconcepciones de estos temas pueden no ser tan variadas y tan numerosas, pero son particularmente fuertes [5].



**FIGURA 1.** Etkina [1] muestra los tres aspectos que se considera que debe saber el profesor de Física. No solo debe saber la disciplina y los aspectos generales de cómo se aprende sino la amalgama o intersección entre ambos conocimientos, el PCK, que estudia sobre los aspectos particulares que hacen al aprendizaje de los distintos temas de la disciplina. Este aspecto, no desarrollado ni valorado anteriormente, se ha vuelto aspecto clave para una adecuada preparación docente en Física (y otras disciplinas).

En el taller AAEM se abordó también el tema de circuitos eléctricos. Para evaluar el entendimiento conceptual de los circuitos eléctricos se utilizó una versión modificada del CSEM que incluyó 12 preguntas adicionales sobre estos temas. La versión modificada del instrumento puede consultarse en el manual de entrenamiento elaborado para el taller (ISBN 978-987-1595-34-1). Esta versión fue previamente probada [11] de tal forma que el CSEM modificado constó de 44 preguntas distribuidas en 15 dimensiones conceptuales de electricidad y magnetismo que son: I) Distribución de carga en conductores y aislantes, II) Ley de Coulomb, III. Tercera Ley de Newton, IV. Superposición de fuerza y campo eléctrico, V. Fuerza causada por un campo eléctrico, VI. Trabajo y energía potencial, VII. Carga inducida y campo eléctrico, VIII. Fuerza magnética, IX. Campo magnético causado por corrientes, X. Superposición de campos magnéticos, XI. Ley de Faraday, XII. Corriente eléctrica, XIII. Diferencia de potencial, XIV. Resistencia equivalente, XV. Circuitos RC.

#### D. Dificultades de aprendizaje y preconcepciones de electricidad y magnetismo

Los temas de electricidad y magnetismo son menos intuitivos que los de mecánica newtoniana y abarcan un área conceptual bastante amplia. Además se basan en la comprensión de otros dominios, que se consideran adquiridos, como fuerza, movimiento y energía. En el

dominio de electricidad y magnetismo la mayoría de los estudiantes están poco familiarizados con los fenómenos, pues prácticamente no los han experimentado en la vida cotidiana lo que contrasta con el énfasis en el formalismo (expresiones matemáticas, principios y relaciones) presente en la instrucción tradicional. El carácter abstracto de los fenómenos de electricidad y magnetismo, comparados con los de mecánica, se traduce en dificultades de comprensión y frustración en muchos estudiantes [5].

Arons [12] menciona que parte del vocabulario sobre electricidad y magnetismo se escucha desde la infancia (por ejemplo corriente, voltaje) por lo que muchos profesores y libros de texto asumen que los conceptos asociados con dichas palabras ya han sido comprendidos, pero desafortunadamente no es así. Pocos estudiantes han observado interacciones electrostáticas o jugado con imanes además de que culturalmente se los ha condicionado por el miedo a la electricidad. Por estas razones es conveniente que los cursos introductorios de Física comiencen examinando el vocabulario básico y su significado operacional de lo contrario el docente encontrará que una gran cantidad de sus estudiantes tendrán serias dificultades de aprendizaje.

Diversas investigaciones han demostrado que algunos profesores de ciencias mantienen ideas previas similares a las de sus estudiantes. Dichas ideas interfieren con lo que se enseña en clase provocando un aprendizaje deficiente con pérdida de coherencia. También se ha encontrado que es posible modificar las ideas previas a través de estrategias que

promuevan el cambio conceptual [13]. Resulta entonces necesario que los profesores conozcan cuales son las ideas previas de los estudiantes y cómo inciden en el aprendizaje.

Los resultados de Física educativa se pueden consultar en los artículos de investigación publicados o se puede recurrir a inventarios de preconcepciones por tema que se encuentran en Internet, por ejemplo en: <http://www.huntel.net/rsweetland/science/misconceptions/electMagnet.html>.

### E. Preconcepciones docentes sobre la enseñanza de la ciencia

Gil y colaboradores [8] mencionan que ahora se comprende que los profesores de ciencias también tienen ideas, actitudes y comportamientos sobre el proceso de enseñanza, debidos a una larga formación “ambiental” durante el periodo en el que fueron alumnos y a raíz de ello sostienen preconcepciones acerca de la enseñanza de la ciencia. Está también comprobado que estas preconcepciones de los profesores sobre la enseñanza y el aprendizaje impacta en su trabajo en el aula, por lo que es necesario conocer y cuestionar el pensamiento docente. Algunos de estos pensamientos están relacionados con el carácter “natural” del fracaso generalizado de los alumnos apoyado en el determinismo biológico (alumnos “listos” y “torpes”).

Chrobak [7] indica que es preciso cuestionar la idea de que enseñar es fácil y tomar conciencia de la necesidad de una concepción teórica que articule los planteamientos didácticos. En particular, se debe reforzar el conocimiento de cómo se aprende y promover la reflexión de las experiencias didácticas.

La reflexión en la práctica y el aprendizaje que esta experiencia genera es un aspecto fundamental en la formación docente. De acuerdo con Gunstone [6] lo más importante es la reflexión ya que no se aprende sólo de la experiencia sino de la reflexión en la experiencia.

Las estrategias de aprendizaje activo que se emplearon en el taller AAeyM fuerzan al docente a abandonar al rol tradicional de explicar todo con autoridad, y lo inducen a cuestionar la enseñanza por transmisión y las creencias que esto implica. Estas estrategias los inducen con naturalidad a ocupar el rol de facilitadores del material didáctico y por tanto son un elemento central para ayudarlos a cambiar su concepción del aprendizaje [4].

## III. METODOLOGÍA

En esta sección se describen el contexto, las características de la muestra, los instrumentos utilizados y el método de análisis empleado.

### A. Contexto

Los Talleres Regionales del Cono Sur son talleres anuales y se abordan desde una aproximación didáctica constructivista. Las metodologías de enseñanza de la Física utilizadas han sido desarrolladas en grupos de investigación educativa de

los Estados Unidos de América. Han demostrado su efectividad para incrementar el aprendizaje conceptual en múltiples aplicaciones y se fundamentan en los resultados de la investigación educativa en Física llevada a cabo en los últimos 30 años [2]. El objetivo ha sido, entre otros aspectos, preparar grupos de formadores de formadores que puedan utilizar esta aproximación en la formación inicial del profesorado en sus propias instituciones o replicar este tipo de talleres para el aprendizaje activo de la Física en las distintas regiones de los países del Cono Sur. Por ello en el taller AAeyM participaron representantes de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador y Uruguay, quienes se desempeñan como profesores de Física y contribuyen en sus regiones a la formación inicial y en servicio del profesorado de Física.

Se utilizaron principalmente actividades de Física en Tiempo Real [14], Clases Demostrativas Interactivas [15] y Tutoriales para Física Introductoria [16]. Se trabajó además en la utilización de análisis de videos con el programa LoggerPro, de Vernier software & Technology.

Concordante con la visión de aprendizaje activo de la Física, en el taller se propone que la formación del profesorado tenga la misma aproximación constructivista con que se pretende se enseñe Física. Para ello fue importante que los participantes pudieran reflexionar, al inicio y final de la jornada de cada tema, sobre las dificultades de aprendizaje de sus propios alumnos en el tema tratado, y cómo las actividades propuestas por cada una de las estrategias podrían contribuir a resolver dichas dificultades en su propio entorno de enseñanza. Se puede obtener mayor información sobre este taller en la referencia [4].

### B. Muestra

La muestra utilizada puede ser caracterizada como *purposeful sampling* ya que los participantes al Taller son individuos que tienen una experiencia y competencia especial en el asunto de interés [17]. Esta muestra intencional no se toma como representativa de los profesores de Física en general ya que los asistentes son, en primer lugar, formadores de formadores y, en segundo lugar, demuestran estar interesados en el aprendizaje activo de la Física. Los participantes elegidos tienen un perfil similar integrado por las siguientes características: son profesores de Física, tienen algún conocimiento de los resultados de investigación educativa en Física, son profesores en servicio, cuentan con apoyo o aval institucional para asistir a estos talleres de formación y comparten el interés de aprender estrategias de aprendizaje activo para transmitirlos a sus estudiantes de profesorado en Física.

En el caso de los test conceptuales dado que es necesario contar con información por alumno pre y post taller se analizaron las respuestas de 26 profesores aunque en el Taller participaron aproximadamente 45. El reporte escrito de las reflexiones diarias sobre las dificultades de los estudiantes en cada tema fue variable y anónimo (entre 40 y 50 aportaciones por tema).

### C. Método

Los datos pre-/post-instrucción del CSEM se presentaron en el taller como un ejemplo práctico del uso de una prueba de respuestas de opción múltiple desarrollada en base a resultados previos de investigación educativa sobre dificultades características y modelos alternativos en estos temas de Física. Para el análisis de los datos del CSEM se utilizó análisis de ganancia normalizada, el cual permite medir y comparar la ganancia obtenida en cursos de la misma índole o comparar los resultados de cursos de aprendizaje activo de la Física con cursos de corte tradicional [18], inclusive con muestras de estudiantes de distintos sistemas educativos.

De acuerdo con [19] la ganancia normalizada es la razón entre la ganancia obtenida en un curso (diferencia entre el pre test aplicado al inicio del curso y el post test aplicado al final del mismo) y la ganancia máxima posible, es decir la diferencia entre el resultado máximo posible (puntuación perfecta) y la situación inicial (pre-test). Se calcula con la siguiente fórmula:

$$g = \frac{\langle post \rangle - \langle pre \rangle}{100 - \langle pre \rangle} \quad (1)$$

Donde el signo  $\langle \rangle$  indica el promedio de toda la clase antes (pre test) y después (post test) de la instrucción. Los resultados obtenidos se pueden categorizar en zonas de ganancia normalizada baja ( $g < 0,3$ ), media ( $0,3 < g < 0,7$ ) y alta ( $g > 0,7$ ). Al estar referida al valor del conocimiento inicial, esta definición de la ganancia normalizada permite comparar el grado de logro de la estrategia educativa en distintas clases, independientemente del estado inicial del conocimiento de cada una de ellas.

Utilizando este parámetro de medida, Hake [19] mostró que los cursos universitarios introductorios de mecánica que utilizan una estrategia tradicional de enseñanza tienen una ganancia normalizada relativamente baja ( $\langle g \rangle = 0,23 \pm 0,04$ ) mientras que los que utilizan alguna estrategia de aprendizaje activo lograron una ganancia normalizada claramente superior ( $\langle g \rangle = 0,48 \pm 0,14$ ). Este resultado ha sido confirmado por varios estudios posteriores, entre ellos por Coletta & Phillips [20], quienes mostraron que los cursos con enseñanza tradicional están caracterizados por valores de  $g$  cercanos a 0,2 mientras que en los cursos con estrategias de aprendizaje activo se encuentran generalmente valores en el rango de 0,3 a 0,6.

El pre test se aplicó inmediatamente después de la introducción al taller y antes de iniciar con los contenidos. El post test fue aplicado cuando ya se habían abordado todos los temas y estrategias previstos y antes de la reflexión final del taller.

El CSEM modificado se complementó con reflexiones escritas. Los profesores reflexionaron en forma individual sobre las dificultades de aprendizaje y preconcepciones de sus alumnos antes de abordar la unidad didáctica de cada tema. Posteriormente, al finalizar la actividad volvieron a reflexionar en pequeños grupos colaborativos sobre la utilidad de las estrategias didácticas presentadas para

transformar las preconcepciones reportadas al inicio. Se utilizó análisis de contenido para el procesamiento de las reflexiones escritas [21].

## IV. RESULTADOS

### A. Entendimiento conceptual

En primer término se presentan en la Tabla I los parámetros estadísticos obtenidos por la aplicación del CSEM antes y al finalizar el Taller también se indica el número de pregunta que se evaluó en cada sección. A pesar de que fue una actividad de sólo cinco días con énfasis en el aspecto pedagógico de las estrategias se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Se aplicó el Test de Wilcoxon [22] entre los resultados del pre test y el post test del instrumento completo y por áreas. ESTOS parámetros estadísticos se calcularon con SPSS v.16. En la Tabla II se muestra el valor de Z, la significancia de la prueba y el valor de ganancia normalizada obtenidos por la aplicación del CSEM antes y al finalizar el Taller.

De los resultados del Test de Wilcoxon y el valor de ganancia normalizada (Ver Tabla II) puede inferirse que los participantes parecen haber incrementado su comprensión conceptual en temas de electricidad y magnetismo. Lo mismo se observó al analizar los datos del pre y post test de las preguntas de circuitos eléctricos. Un análisis por subtemas indica que en las preguntas sobre Interacciones eléctricas no se encontró diferencia estadísticamente significativa y el valor de ganancia normalizada fue cero.

En cuanto a la ganancia normalizada se observa que el valor más alto se obtuvo en circuitos eléctricos lo que parece haber contribuido a que en el resultado del CSEM modificado se obtuviera mayor ganancia que en las 32 preguntas de la versión original del CSEM.

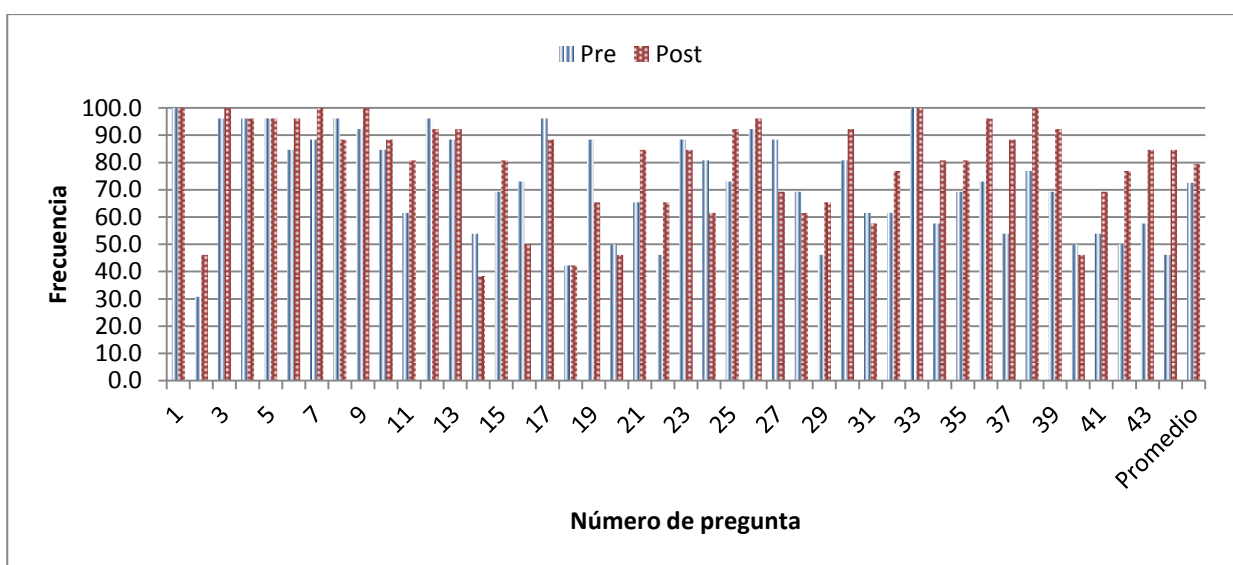
**TABLA I.** Parámetros estadísticos por área del CSEM en porcentaje.

Tema (preguntas que se evalúan)	Pre test %	(Desviación estándar) %	Post test %	(Desviación estándar) %
CSEM (1-32)	76	(19)	78	(19)
Modificado (1-44)	73	(20)	79	(18)
Circuitos (33-44)	63	(15)	83	(15)
Ley de Faraday (29-32)	62	(14)	73	(15)
Interacciones eléctricas (1-20)	79	(16)	79	(16)

**TABLA II.** Resultados pre y post instrucción por áreas del CSEM modificado, de ganancia normalizada y del Test de Wilcoxon.

Tema preguntas que lo evalúan	Z	Significancia (p<)	Ganancia normalizada
CSEM (1-32)	-0.693	(0.489)	0.08
Modificado (1-44)	-3.856	(0.001)	0.22
Circuitos (33-44)	-3.729	(0.001)	0.54
Ley de Faraday (29-32)	-2.164	(0.030)	0.29
Interacciones eléctricas (1-20)	-0.18	(0.857)	0

Respecto del conocimiento disciplinar, la Figura 2 muestra que en varias preguntas el rendimiento de la muestra es cercano al 50%, que puede interpretarse como un valor bajo si se considera que quienes han respondido este instrumento son formadores de formadores en Física.



**FIGURA 2.** Resultados pre/post test en las 44 preguntas del CSEM modificado. Las 12 preguntas de circuitos eléctricos son los ítems 33 a 44. Las últimas dos barras a la derecha muestran el promedio pre y post instrucción para todo el instrumento.

Es interesante analizar que estos formadores de formadores mostraron mayor dificultad en algunos de los ítems. En la Tabla III se muestran las áreas conceptuales del CSEM y las preguntas que la evalúan de acuerdo con lo propuesto por sus autores [5]. En la tercera columna se indican los ítems con valor inferior a 50 en el pre test o en el post test mientras que en la cuarta columna se individualizan aquellos ítems en los que se obtuvo un valor mayor en el pre test comparado con el post test. Conviene resaltar que no se abordaron todos los temas evaluados en el CSEM durante los cinco días que duró el taller, lo que podría explicar que algunas de las ideas de los docentes no se modificaron con la realización de las actividades de aprendizaje activo propuestas en el Taller. Se observa que el área conceptual de trabajo y energía potencial es donde se encontraron más dificultades aun cuando se trata de un concepto que se aborda previamente en mecánica.

### B. Dificultades de aprendizaje y concepciones alternativas

Cada día, antes de impartir el tema, se pidió a los profesores que reflexionaran y reportaran por escrito de manera individual cuales eran las dificultades de aprendizaje más notables de sus estudiantes en el tema del día. Este tipo de conocimiento forma parte del PCK, según lo propuesto por Etkina sobre la formación del profesorado [1]. Se recopilaron 142 aportaciones individuales que pudieron separarse en 336 frases divididas entre los cuatro temas tratados en el taller AAEM. De acuerdo con Giroux y Tremblay [23] las opiniones son fenómenos mentales que solo pueden ser evaluados al expresarse verbalmente o por escrito. En las producciones de los profesores se encontró que la mayoría de ellos no describió las preconcepciones específicas que tienen sus alumnos, limitándose en general, a mencionar el tema de mayor dificultad o en el mejor de los casos reportaron como dificultad la confusión entre

términos. Sólo algunos profesores fueron capaces de describir los modelos alternativos de sus estudiantes.

**TABLA III.** Distribución de preguntas por área conceptual en el CSEM modificado. Se destacan las preguntas con valores inferiores a 50 y con valores mayores en el pre test vs. el post test.

Área conceptual	Pregunta que la evalúa	Preguntas con valor inferior a 50	Preguntas con valor mayor en el pre test vs. post test
I. Distribución de carga en conductores y aislantes	1,2,13	2	
II. Ley de Coulomb	3,4,5		
III. Tercera Ley de Newton	4,5,7,24		
IV. Superposición de fuerzas y campo eléctrico	6,8,9		8
V. Fuerza causada por un campo eléctrico	10,11,12,15, 19,20	20	12,19
VI. Trabajo y energía potencial	11,16,17,18, 19,20	18,20	16,17,19
VII. Carga inducida y campo eléctrico	13,14	14	
VIII. Fuerza magnética	21,22,25,27, 31	22	27,31
IX. Campo magnético causado por corrientes	23,24,26,28		23,28
X. Superposición de campos magnéticos	23,28		
XI. Ley de Faraday	29,30,31,32	29	31
XII. Corriente eléctrica	33,34,35,37, 39		
XIII. Diferencia de potencial	36,38,40	40	
XIV. Resistencia equivalente	41,42		
XV. Circuitos RC	43,44	44	

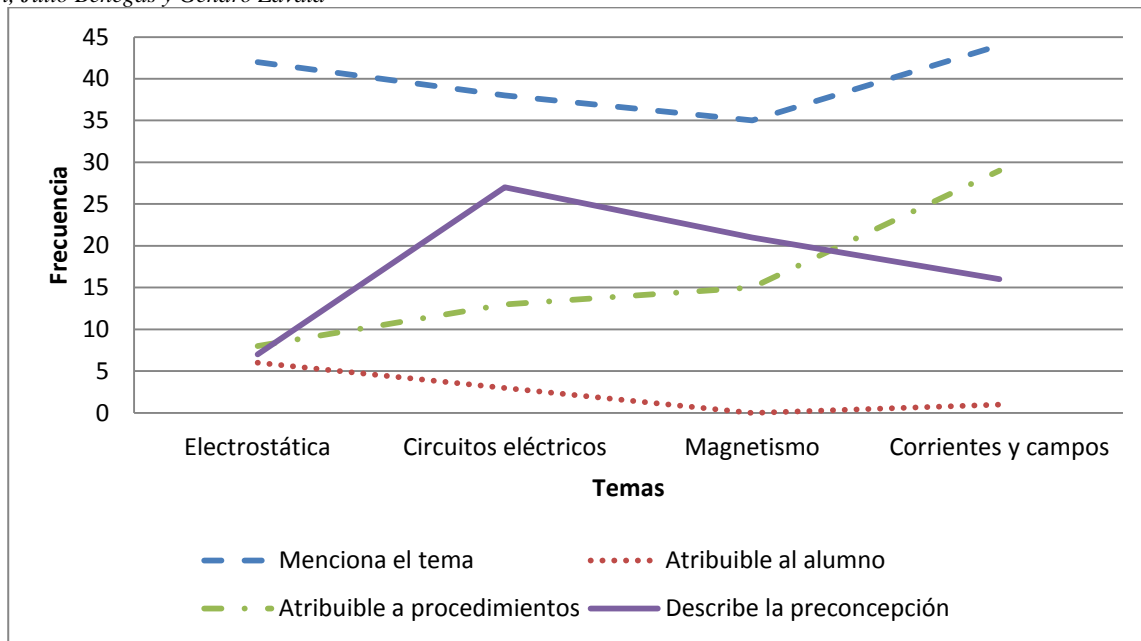
La unidad de análisis de contenido fue la frase proponiéndose cuatro categorías [21] que fueron elegidas a partir del grado de detalle de la información. Cabe mencionar que en ocasiones un mismo profesor reportó más de un comentario por lo que en ocasiones se tuvieron más comentarios que número de participantes. Las categorías se describen a continuación y su comportamiento se puede observar en la Figura 3.

*Menciona el tema:* Agrupa las frases en las que solo se indica el tema sin mayor explicación del motivo de la dificultad. Ejemplo: “Resistencia equivalente”, “Ley de Faraday”, “Campo eléctrico”. Esta categoría mostró la mayor frecuencia en todos los temas lo que sugiere poca disposición del docente para reflexionar sobre las causas de las dificultades de aprendizaje de sus alumnos.

*Atribuible al alumno:* Se incluyeron las frases en las que los profesores indican que las dificultades de aprendizaje se deben a las características del alumno y a su intención para aprender, por ejemplo: “Llegan con pocos conocimientos previos”, “Pasividad del alumno”. Es notable que los asistentes al taller AAEM responsabilicen poco al alumno de las dificultades de aprendizaje lo que sugiere mayor conciencia de la responsabilidad del docente al elegir las estrategias más adecuadas para dirigir los procesos de enseñanza y de aprendizaje. En la Figura 3 se observa que estos comentarios mostraron mayor frecuencia en los primeros dos días del taller, siendo prácticamente nulos en los dos temas tratados al final del taller.

*Atribuible a procedimientos:* Se incluyeron las frases en las que el aspecto procedimental ya sea con la matemática o la representación gráfica se indica como responsable de las dificultades de aprendizaje. Se encontraron comentarios como: “Uso de la regla de la mano derecha”, “Comprender el carácter vectorial de un fenómeno”. La mayor frecuencia de estas frases se reportaron en electromagnetismo tanto por la comprensión del comportamiento vectorial del fenómeno como por la aplicación de la regla de la mano derecha.

*Describe la preconcepción:* En esta categoría se agruparon los comentarios en los que sí se desarrolló el modelo alternativo que sostiene el alumno para determinados conceptos. Por ejemplo: “Creen que la corriente se gasta”, “Creen que existen dos tipos de cargas magnéticas como las eléctricas”. Este tipo de frases se encontró con mayor frecuencia en el tema de Circuitos Eléctricos como se aprecia en la Figura 3. Estos resultados concuerdan con algunos de los inventarios de preconcepciones disponibles en Internet en donde se destina mayor atención a los circuitos eléctricos y, tal como menciona Arons [12], poco a electricidad estática.



**FIGURA 3.** Frecuencia de las categorías de las dificultades de aprendizaje estudiantiles reportadas por los profesores para cada uno de los temas del taller.

## V. DISCUSIÓN

### A. Preconcepciones y áreas conceptuales del CSEM con más dificultades

Los ítems con puntuaciones inferiores a 50 (Ver Tabla III) sugieren que los profesores que asistieron al taller AAEM tienen dificultades conceptuales en esas áreas. Esto también sugiere que los profesores desconocen las preconcepciones que pueden tener sus alumnos al respecto. Maloney y colaboradores [5] detallan los problemas conceptuales asociados con las preguntas del CSEM lo que permite identificar las posibles creencias de los docentes y a partir de ellas observar si existe relación con las preconcepciones y las dificultades de aprendizaje de sus estudiantes.

Durante el primer día del taller en que se trabajó con Interacciones electrostáticas los profesores prácticamente no describieron dificultades de aprendizaje, no describieron modelos alternativos, tampoco dificultades procedimentales, únicamente enunciaron los temas en los que sus estudiantes muestran dificultades (Ver Figura 3).

Este resultado coincide con el hecho de que fue el área conceptual del CSEM en donde se registraron más ítems con puntajes inferiores a 50. Al respecto recordamos que Arons [12] afirma que como estudiante se tiene poco contacto con el fenómeno de electricidad estática y por ello puede ser un tema más difícil de aprender conceptualmente.

El tercer día las actividades de aprendizaje activo se enfocaron en el tópico de magnetismo. En este tema los profesores mostraron dificultades en menos ítems (Ver Tabla III) y aumentó la cantidad y detalle de las descripciones de las dificultades de aprendizaje de sus estudiantes (Ver Figura 3). Reportaron dificultades procedimentales y algunas preconcepciones lo que pudo haber influido en que disminuyera la enunciación de temas con dificultades.

Finalmente, el cuarto día se desarrollaron estrategias didácticas de aprendizaje activo para el tema de electromagnetismo. En este caso también fueron pocos los ítems con valores inferiores a 50 o con un valor inferior en el post test comparado con el pre test (Ver Tabla III). Los profesores reportaron muy pocas preconcepciones de sus estudiantes, pero se incrementó notablemente la enunciación de dificultades de aprendizaje asociadas con procedimientos (Ver Figura 3).

En los 12 ítems que se agregaron al CSEM sobre circuitos eléctricos solamente en dos de ellos se obtuvieron valores inferiores a 50 (Ver Tabla III). Fue notable la cantidad de preconcepciones reportadas por estos participantes, comparadas con las pocas preconcepciones que reportaron en los otros temas (Ver Figura 3). Este resultado sugiere que cuando los profesores están más conscientes de las preconcepciones y dificultades de aprendizaje que pueden tener sus alumnos prestan mayor atención a las posibles formas de confrontarlas.

Las preconcepciones y dificultades de aprendizaje que reportan los docentes reflejan de algún modo lo que consideran prioritario para el aprendizaje de sus estudiantes.

En la Tabla IV se muestran las principales dificultades de aprendizaje y preconcepciones que los profesores reportan que tienen sus estudiantes en algunas áreas conceptuales del CSEM modificado. Entre paréntesis se indica la categoría en que fue clasificada dicha dificultad de aprendizaje.

El análisis de ganancia mostró que el área en que se logró una mayor mejoría fue Circuitos Eléctricos, donde se obtuvo una ganancia normalizada de 0,54. Sobresale este resultado porque fue una de las dos áreas con valor más bajo en el pre test (63%). Este valor sugiere que las estrategias empleadas en el taller permitieron a los formadores de formadores mejorar su comprensión conceptual al confrontar sus propias dificultades conceptuales y preconcepciones. Este resultado



concuera con la experiencia reportada por Abbot y colaboradores [25] en la que se logró mejorar la comprensión conceptual del comportamiento de los circuitos eléctricos de corriente continua a través del uso de solo dos Tutoriales para Física Introductoria sobre circuitos eléctricos. Circuitos eléctricos, por otra parte, fue el área en donde los profesores lograron expresar una mayor cantidad de preconcepciones estudiantiles, lo que puede ser producto de haberlas encontrado descritas en libros de didáctica de las ciencias [8, 24] o en Internet.

**TABLA IV.** Dificultades de aprendizaje y preconcepciones de los estudiantes, reportadas por los formadores de formadores en algunas áreas del CSEM modificado.

<b>Área conceptual del CSEM</b>
Dificultades de aprendizaje y preconcepciones (categoría)
<b>Superposición de fuerzas y de campo eléctrico</b>
Campo eléctrico (Mención del tema)
Carácter vectorial del campo eléctrico (Asociado a procedimientos)
Los estudiantes tienen la idea de que un campo aísla del entorno (Preconcepción)
<b>Trabajo y energía potencial</b>
Potencial eléctrico (Mención del tema)
Teorema de trabajo y energía por el trabajo con vectores (Asociado a procedimientos)
<b>Fuerza magnética</b>
Campo magnético (Mención del tema)
Carácter vectorial y tridimensional del campo magnético (Asociado a procedimientos)
Creen que existen dos tipos de cargas magnéticas como las eléctricas (Preconcepción)
Creen que todos los metales son magnéticos (Preconcepción)
<b>Ley de Faraday</b>
Sentido de la corriente inducida (Asociado a procedimientos)
Regla de la mano derecha (Asociado a procedimientos)
Carácter vectorial del fenómeno (Asociado a procedimientos)
Creen que hay fem solo cuando cambia el campo magnético (Preconcepción)
<b>Circuitos eléctricos</b>
La corriente se gasta (Preconcepción)
La corriente eléctrica se comporta como el caudal de agua en una manguera (Preconcepción)
Ven los diagramas como una fotografía del circuito (Asociado a procedimientos)
Resistencia equivalente (Mención del tema)

La estrategia de aprendizaje activo utilizada en el taller que los profesores consideraron más efectiva para el tema de Circuitos eléctricos fue Física en Tiempo Real, seguida de Tutoriales para Física Introductoria.

La corta duración del taller y los valores de ganancia normalizados positivos que se obtuvieron, prácticamente en todas las áreas del CSEM, sugiere que la estructura del curso resultó útil también para incrementar el conocimiento disciplinar de estos profesores. Por otra parte, la reflexión continúa sobre las dificultades de aprendizaje de los estudiantes y discutir sobre la efectividad de las estrategias experimentadas pudo contribuir a mejorar su conocimiento pedagógico de contenido.

En la comparación de resultados por pregunta entre el pre test y el post test cabe mencionar que en el taller se proporcionaron actividades de las cuatro estrategias de aprendizaje activo sólo sobre algunos temas de electricidad y magnetismo, pero bajo ninguna circunstancia se pretendió cubrir todo el contenido conceptual del CSEM. Se hizo una combinación de las cuatro estrategias en cada uno de los temas. Se abordó un tema por día y en cada día se trabajaron las 4 estrategias para distintos contenidos temáticos.

En el tema de Interacciones eléctricas (ítems 1 a 20) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas y el valor de ganancia normalizada fue cero (Ver Tabla II). Al ser un tema más abstracto y complejo que Circuitos Eléctricos se puede inferir que la modificación de las preconcepciones requiera un tratamiento más extenso, algo que no es posible en un taller de tan corta duración. El área conceptual del test dedicada a Trabajo y energía potencial fue la que acumuló la mayor cantidad de preguntas con puntuaciones menores a 50 (ver Figura 2) y con resultados mayores en el pre test comparados con el post test (Ver Tabla III). Este resultado es preocupante pues es un área conceptual que se aborda en mecánica. Los profesores no lograron describir preconcepciones al respecto, reportando pocas dificultades procedimentales. Fue, además, prácticamente el único tópico donde responsabilizaron al alumno de las dificultades de aprendizaje. Gil y colaboradores [8] indican que las concepciones espontáneas del docente sobre el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias son las que los llevan a atribuir a las características del alumno las dificultades de aprendizaje.

En el tema de Ley de Faraday los profesores reportaron que la estrategia didáctica más útil para este tema fue Simulaciones seguida de Tutoriales para Física Introductoria. Fue también en este tópico en donde los profesores propusieron secuenciar las estrategias de aprendizaje activo para mejorar el aprendizaje. En cuanto a las dificultades de aprendizaje reportaron pocas preconcepciones y estas se enfocaron en la forma para producir fem tal como se menciona en la Tabla IV. Sin embargo, fue el tema en donde se reportó la mayor cantidad de dificultades procedimentales asociadas principalmente al carácter vectorial del fenómeno, como se observa en la Figura 3.

El panorama general de este estudio remarca la escasa y pobre descripción de preconcepciones y dificultades de aprendizaje de sus propios estudiantes que realizan estos formadores de formadores. El conocimiento profundo de estos obstáculos de aprendizaje se considera central para que los docentes puedan colaborar eficazmente en los aprendizajes de sus alumnos, lo que afirma la necesidad de mejorar el conocimiento pedagógico del contenido tal como propone Etkina [1].

Se considera también valioso que los participantes del taller reconocieran la utilidad de las evaluaciones conceptuales, como la realizada con el test CSEM utilizado en el taller, como una herramienta útil para indagar sobre las preconcepciones de sus estudiantes. Chrobak [7] propone

que esta medición sirva como base para desarrollar un plan de enseñanza que tenga en cuenta los conocimientos previos.

## VI. CONCLUSIONES

Uno de los objetivos de este trabajo fue diagnosticar el aprendizaje conceptual de electricidad y magnetismo de los formadores de formadores que asistieron al Taller AAeyM.

Empleando el CSEM modificado para la evaluación conceptual y aplicando análisis de ganancia normalizada se encontró que los profesores obtuvieron la mayor ganancia en el tema de Circuitos Eléctricos ( $g=0.54$ ) y que esto contribuyó a que la ganancia registrada al considerar el test en la versión de 44 preguntas fuera de un valor cercano  $g=0.22$ . Al hacer el análisis por áreas se detectó que los profesores mostraban dificultades en temas de trabajo y energía potencial, fuerza causada por un campo eléctrico, fuerza magnética, campo magnético causado por corrientes y Ley de Faraday. Estos resultados pretest/postest sugieren que en algunas áreas estos profesores mejoraron su entendimiento conceptual, lo que puede ayudar a que los profesores valoren las estrategias de aprendizaje activo y les ayude a iniciar un proceso de cambio en su práctica didáctica.

En relación al segundo objetivo los participantes mostraron un pobre conocimiento de las preconcepciones que tienen sus alumnos en los temas de electricidad y magnetismo, lo cual es considerado un obstáculo que puede dificultar la adopción y correcta aplicación de las estrategias de aprendizaje activo propuestas en el taller. En el mismo sentido, es preocupante que el profesor desconozca que él mismo sostiene preconcepciones que necesitan ser confrontadas. Si las preconcepciones de los formadores de formadores no son confrontadas estas pueden trasladarse a sus alumnos al darse por válidas en la instrucción en clase.

Este aspecto tiene relación con el tercer objetivo propuesto ya que las preconcepciones que los profesores sostienen en diversas áreas del CSEM modificado pueden ser la causa de sus dificultades para expresar las dificultades de aprendizaje y preconcepciones de sus propios alumnos.

Al respecto encontramos que, aunque en la reflexión de las dificultades de sus estudiantes la mayoría de comentarios fue de forma enunciativa, sin una descripción detallada de los modelos alternativos que sostienen, la Figura 3 parece sugerir que las estrategias de aprendizaje activo desarrolladas en el taller AAeyM contribuyeron a una mejoría en dichas descripciones.

Como reflexión final se puede decir que los datos obtenidos en esta investigación muestran que las estrategias de aprendizaje activo empleadas en el taller AAeyM contribuyeron a promover la reflexión, confrontar las preconcepciones de los docentes y a mejorar tanto el conocimiento disciplinar como el conocimiento pedagógico del contenido.

## AGRADECIMIENTOS

Silvia Tecpan y Genaro Zavala agradecen a la cátedra de Enseñanza de la Física del Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey a través de la cuenta 0020CAT140.

Julio Benegas agradece al Ministerio de Educación de la Nación Argentina y a la Universidad Nacional de San Luis por el importante apoyo otorgado para la realización de los Talleres de Aprendizaje Activo descritos en este trabajo

## REFERENCIAS

- [1] Etkina, E., Pedagogical content knowledge and preparation of high school physics teachers, In: Meltzer, E. & Shaffer, P. (Eds.), *Teacher education in Physics. Research, curriculum, and practice*, (APS, College Park, 2010).
- [2] Meltzer, D. & Thornton, R., *Resource letter ALIP-1: Active-learning instruction in Physics*, American Journal of Physics **80**, 478-496 (2012).
- [3] Zavala, G., Alarcon, H. & Benegas, J., *Innovative training of in service-teachers for active learning: A short teacher development course based on physics education research*, Journal of Science Teacher Education **18**, 559-572 (2007).
- [4] Benegas, J., Zavala, G., Gangoso, Z., Gattoni, A. & Truyol, M. E., *Reporte del 3er Taller Regional del Cono Sur sobre aprendizaje activo: Electricidad y Magnetismo (AAeyM-Córdoba 2010) y la 3ra. Conferencia regional del Cono Sur sobre aprendizaje activo de la Física (CRAAF-3)*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **3**, 776-780 (2010).
- [5] Maloney, D., O'Kuma, T., Hieggelke, C. & Van Heuvelen, A., *Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism*, Phys. Educ. Res. Am. J. Phys. Suppl. **69**, S12-S23 (2001).
- [6] Gunstone, R., The education of teachers of physics: Contents plus pedagogy plus reflective practice, In: Pinto, R. & Surinach, S. (Eds.), *Physics teacher education beyond 2000*, (Elsevier, Paris, 2001).
- [7] Chrobak, R., *Volver a aprender el derecho a enseñar. Metodologías de enseñanza de las ciencias*, (EDUCO, Neuquén, 2010).
- [8] Gil, D., Carrascosa, J., Furió, C. & Martínez-Torregrosa, J., *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*, (Horsori, Barcelona, 2002).
- [9] Anderson, L., Inquiry as an organizing theme for science curricula, In: Abell, S. & Lederman, N. (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*, (Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, 2007).
- [10] Ding, L., Chabay, R., Sherwood, B. & Beichner, R., *Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: Brief electricity and magnetism assessment*, Physical Review Special Topics **2**, 010105 (2006).
- [11] Zavala, G. & Alarcon, H., *Evaluation of instruction using the conceptual survey on electricity and magnetism in Mexico*, AIP Conf. Proc. **1064**, (American Institute of Physics, Edmonton, 2008).

- [12] Arons, A., *Teaching Introductory Physics*, (Wiley, New York, 1997).
- [13] Gallegos, L. & Flores-Camacho, F., Concepciones, cambio conceptual, modelos de representación e historia y filosofía en la enseñanza de la ciencia, In: López y Mota, A. (Ed.), *Saberes Científicos, Humanísticos y Tecnológicos* (Consejo Mexicano de Investigación Educativa, México, 2002).
- [14] Sokoloff, D. S., Thornton, R. K. & Laws, P., *Real time physics*, (Wiley, New York, 2004).
- [15] Sokoloff, D. S. & Thornton, R. K., *Interactive Lecture Demonstrations*, (Wiley, New York, 2004).
- [16] McDermott, L. C. & Shaffer, P. S., *Tutoriales para Física Introductoria*, (Prentice Hall, Buenos Aires, 2001).
- [18] Benítez, Y. & Mora, C., *Enseñanza tradicional vs. Aprendizaje activo para alumnos de ingeniería*, *Revista Cubana de Física* **27**, 175-179 (2010).
- [19] Hake, R., *Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses*, *Am. J. Phys.* **66**, 64-74 (1998).
- [20] Coletta, V., Phillips, J. & Steinert, J., *Why you should measure your student's reasoning ability*, *The Physics Teacher* **45**, 235-238 (2007).
- [21] Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P., *Metodología de la investigación*, 4a. Ed., (Mc Graw Hill, México, 2006).
- [22] Sheskin, D., *Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures*, 4a Ed., (Chapman & Hall/CRC, New York, 2007).
- [23] Giroux, S. & Tremblay, G., *Metodología de las ciencias humanas*, (Fondo de Cultura Económica, México, 2004).
- [24] Jiménez-Aleixandre, M., Caamaño, A., Oñorbe, E., Pedrinaci, A. & de Pro, A., *Enseñar ciencias*, (Grao, España, 2003).
- [25] Abbot, D., Saul, J., Parker, G. & Beichner, R., *Can one lab make a difference?* *Phys. Educ. Res. Am. J. Phys. Sppl.* **68**, S60-S61 (2000).