

Modelos erróneos sobre la comprensión del campo eléctrico en estudiantes universitarios



M. Sandoval^{1,2} y César Mora²

¹Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco. Carr. Vecinal Comalcalco-Paraíso, Km. 2, R/a Occidente 3ra Sec. C.P. 86500. Comalcalco, Tabasco, México.

²Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Av. Legaria 694, Col. Irrigación, C. P. 11500, México D. F.

E-mail: sandovalmm@mail.itsc.edu.mx, cmoral@ipn.mx

(Recibido el 20 de Mayo de 2009; aceptado el 1 de Agosto de 2009)

Resumen

Se exhiben los resultados de una investigación realizada sobre los errores conceptuales, que tienen los estudiantes de nivel superior, acerca de la comprensión del concepto de campo eléctrico y su relación con las cargas eléctricas y la ley de la conservación de la energía eléctrica. Se presenta una propuesta didáctica basada en la historia de la ciencia para tratar de mejorar la comprensión de estos temas en dichos estudiantes; tal propuesta se apoya en una técnica socio-constructivista llamada jigsaw para discutir los temas históricos mencionados. Se comentan las ventajas de esta técnica al emplearla en el grupo experimental, observándose una mayor participación de los estudiantes en el desarrollo de los textos analizados, así como un ligero aumento en la media de los aciertos obtenidos del pos-test comparado con los resultados del grupo de control.

Palabras clave: Historia de la ciencia, Enseñanza del campo eléctrico, Técnica jigsaw.

Abstract

We show results of research about misconceptions, in university students, about electric field concepts and its influence among electric charges and electric energy conservation. Exhibit a didactic proposal based on history science in order to improve this topic in those students; this proposed rest in a technical socio-constructivist called Jigsaw, primarily history of charges concept and history of lines force. We show some advantage over traditional teaching, we can observe a better attitude among students in experimental group at moment of solve problem and study history text, so there is little grow in score of post test compared with control group.

Keywords: History Science, Teaching electric field, Jigsaw Technique.

PACS: 01.40.gb, 01.40.-d,

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Los estudios realizados dentro del área de electricidad y magnetismo en el contexto de la física educativa han sido muy pocos [1], sin embargo muchos de ellos han mostrado la imperiosa necesidad de realizar una mayor cantidad de investigación al respecto para que los estudiantes, en los distintos niveles educativos, obtengan una mejor formación científica. Se debe hacer notar que en tal área los conceptos previos que tienen respecto a las interacciones entre las cargas son erróneos ya que consideran un modelo newtoniano y no maxwelliano. Algunos estudios se han realizado sobre las dificultades de los estudiantes para interpretar fenómenos electrostáticos básicos, como la electrización por frotamiento, la atracción de trozos de papel por un cuerpo cargado, etc. [2], donde se hace mención de esta problemática.

A menudo, los temas de electricidad y magnetismo (en nivel superior) se imparten en el segundo o tercer semestre

de la licenciatura que estudian, después de haber cursado los temas previos de mecánica newtoniana. No obstante algunos estudiantes (a pesar de obtener buenos resultados en el curso anterior) presentan serias dificultades en estos nuevos temas y les resulta muy confuso comprender las interacciones entre las cargas, en este estadio los estudiantes de repente se enfrentan por primera vez con un nivel de abstracción y complejidad matemática que va más allá de sus experiencias en mecánica [3], dentro de las cuales podemos mencionar las integrales de línea, de superficie y el operador gradiente, así como conceptos inusuales como las curvas de nivel, el flujo eléctrico, el campo eléctrico, densidad de corriente, entre otras; considerando también que en los institutos tecnológicos descentralizados los estudiantes cursan las materias relacionadas con estos tópicos al mismo tiempo que el curso de electricidad y magnetismo, conllevando esto a que las herramientas necesarias para la solución de estos problemas no las tengan comprendidas en su totalidad al momento de tratar dichos temas electrostáticos. En el

concepto de campo eléctrico la situación es complicada, ya que éste se introduce durante las primeras semanas de la instrucción siendo uno de los principales conceptos abstractos a los que se enfrentan los estudiantes. Los trabajos de Furió y Guisasola [4], indican que las dificultades de aprendizaje (en bachillerato) están centradas principalmente en los circuitos de corriente continua sin relacionarlas con los conceptos de electrostática y mucho menos con el campo eléctrico o el potencial eléctrico, en este estadio el razonamiento de los estudiantes consiste únicamente en el uso de “recetas” para solucionar un problema dado. Desde luego que en el nivel superior el razonamiento lógico debe tener una madurez mayor para comprender estas abstracciones sin tantas complicaciones, sin embargo los distintos niveles académicos, así como las carencias matemáticas que persisten en ellos, hacen más difícil esta tarea. En la siguiente sección se describe la metodología utilizada para el desarrollo de este trabajo, la forma de impartir las clases se describen en la sección III, el análisis de los resultados tanto del pre-test como del post- test se detallan en la sección IV y las conclusiones se presentan en la sección V.

II. METODOLOGÍA

A Descripción del método utilizado

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó el test Conceptual Survey in Electricity elaborado por Maloney en 1999 [5]. El pre-test se aplicó antes de iniciar las clases para obtener información acerca de algunas de las ideas que tienen los estudiantes sobre la forma en la cual interaccionan las cargas eléctricas entre sí. El post-test se aplicó una semana después de cubrir los conceptos antes citados en sus respectivos salones de clases, tomando en cuenta que para el grupo de control se aplicó la enseñanza tradicional y para el experimental se utilizó la historia de la ciencia como apoyo para la enseñanza, por lo cual se prepararon dos lecturas (una sobre cargas eléctricas y la segunda sobre campo eléctrico) que se utilizaron como material extra en el desarrollo de las clases. Lo anterior se realizó durante el periodo Agosto-Noviembre de 2008, en las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco, en Comalcalco, Tabasco, México.

El índice de dificultad según Doran [6], se obtiene como:

$$Id=R/N \quad (2.1)$$

donde Id representa el índice de dificultad, R el número de respuestas correctas, y N el número total de estudiantes de la muestra. La tabla I representa una manera de clasificarlo.

TABLA I. Clasificación del índice de dificultad.

Índice de Dificultad	Evaluación
0.85 a 1.00	Muy fácil
0.60 a 0.85	Moderadamente fácil
0.35 a 0.60	Moderadamente difícil
0.00 a 0.35	Muy difícil

Esta definición ha sido utilizada por algunos investigadores para evaluar (cuantificar) la dificultad que tiene una pregunta (o problema) para los estudiantes [1, 7]. Por otro lado, empleando las ideas de Lei Bao [8], podemos definir el porcentaje de distribución de las respuestas mediante la siguiente expresión:

$$PD = \text{No. de respuestas} / \text{No. de población}, \quad (2)$$

y utilizar las siguientes categorías

- ✓ Un modelo: La mayor parte de las respuestas se concentran en una opción.
- ✓ Dos modelos: La mayor parte de las respuestas se concentran en dos opciones.
- ✓ Ningún modelo: Las respuestas están eventualmente distribuidas en tres o más respuestas.

B. Muestreo del estudio

La población en estudio tienen entre 19-23 años de edad, correspondiendo al tercer semestre de las carreras de ingeniería en sistemas computacionales (3 grupos) e ingeniería mecatrónica (1 grupo) y consta de 127 alumnos; esta población se dividió en dos grupos; el de control y el experimental de 94 y 33 estudiantes respectivamente, escogiéndose de manera aleatoria al 3B de la carrera de ingeniería en sistemas computacionales como el grupo experimental.

C. Colección de datos

La colección de datos obtenidos del pre-test se muestran en la tabla II, en la cual se muestra la media aritmética para cada grupo observándose que el grupo experimental tiene una media baja, esto indica que las ideas previas de los estudiantes de este grupo son muy pobres o alejadas de la realidad científica, por lo que uno de los objetivos en esta investigación es aplicar una estrategia basada en la elaboración de notas referentes a la evolución de los conceptos de carga eléctrica y campo eléctrico, para tratar de elevar el porcentaje de los aciertos obtenidos por dichos estudiantes en esta primera fase.

D. Descripción del test

El pre y post-test aplicado consta de 8 preguntas (relacionadas exclusivamente con el concepto de campo eléctrico) con 5 opciones diferentes, las cuales se obtuvieron del test Conceptual Survey in Electricity elaborado por Maloney *et al.* en 1999 [5] el cual consta de 32 preguntas sobre electricidad, excluyéndose los circuitos eléctricos. De esta encuesta se utilizaron las preguntas 11, 12, 14, 15, 16, 22, 23 y 25 cuyo contenido se refiere a la interacción entre cargas eléctricas (ley de Coulomb y campo eléctrico) así como las variaciones que sufre la energía eléctrica y potencial, para conservar la energía total del sistema.

E. Metodología de la instrucción

El pre-test se aplicó durante la primera semana de Agosto de 2008 antes de recibir las primeras clases en el aula, esto con la finalidad de obtener información sobre los modelos previos de los estudiantes sobre los conceptos arriba mencionados.

Durante el desarrollo de las clases en el aula, en los grupos de control se utilizó la metodología de enseñanza tradicional siguiendo la secuencia propuesta en el libro de texto Física Vol. II cuyo autor es Serway [9]. En el grupo experimental, se utilizó el mismo libro de texto y, como complemento, a la historia de la ciencia como metodología de apoyo con el fin de profundizar en conceptos fundamentales como la carga eléctrica, fuerza entre las cargas y el campo eléctrico, así como su influencia sobre las mismas.

F. La historia de la ciencia en la enseñanza del concepto de carga eléctrica

De acuerdo al objetivo planteado en este trabajo se prepararon dos textos didácticos para la comprensión del concepto de carga eléctrica y del campo eléctrico haciendo énfasis en el desarrollo histórico científico de los mismos. La principal intención es mejorar la media obtenida en el pretest de los grupos en estudio, ver tabla II.

TABLA II. Resultados del pre test.

Grupo	Media
Control	2.07
Experimental	1.8435

Para el grupo experimental se diseñó una lectura de 4 cuartillas en las que se muestra la forma en la cual evolucionó el concepto de carga eléctrica a través de los años desde cómo lo percibían los primeros investigadores hasta la forma actual del mismo [2]. Se analizaron 4 subtemas, los cuales se ordenaron como sigue:

- Los efluvios eléctricos de Gilbert (con sus experimentos se pudo clasificar a los materiales en eléctricos y no eléctricos)
- La atmósfera de los eléctricos de Stephen Gray, con la que surge una nueva clasificación de la materia; en conductores y aislantes.
- Los estudios de Benjamín Franklin, que condujeron a la ley de la conservación de la carga.
- Los experimentos de Aepinus, quien propuso una teoría puramente newtoniana y asumía que la fuerza entre las cargas dependía de la distancia entre ellas. Lo cual fue el preámbulo para la ley de Coulomb.

Dentro de este contexto se realizaron breves debates entre los participantes para aumentar la dinámica de participación entre ellos, siendo el instructor el responsable de preparar las preguntas adecuadas y corregir o reafirmar las respuestas obtenidas por el grupo.

G. La historia de la ciencia en la enseñanza del concepto de campo eléctrico

El segundo texto incluye, de manera semejante al primero, el desarrolló histórico del concepto de campo eléctrico propuesto por Faraday así como sus características más importantes y sus efectos sobre las cargas eléctricas [10, 11]; se hace hincapié en que el responsable de la interacción entre las cargas es este campo y, aunque se visualiza mediante líneas de fuerza (flujo), no se considera que se encuentre en movimiento (electrostática). Este texto consta de 3 cuartillas, las cuales se examinaron con la metodología anterior, incluyendo el análisis del texto y los debates entre los estudiantes.

Los subtemas tratados fueron:

- La propuesta de Faraday y la teoría electromagnética de Maxwell.
- El concepto de flujo eléctrico
- Las líneas de fuerza.

Paralelo a estas actividades, la solución de problemas se realizó en el aula de clases casi de la misma manera para ambos grupos (control y experimental) con la diferencia que en el experimental los problemas se analizaron con mayor profundidad que en el grupo de control, tomando en cuenta el desarrollo conceptual de las actividades anteriores.

H. La técnica Jigsaw

Para el desarrollo de las actividades antes dichas, se utilizó la técnica Jigsaw, desarrollada por Aronson en 1976 [12], para el estudio de los dos textos históricos involucrados. Esta técnica resulta ser de gran eficacia para cubrir ciertos temas extensos; consiste en dividir al grupo en equipos de cinco o seis personas (llamados grupos Jigsaw) y en esa misma cantidad se divide el tema de estudio. Cada integrante de este equipo recibirá una y solo una sección, la cual estudiarán en un lapso de 10 minutos aproximadamente (esto dependerá de lo extenso de la sección), posteriormente se formará otro grupo que estará formado por los estudiantes que tengan la misma sección (llamado grupo de expertos). Dichos grupos estudiarán sus respectivas secciones en un tiempo estimado de 20-30 minutos durante el cual deberán proponer una estrategia para exponerle a sus compañeros del grupo jigsaw lo que comprendieron del texto y deberán elaborar un ensayo de los conceptos analizados. Transcurrido este intervalo de tiempo, los estudiantes regresan a sus grupos jigsaw donde cada uno de ellos expondrá lo estudiado en el grupo de expertos iniciando los de la sección 1, seguido del que tenga la sección 2 y así sucesivamente; de esta manera todos los alumnos están obligados a participar en los debates grupales, en este grupo se les solicita entregar un ensayo del texto completo en el que deberán incluir los puntos más importantes del mismo.

La técnica jigsaw es muy simple de aplicar en materias como las ciencias sociales y humanidades, biología, historia, etc. Sin embargo, también puede aplicarse en las ciencias físicas, por ejemplo Tanel y Erol [13] han

realizado estudios relacionados con el concepto de campo magnético empleando esta técnica y hacen hincapié en las ventajas que tiene con respecto a la metodología de enseñanza tradicional.

I. Diseño de hipótesis

Deseamos saber si en promedio el número de aciertos en los estudiantes del grupo experimental es mayor que en el grupo de control y se realizará un análisis estadístico a un nivel de confianza $\alpha = 5\%$ para comparar ambos grupos, tanto en el pre como en el post-test.

J. Secuencia de la enseñanza

El programa de enseñanza está basado en el libro de texto Física Volumen II de Serway [8], cuyo contenido consiste en los siguientes temas:

1. Campos eléctricos
 - a. Propiedades de las cargas
 - b. Ley de Coulomb
 - c. El campo eléctrico
 - d. Líneas de campo
 - e. Movimiento de partículas en un campo eléctrico
2. Ley de Gauss
 - a. Flujo eléctrico
 - b. Ley de Gauss
 - c. Aplicaciones en distribuciones de cargas simétricas.

Aunque los temas referidos a potencial eléctrico, circuitos eléctricos y campo magnético se analizan dentro del programa de la materia Electricidad y Magnetismo, no se tomaron en cuenta para la aplicación del post-test ya que no es parte del objetivo de esta investigación.

Es importante señalar que la comprensión del concepto de campo eléctrico es muy complicada para los estudiantes debido a que los libros de texto no hacen mención de la forma en que se produce el campo eléctrico debido a las cargas [11], es decir es un concepto sumamente abstracto, prácticamente lo aceptamos como una especie de axioma. Una diferencia importante con respecto al campo magnético es que éste se puede explicar por medio de dipolos magnéticos (imanes naturales) o utilizando un modelo atómico por medio del cual se puede estimar el momento magnético de una barra magnética, de igual forma los estudiantes pueden comprender que un campo magnético puede generarse por el movimiento de cargas en un conductor [14, 15]. Esta situación no se puede aplicar de manera directa y sencilla en los estudiantes para el caso del campo eléctrico, ya que no es algo con lo hayan interactuado de manera directa durante su vida cotidiana. Una propuesta interesante en la reestructura de la secuencia de enseñanza, para mejorar el nivel de comprensión de estos temas, fue propuesto por Chabay y Sherwood [16], en donde mencionan las dificultades didácticas para la enseñanza de los temas eléctricos y magnéticos al impartir la instrucción siguiendo el temario del libro de texto que se utilice, tal y como allí se menciona.

III. LA ENSEÑANZA EN LOS GRUPOS DE ESTUDIO

La implementación de la estrategia propuesta se llevó a cabo durante 6 semanas de trabajo (septiembre – octubre de 2008), donde se utilizaron las lecturas conceptuales elaboradas previamente y la solución de problemas, del libro de texto, frente a pizarrón, los cuales se analizaron con mayor detenimiento en este grupo que en el de control.

A. El grupo experimental

- 1) La formación de los equipos jigsaw se realiza en un tiempo aproximado de 5 minutos y se hace circular los temas seccionados a cada integrante del grupo.
- 2) La lectura de su respectiva sección se realiza en 10 minutos para que cada alumno tenga una primera idea del contenido.
- 3) Los grupos de expertos se forman en un lapso de 5 minutos, éste tendrá un mayor número de integrantes por lo que deberán elegir un líder que los coordine.
- 4) En esta etapa se otorgan entre 20 y 30 minutos para estudiar en conjunto la sección correspondiente y propondrán una estrategia para exponer sus conclusiones en el grupo jigsaw.
- 5) El retorno a los grupos jigsaw deberá tomar máximo 5 minutos y una vez formados tendrán 20 minutos (aproximadamente) para que cada integrante realice su exposición.
- 6) La última parte consiste en redactar un ensayo final de todo el texto y se les otorga unos 10 o 15 minutos para realizarlos.

En esta estrategia los estudiantes participan activamente en los debates tanto de los grupos jigsaw como del grupo de expertos, esto permite que el grupo en general mantenga una competencia sana que le permita estar deseoso de mejorar su rendimiento académico; si un estudiante no realiza bien su trabajo se dará cuenta que podrá perjudicar a su grupo jigsaw y como consecuencia su nivel de aprendizaje. Cabe mencionar que para lograr una mayor eficiencia en la comprensión de las lecturas, estas actividades se deben desarrollar en dos sesiones.

B. El grupo de control

Durante estas sesiones los estudiantes permanecen receptores a las instrucciones del maestro, el ambiente es menos dinámico ya que solo elaboran sus notas en función de los temas analizados en clases y de los problemas resueltos del libro de texto. De igual forma, las dudas de algunos de los estudiantes se resolvían de forma oral o con algunos esquemas en el pizarrón.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS: RESULTADOS DEL PRE-TEST

En esta sección se analizan los resultados obtenidos tanto del pre-test como del post-test en ambos grupos de estudio y se hace mención sobre los tipos de modelos conceptuales previos y posteriores a la instrucción.

A. Ideas entre el campo eléctrico y fuerza eléctrica

Los resultados del pre-test (tabla III) indican que los estudiantes, tanto del grupo experimental como del grupo de control, tienen ciertas carencias para realizar un estudio cualitativo de un problema determinado. Por ejemplo, el 35% (17% del experimental) de los estudiantes de la muestra del grupo de control requieren del valor numérico de las cargas para deducir el resultado (Pregunta 1). Sin embargo, tienen la clara idea de que un campo eléctrico uniforme puede ejercer una fuerza constante a través de toda la región del campo. La tabla III, muestra la distribución de las opciones tomadas por los estudiantes con respecto al siguiente cuestionamiento: *¿cómo debe ser la fuerza ejercida por un campo eléctrico uniforme sobre una partícula cargada?* (pregunta 4) los datos indican que ambos grupo presentan un solo modelo conceptual (correcto) centrado en el d) y en el cual señalan que tal fuerza debe ser uniforme a lo largo de toda la región. Tomando en cuenta el índice de dificultad para el grupo de control fue moderadamente fácil y para el experimental moderadamente difícil.

Se puede anexar el hecho de que los estudiantes de ambos grupos reconocen que para que se produzca una fuerza debida a un campo eléctrico solo se requiere de la presencia del mismo y la existencia de una partícula (Pregunta 7); este modelo lo presenta sólo el 26.66 % del grupo experimental y el 28 % del grupo de control.

TABLA III. Distribución porcentual de las opciones de los estudiantes.

GE (%)	Id	GC(%)	Id
15.5556		13	
4.4444		2	
8.8889		9	
42.2222	Mod.Dif	65	Mod.Fácil
6.6667		9	

B. Ideas de los efectos del campo eléctrico sobre una partícula cargada

Se les cuestionó acerca de los efectos del campo eléctrico sobre una partícula cargada que se libera desde el reposo (pregunta 2), ante esta cuestión solo el 17% del grupo experimental respondió de manera correcta y sus opciones muestran dos modelos; en uno de ellos (28%) consideran que la partícula se moverá a través del campo con velocidad constante, el otro corresponde a la respuesta correcta, es decir se moverá con aceleración constante. El grupo de control no presenta un modelo claro acerca de esta situación, respondiendo correctamente el 21% de la

muestra, sin embargo un 29% considera que la partícula no se pondrá en movimiento.

Otra problemática que surge es debido a que los estudiantes tienen ideas muy equivocadas sobre la relación que existe entre la dirección del campo eléctrico y la fuerza eléctrica ejercida sobre una partícula cargada, en otras palabras no toman en cuenta el tipo de carga (positiva o negativa) que se va a emplear y en su mayoría piensan que ésta se moverá siempre en la dirección que tenga el campo (pregunta 5).

C. Sobre la generación del campo eléctrico

Las ideas de los estudiantes sobre la forma en la que se puede generar un campo eléctrico tienden a ser muy equivocadas e incluso algunas las relacionan con el uso de imanes en reposo (pregunta 8). Exhiben dos tipos de modelos en el cual el 26% del grupo experimental considera que un campo eléctrico uniforme se puede formar utilizando dos polos magnéticos muy largos, el otro modelo indica que el 22% del grupo piensa que se puede formar utilizando dos barras paralelas muy largas; el 34% del grupo de control piensa que el campo se puede formar por medio de imanes (primer modelo) y un 26% considera que se puede formar utilizando dos o tres cargas puntuales. De la figura 1, se puede observar que la respuesta correcta obtuvo la concentración de respuestas más baja en ambos grupos de estudio.

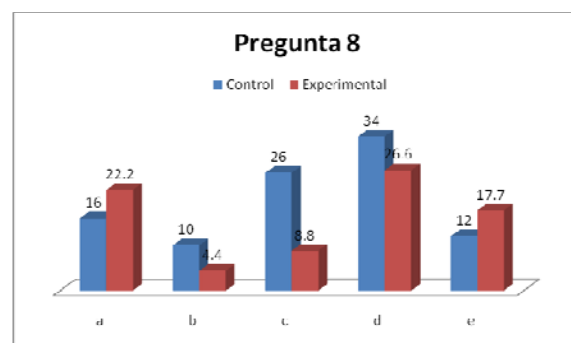


FIGURA 1. Distribución de las respuestas de los grupos de control y experimental para la pregunta 8. Se muestran dos modelos conceptuales incorrectos.

Un detalle a considerar es que el grupo de control siempre escogió la opción correcta en un porcentaje mayor que el grupo experimental; cabe considerar que sólo en la última pregunta las mujeres alcanzaron un porcentaje correcto mayor al de los hombres.

D. Resultados del pos-test

Después de finalizar los temas referidos al campo eléctrico, se aplicó por segunda ocasión el test ECS con la finalidad de examinar las nuevas ideas de los estudiantes con respecto a este tema y determinar si por medio de las nuevas instrucciones mejoraron sus modelos conceptuales; haciendo comparaciones entre los dos grupos de estudio.

Los datos obtenidos indican que, para la pregunta 1, el porcentaje de estudiantes con la opción correcta aumentó aproximadamente un 6% en el grupo experimental, sin embargo sus modelos conceptuales cambiaron de manera considerable ya que en el pre-test el modelo que prevalecía indicaba que el campo eléctrico podría incrementar y después de la instrucción su modelo cambió a uno en el cual piensa que no ocurre nada. En el grupo de control la respuesta correcta aumentó solo un 3%, comparado con la prueba anterior presentándose dos modelos conceptuales; de considerar que no se puede dar una respuesta intuitiva cambió a considerar que la intensidad del campo podría decrecer por ser la carga de prueba negativa. En el análisis referido a la pregunta 4, el grupo experimental acertó en un 50% contra un 43.6 % del grupo de control. Al comparar con los datos del pre-test se muestra un aumento en los aciertos del grupo experimental (8%) y el nivel de dificultad indica que es moderadamente fácil pero, en el grupo de control se manifiesta un retroceso del 22%. En ambos casos se muestra un solo modelo, el cual es correcto.

Los nuevos datos de la pregunta 8, muestran la existencia de dos modelos conceptuales en ambos grupos, siendo el de control el más acertado y en el grupo experimental aparece un retroceso del 9% en la respuesta correcta. Es necesario indicar que en este aspecto el grupo de control exhibe una mayor comprensión de la problemática ya que en los datos del pre-test no mostraban un modelo conceptual en particular y en este nuevo intento aparecen dos modelos establecidos, siendo uno de ellos el correcto.

Las nuevas ideas que muestran los estudiantes al cuestionarles sobre la evolución de una partícula cargada dentro de un campo uniforme (pregunta 2), el grupo experimental presenta dos modelos (siendo uno correcto) con un mayor porcentaje de aciertos (29.41%) que el de control (15.95%), además este último sigue sin mostrar un modelo claro.

Para la pregunta 3 y 6, el grupo experimental tiene un aumento considerable en sus aciertos y el grupo de control prácticamente permanece igual en la distribución de sus respuestas. Esto indica que ambos grupos siguen sin comprender las ideas conceptuales de la ley de la conservación de la energía eléctrica y no conciben el hecho de que el campo eléctrico conlleva una energía implícita que debe conservarse.

Por otro lado, los resultados de la pregunta 7 (ver Figura 2) revelan en el grupo experimental que se tienen dos modelos (muy semejantes entre sí), en el cual se puede observar que el 35.2% tienen la idea de que se requiere una partícula en movimiento para que se manifieste una fuerza eléctrica sobre ella y otro 35.2% considera que solo es necesario la existencia del campo eléctrico pero no consideran la presencia de una carga dada, lo que vale recalcar aquí es que el porcentaje de las respuestas correctas tuvo un incremento del 31%; por otro lado, el grupo de control aumenta tal porcentaje sólo en un 5% y muestra dos modelos conceptuales incorrectos muy semejantes a los del grupo experimental.

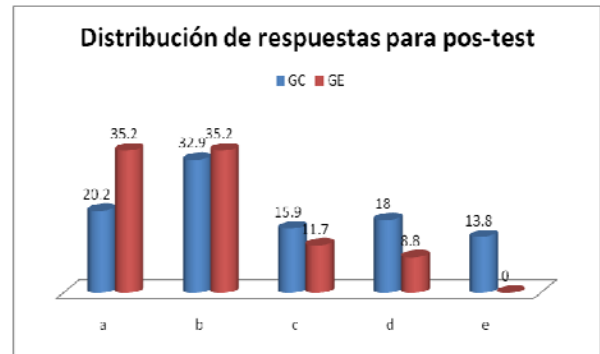


FIGURA 2. Distribución de respuestas para los grupos de control y experimental de la pregunta 7. Se exhiben dos modelos conceptuales centrados en las opciones a y b.

Los modelos respecto a la forma en la cual se puede generar un campo eléctrico uniforme cambian de manera considerable en el grupo experimental, en el pre-test se tenían dos modelos incorrectos en el cual consideraban que el campo se podía generar por dos barras de cargas opuestas o bien por medio de dos polos magnéticos en reposo.

TABLA IV. Distribución porcentual de las respuestas de los estudiantes. La pregunta es muy difícil para ellos.

GE	Id	GC
8.8235		18.0851
14.7059	Muy. Dif.	10.6383
23.5294		29.7872
29.4118		20.2128
14.7059		13.8298

Los datos obtenidos del postest (Tabla IV) indican que permanecen (otra vez) dos modelos, sin embargo ahora tienen la idea de que se puede formar por dos o tres cargas eléctricas o por los polos magnéticos, por último el porcentaje de aciertos aumentó un 10%. El grupo de control sigue sin tener un modelo definido y sus opciones prácticamente permanecen igual que en el pre-test.

E. Ganancia normalizada

El cálculo para la ganancia normalizada se realizó mediante la siguiente expresión, propuesta por Doran [6]:

$$G = (\text{postS} - \text{preS}) / (\text{MPS} - \text{preS})$$

donde

- posts = score del postest
- preS = score del pretest
- MPS = máximo score posible

Mediante esta expresión la ganancia normalizada para ambos grupos se muestra en la tabla V, de lo cual se puede observar que existe una diferencia de cuatro puntos porcentuales favorables al grupo experimental. Si bien es cierto que esta diferencia no es muy grande, esto nos

proporciona un indicio de las posibles ventajas de la metodología utilizada comparada con la enseñanza tradicional.

TABLA V. Comparación de la ganancia normalizada entre los grupo de estudio.

Grupo	Ganancia normalizada
Control	13%
Experimental	17%

V. CONCLUSIONES

Después de la instrucción siguen prevaleciendo algunos modelos conceptuales erróneos en ambos grupos, notándose un aumento (superior al grupo de control) considerable en el número de aciertos por parte de los estudiantes del grupo experimental. Sin embargo, prevalecen las ideas en las cuales los estudiantes consideran que no pasa nada en una distribución de cargas al acercarse a sus vecindades o bien que no pueden dar una respuesta intuitiva si no se conocen los valores numéricos de las mismas. No obstante, exhiben un modelo acertado al considerar que la relación entre el campo eléctrico y la fuerza que ésta ejerce sobre una partícula se produce de manera proporcional a la carga; consideran también que el campo tiene la capacidad para acelerar una partícula, aun estando en reposo pero, consideran a su vez que la partícula se mueve en la dirección dada por el campo y no toman en cuenta el tipo de carga (positiva o negativa) que se introduce en el mismo.

Los modelos conceptuales referidos a la conservación de la energía siguen siendo erróneos en estos estudiantes. La mayoría de ellos (tanto en el grupo de control como en el experimental) no han alcanzado a comprender el verdadero significado de la ley de la conservación de la energía. Muchos de ellos consideran que la energía potencial eléctrica de una partícula permanecerá constante porque el campo eléctrico es constante y no consideran que debe existir un cambio en ella para que la energía total se conserve. Esto puede ser porque en los cursos de mecánica newtoniana los estudiantes no alcanzan a analizar estos temas tan importantes durante un curso normal, además no está considerado de manera explícita dentro del contenido del curso de electricidad y magnetismo.

Se debe hacer notar que después de la instrucción los estudiantes del grupo experimental obtuvieron un mayor número de aciertos que el grupo de control y en este sentido la media aritmética muestra una pequeña diferencia (favorable) al experimental. En la tabla VI, se muestran estos datos y aun cuando esta diferencia no es del todo significativa sí nos indica que se manifiestan ciertas ventajas en el aprendizaje conceptual de los estudiantes del grupo experimental respecto al de control.

TABLA VI. Resultados del pos-test para ambos grupos.

Grupo	Media	D. Estandar
Control	3.021	1.6654
Experimental	3.088	1.4382

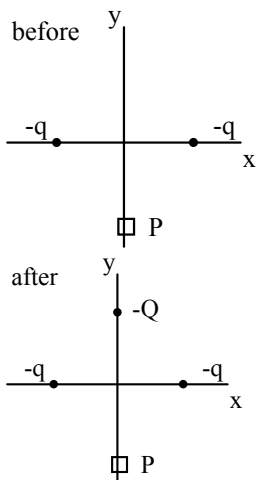
Esto valores, junto con los cálculos de la ganancia normalizada, nos proporcionan una pauta positiva para continuar mejorando esta técnica de enseñanza, basada en la historia de la ciencia, para la enseñanza del concepto de campo eléctrico en estudiantes de nivel superior.

REFERENCIAS

- [1] Allain, R., *Investigating the relationship between student difficulties with the concept of electric potential and the concept of rate of change*, Tesis doctoral en Graduate faculty of North Carolina State University, (2001) pp. 5-8.
- [2] Furió, C., Guisasola, J., Zubimendi, J., *Problemas históricos y dificultades de aprendizaje en la interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos considerados elementales*, *Investigações em Ensino de Ciências* **3**, 165-188 (1998).
- [3] Din, L., Chabay, R., Sherwood, B., Beichner, R., *Evaluating an electricity and magnetism assessment tool: Brief electricity and magnetism assessment*, *Physics education Research* **2**, 1-7 (2006).
- [4] Furió, C., Guisasola, J., *Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento*, *Enseñanza de las Ciencias* **17**, 441-452, (1999).
- [5] Maloney, D., Van Heuvelen, A., O'Kuma, T., Heigglke, C., *Conceptual Survey in Electricity*, *Am. J. Phys.*, *Education Research* **69**, 12-23 (2001).
- [6] Doran, R., *Basic measurement and evaluation of science instruction*, National science teacher association, Washintong, D. C. (1980).
- [7] Chabay, R., Sherwood, B., *Restructuring the introductory electricity and magnetism course*, *Am. J. Phys.* **74**, 329-336 (2006).
- [8] Bao, L., Redish, E., *Concentration analysis: A quantitative assessment of student state*, *Am. J. Phys.* **69**, 45-53 (2001).
- [9] Serway, R., *Física, Vol. I* (Mc.Graw-Hill, México, 1999).
- [10] Llancaqueo, A., Caballero, M., Moreira, M., *The concept of field in physics learning and in research in science education*, *Enseñanza de las Ciencias* **2**, 3 (2003).
- [11] Pocovi, C., Finley, F., *Lines of force: Faraday's and students' views*, *Science and education* **11**, 459-474, (2002).
- [12] Aronson, E. & Patnoe, S., *The jigsaw classroom: Building cooperation in the classroom* (2nd ed.), (Addison Wesley Longman, New York, 1997).
- [13] Tanel, Z., Erol, M., *Efects of cooperative learning on instructing magnetism: Analysis of an experimental teaching sequence*, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **2**, 124-136, 2008.
- [14] Sherwood, B., Chabay, R., *A unified treatment of electrostatics and circuits*. On line: <http://www4.ncsu.edu/~rwchabay/mi/circuit.pdf>. Fecha de consulta: 20 /05/ 2009.
- [15] Warnakulasoorija, R., Bao, L., *Preliminary study on students' understanding of electricity and magnetism for*

APENDICE

1. En la figura de abajo, el campo eléctrico en el punto P está dirigido a lo largo del eje y. Si una carga negativa (-Q) se coloca del eje y positivo, ¿Qué ocurre con el campo el punto P? Todas las cargas quedan fijas en su posición.



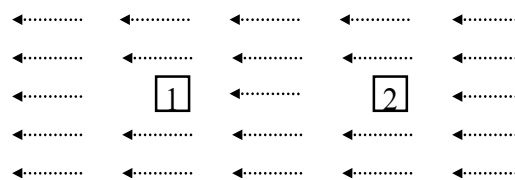
- Nada debido a que la carga $-Q$ está sobre el eje y.
- La magnitud podría incrementar debido a que $-Q$ es negativa
- La magnitud podría decrecer y la dirección podría cambiar debido a las interacciones entre $-Q$ y las dos cargas negativas.
- La magnitud podría incrementar y la dirección podría cambiar debido a las interacciones entre $-Q$ y las dos cargas negativas.
- No se puede determinar sin conocer la fuerza externa $-Q$ sobre las dos cargas negativas.

Para las preguntas 2 y 3.

Una carga positiva se coloca en reposo en el centro de una región del espacio en el cual existe un campo eléctrico tridimensional uniforme. (Uniforme significa que la magnitud y a dirección son lo mismo en todos los puntos dentro de la región.)

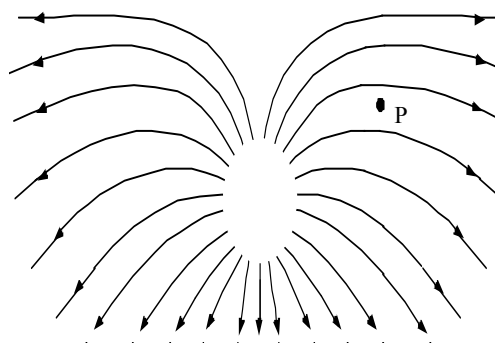
- Cuando la carga positiva se libera desde el reposo en el campo eléctrico uniforme, ¿cuál sería su movimiento?
 - Se movería con rapidez constante.
 - Se movería con velocidad constante.
 - Se movería con aceleración constante.
 - Se movería con un cambio lineal en la aceleración.

- Se mantendría en reposo, en su posición inicial.
- ¿Qué ocurre con la energía potencial eléctrica de una carga positiva, después que la carga se libera del reposo en un campo eléctrico uniforme?
 - Se mantendría constante debido a que el campo eléctrico es uniforme.
 - Se mantendría constante debido a que la carga permanece en reposo.
 - Podría incrementar debido a que la carga se mueve en la dirección del campo eléctrico.
 - Podría decrecer debido a que la carga se mueve en la dirección opuesta al campo eléctrico.
 - Podría decrecer debido a que la carga puede moverse en la dirección del campo eléctrico.
 - Una carga positive puede colocarse en una de dos posiciones diferentes en una región donde existe un campo eléctrico uniforme, como se muestra abajo.

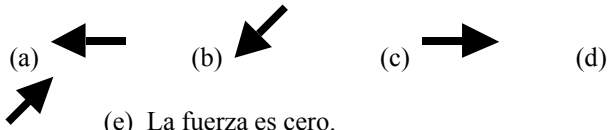


- ¿Cómo son la fuerza eléctrica sobre la carga en la posición 1 comparada con la posición 2?
- La fuerza sobre la carga es mayor en 1.
 - La fuerza sobre la carga es mayor en 2.
 - La fuerza en ambas posiciones es cero.
 - La fuerza en ambas posiciones es la misma pero no cero.
 - La fuerza en ambas posiciones tienen la misma magnitud pero direcciones opuestas.

Use el siguiente diagrama de campo eléctrico para la pregunta 5.



- ¿Cuál es la dirección de la fuerza eléctrica sobre una carga negativa en el punto P del diagrama anterior?



- (e) La fuerza es cero.
6. ¿Qué pasa con la energía total del sistema, incluyendo la carga positiva y el campo eléctrico, después de que la carga se ha liberado del reposo en un campo eléctrico uniforme?
- Permanece constante debido a que la energía potencial eléctrica se convierte en energía cinética
 - Esta permanece constante debido a que el campo eléctrico es uniforme
 - Esta decrece debido a que la carga se mueve hacia la fuente de las cargas
 - Esta incrementa debido a que la carga se mueve hacia la fuente de las cargas
 - Esta decrece debido a que la carga se mueve en la dirección de la fuerza eléctrica
7. Un experimento muestra que una fuerza eléctrica actúa sobre una partícula. ¿Cuál (les) del (os) siguientes requisitos son necesarios para que exista esta fuerza?

- La partícula debe estar en movimiento
 - Un campo eléctrico debe estar presente
 - La partícula debe estar cargada
 - Todos los requisitos anteriores
 - Solo b) y c)
8. Un campo eléctrico uniforme puede producirse por:
- Dos barras de plástico paralelas con una distribución continua y uniforme de cargas opuestas (positiva en una barra y negativa en la otra)
 - Dos hojas plásticas muy largas paralelas con una distribución continua y uniforme de cargas opuestas (positiva en una hoja y negativa en la otra)
 - Dos o tres cargas positivas localizadas en un lado de la región y el mismo número de cargas opuestas del otro lado de la misma
 - Dos polos magnéticos muy largos con sus lados opuestos sobre la región
 - Ninguno de los anteriores