

La conceptualización del campo eléctrico y magnético. Análisis de las concepciones de los estudiantes

The conceptualization of the electric and magnetic field. Analysis of the student conceptions

B.E. Osorio¹, J. A. Osorio², L. S. Mejía³, G. E. Campillo⁴, R. Covaleda⁵.

Recibido: 14 de mayo de 2015

Aceptado: 18 de junio de 2015

Resumen

A continuación se presentan los resultados producto de un proyecto de investigación realizado con estudiantes universitarios de ingeniería. Los propósitos se concentran en la indagación de las concepciones que sobre el campo eléctrico y magnético tienen los estudiantes cuando se les pregunta por cuestiones relacionadas con estos fenómenos. La investigación de corte descriptivo, utilizó como estrategia para recoger la información un cuestionario de cuatro preguntas que se aplicó a 193 estudiantes, quienes vieron en ese semestre el curso de electricidad y magnetismo. Las preguntas fueron seleccionadas de investigaciones sobre el mismo tema. Los resultados permitieron evidenciar las dificultades que tienen los estudiantes para explicar los fenómenos relacionados con

-
- 1 MSc en Educación y Desarrollo Humano, Institución Universitaria Pascual Bravo. beatriz.osorio@pascualbravo.edu.co
 - 2 PhD en Física, Instituto de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia.
 - 3 PhD en Educación, Facultad de Educación, Universidad de Antioquia-CEFA.
 - 4 PhD en Física, Departamento de Ciencias Básicas, Universidad de Medellín.
 - 5 PhD en Enseñanza de la Física, Instituto de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Antioquia.

el electromagnetismo. Específicamente, se encontró que ellos carecen de una base fenomenológica inicial para organizar y estructurar sus explicaciones, así como tampoco cuentan con una base sensorial para percibir lo eléctrico. Finalmente, se propone la reivindicación del papel del experimento y la construcción de situaciones a la hora de comprender y explicar los fenómenos electromagnéticos. También reflexiona sobre las posibilidades que se abren por la combinación de la parte experimental en el proceso formal de la enseñanza de la física.

Palabras clave: Aprendizaje del electromagnetismo, enseñanza de la física.

Abstract

This paper will present the results gathered from an investigative project carried out with undergraduate engineering students. The goal of the investigation is to discover whether the students, throughout the course of the semester, gain a proper understanding of the main concepts related to the electric and magnetic field. At the end of the semester, we used as our investigative strategy a questionnaire with four questions to collect the required information and it were administered to 193 students, who saw in that semester the course electricity and magnetism. Questions were selected from researches related to the same theme. The results revealed the difficulties the students have when they try to explain the phenomena related to electromagnetism. Finally, the paper reinforces the importance of the role of experiments and the construction of laboratory situations when it comes to teaching students about electromagnetic phenomena. We also reflect on the possibilities that are opened up by combining the experimental part in the formal process of teaching physics.

Keywords: Learning of electromagnetism, physics education

1. Introducción

En la actualidad las diferentes investigaciones en didáctica de la ciencia, específicamente aquellas que reflexionan sobre los procesos de enseñanza y el aprendizaje de la física, sugieren que es necesario que el maestro cuente con información sobre lo que estudiante sabe antes de iniciar un tema. En la investigación de Velásco y Garritz ^[1], se reporta que las dificultades de los estudiantes son producto de sus concepciones alternativas, donde además se afirma que incluso antes de la instrucción, los estudiantes cuentan con ideas explicativas y con un lenguaje propio, muy diferente al lenguaje científico.

Algunos investigadores llaman las ideas previas o los preconceptos, cuando consideran que el estudiante ya tiene un conocimiento anterior con el cual

puede asociar la nueva información. Otros investigadores expresan que son *errores conceptuales* o *misconceptions* pues las asocian “con ideas equívocas o con una asimilación incorrecta de la teoría o modelos explicativos no científicos”. En la actualidad se les conoce como *Ideas alternativas* o *concepciones alternativas*, ya que, permiten realizar predicciones o explicaciones sobre lo que se entiende por un concepto o fenómeno, que no son propiamente las explicaciones científicas.

Las concepciones alternativas presentan ciertas características como: la generalidad, que hace referencia a que las concepciones de individuos, de diferente género, cultura, edad y nivel educativo, son similares y se comparten en algunos grupos; la persistencia ya que permanecen a través de los años, incluso después de la instrucción; la coherencia, porque responden a una estructura de ideas y teorías propias del sujeto, que tienen sentido para él; la dependencia, pues dependen del contexto, es decir, utilizan una o varias explicaciones para el mismo fenómeno dependiendo del contexto.

En cuanto al origen de las ideas alternativas, Garnett y Hackling ^[2], sugieren que son de origen sensorial (las concepciones espontáneas); origen cultural (representaciones sociales); y origen escolar (concepciones analógicas), son concepciones que determinan en gran parte la complejidad de las representaciones de éstas para los individuos.

Las concepciones de origen sensorial: surgen en el intento de dar significado a las actividades cotidianas y se basarían en el uso de reglas de inferencia causal aplicadas a datos recogidos, del mundo en el que se vive y se atrapan a través de los sentidos y percepciones. Es decir, se tiende a creer que existe una semejanza entre causas y efectos; se buscan causas anteriormente conocidas, para explicar episodios de la vida, relacionándolo con lo que pueden conocer, pueden relacionarse con algo que sabemos hacer.

Las concepciones de origen cultural: tienen su origen en la interacción del individuo con el entorno social y cultural, como la familia, la escuela y los medios de comunicación, pues se constituyen en los canales a través de los cuales los estudiantes adquieren información sobre los fenómenos; se puede afirmar que estos canales de comunicación influyen en la manera como los estudiantes representan la ciencia, llegando en ocasiones a tener una concepción deformada y imprecisa de la misma.

Las concepciones de origen analógico: los estudiantes tienden a asimilar los conocimientos científicos de forma análoga a sus fuentes de conocimiento sobre el mundo. Lo que implica que tienda a enredar, combinar y fundir el conocimiento científico con el conocimiento del sentido común. Las analogías pueden ser creadas por el mismo estudiante e inclusive en la misma enseñanza ya sea por parte del maestro o por medio de los libros texto, medios que incluso pueden proporcionar ideas deformadas o simplificadas de los conceptos científicos.

Al respecto entonces las investigaciones sobre concepciones alternativas concluyen que dichas concepciones o ideas tienen incidencia directa en las dificultades de aprendizaje de la física y específicamente hacen referencia a todas aquellas problemáticas que tienen los estudiantes para comprender los fenómenos relacionados con el electromagnetismo, tal es el caso de la investigación de Furio y Guisasola^[3], quienes manifiestan que la dificultad de los estudiantes para comprender estos conceptos reside en el cambio ontológico, es decir, el cambio de una visión Colombiana a la visión del campo eléctrico desde el concepto de interacción.

2. Metodología

En este trabajo la investigación es de corte descriptivo, se seleccionaron 193 estudiantes de ingeniería de una institución de educación superior, que se encuentran matriculados en los cursos electricidad y magnetismo (Física II, 138 estudiantes) y en el curso de física de ondas (Física III, 55 estudiantes, quienes ya vieron y aprobaron el curso de Física II). Para recoger los datos se planteó un cuestionario de cuatro preguntas seleccionadas de investigaciones que sobre el mismo tema se realizaron en otros contextos^[2, 3, 4], basados en los conceptos fundamentales que debe aprender un estudiante en un curso de electricidad y magnetismo.

La intencionalidad de la investigación fue analizar las explicaciones que sobre el campo eléctrico y magnético tienen los estudiantes de diferentes ingenierías que están realizando los cursos y los que ya lo realizaron, con miras a identificar las concepciones alternativas y su incidencia en el aprendizaje de dichos conceptos. Finalmente, se pretende reivindicar el papel del experimento y la construcción de situaciones problemas a la hora enseñar los fenómenos electromagnéticos.

3. Resultados

A continuación se presenta el análisis de los resultados arrojados por el cuestionario que se aplicó a los estudiantes. Es importante mencionar que para realizar el análisis de los datos las respuestas de los estudiantes se han dividido en dos grupos, los que están viendo el curso de electricidad y magnetismo (denominado Física II) y la de los estudiantes que ya han aprobado este curso y se encuentran matriculados en el curso de física de ondas (Física III), finalmente, se puede observar un promedio de todos los estudiantes a los que se les aplicó el cuestionario.

Para crear las categorías, agrupamos algunas de las concepciones alternativas y representaciones mentales de los estudiantes, debido a la alta similitud de las respuestas dadas cuando se les pregunta por los conceptos de campo electromagnético; encontraron que los estudiantes explicaban las situaciones físicas utilizando su sentido común.

3.1. Interacción entre una partícula cargada en reposo y un campo magnético.

P1. La línea de trazos de la figura representa la dirección del campo magnético terrestre. En el punto **A** hay una brújula y en el punto **B** se encuentra una partícula cargada con una carga **Q** positiva ^[4].

Dibuja sobre **A** una flecha que represente la orientación de la aguja de la brújula. Explica las razones de tu respuesta.

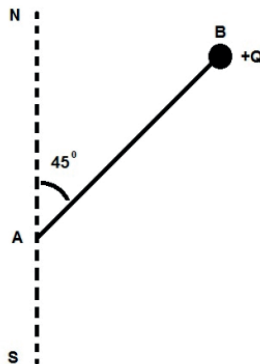


FIGURA 1. INTERACCIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE CON UNA CARGA ELÉCTRICA EN REPOSO.

Para establecer si el estudiante tiene claro si hay o no una interacción entre una partícula cargada en reposo y un campo magnético, en las respuestas a la pregunta 1 se identificaron las siguientes categorías, ver tabla 1.

TABLA 1. CATEGORÍAS PARA LAS RESPUESTAS DADAS POR LOS ESTUDIANTES A LA PREGUNTA 1.

Respuestas	
A1	Respuesta correcta y completa, hablando de campo magnético terrestre y carga en reposo
A2	Respuesta correcta hablando de campo magnético terrestre, sin incluir el efecto de la carga en reposo.
A3	Respuesta incorrecta, interacción de la brújula con el campo magnético terrestre y la carga eléctrica
A4	No responden

De la tabla 2 se observa que un 22% del total de los estudiantes tienen claro que la partícula en reposo no interactúa con la brújula, de los cuales en su mayoría (40, equivalente al 29%) están matriculados en el curso de física II y sólo 3 estudiantes (equivalente al 5%) están en el curso de física III. Como en la categoría A2 (definida en la Tabla 1) no está claro si el estudiante sabe o no el efecto de la carga sobre la brújula, entonces al hacer una suma de las dos primeras categorías vemos que, cerca del 40% de los estudiantes están en estas categorías, independientes del nivel.

TABLA 2. RESULTADOS POR CURSO Y TOTAL DE LA PREGUNTA 1.

Resp.	Física II		Física III		Total	
	Estud.	Porcent	Estud.	Porcent	Estud.	Porcent
A1	40	29%	3	5%	43	22%
A2	15	11%	17	31%	32	17%
A3	75	54%	29	53%	104	54%
A4	8	6%	6	11%	14	7%
TOTAL	138	100%	55	100%	193	100%

La mayoría de los estudiantes 54% (A3) consideran que una fuente del campo magnético son las cargas eléctricas en reposo, razón por la cual interactúa con la brújula. Es decir, no identifican correctamente las fuentes del campo magnético, ni diferencian la interacción eléctrica y la magnética.

3.2. Fuentes del campo magnético y su interacción

P2. Tenemos una espira fija en un circuito de corriente continua y enfrente de un imán, como se indica en la figura [5].

- ¿Qué sucederá?
- Explica las razones de tu respuesta.

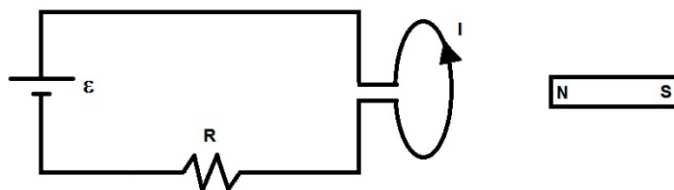


FIGURA 2. INTERACCIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO GENERADO POR UNAS ESPIRAS Y UN IMÁN.

Para establecer si el estudiante tiene claro las fuentes de campo magnético y su interacción, en las respuestas a la pregunta 2 se identificaron las siguientes categorías, ver tabla 3.

TABLA 3. CATEGORÍAS PARA LAS RESPUESTAS DE LA PREGUNTA 2.

Respuesta	
B1	La fuerza electromotriz genera un campo que interactúa con el campo del imán
B2	Incorrecto, Inducción electromotriz por variación del campo magnético en la espira
B3	Respuestas fuera de contexto
B4	No responde

Revisando los resultados de la tabla 4 vemos que un porcentaje inferior al 20% tienen claro la interacción del campo magnético generado por una corriente con el campo magnético generado por un imán. Un porcentaje superior al 20% confunden el enunciado de la pregunta con la ley de inducción electromotriz, pues justifican que debe haber un movimiento del imán para generar una corriente en el circuito. También podemos observar que un porcentaje superior al 80% es la suma de respuestas erradas o no responden a la pregunta 2.

TABLA 4. RESULTADOS POR CURSO Y TOTAL DE LA PREGUNTA 2.

Resp.	Física II		Física III		Total	
	Estud.	Porcent	Estud.	Porcent	Estud.	Porcent
A	81	59%	39	71%	120	62%
B	11	8%	3	5%	14	7%
C	13	9%	2	4%	15	8%
D	18	13%	8	15%	26	14%
E	7	5%	3	5%	10	5%
No resp	8	6%	0	0%	8	4%
TOTAL	138	100	55	100	193	100%

3.3. Líneas de campo magnético que genera una corriente por un conductor recto.

P3. El diagrama muestra un hilo largo recorrido por una intensidad de corriente i_{out} que sale hacia afuera del papel [6].

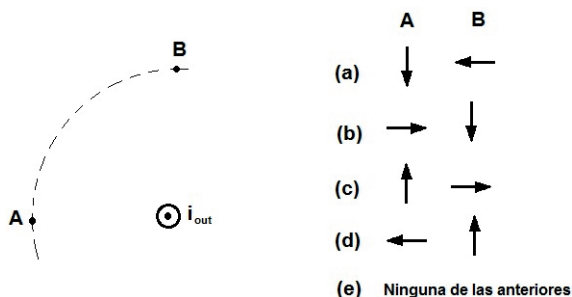


FIGURA 3. CAMPO MAGNÉTICO GENERADO POR UNA ESPIRAS.

- a) ¿Cuál será la dirección del campo magnético en las posiciones **A** y **B**? elija una de las respuestas que se dan.
- b) Explica las razones de tu respuesta.

Para establecer si el estudiante tiene claro las líneas de campo magnético que genera una corriente eléctrica por un conductor recto, analizamos las respuestas a la pregunta 3, ver tabla 5.

TABLA 5. CATEGORÍAS PARA LAS RESPUESTAS DE LA PREGUNTA 3.

Resp.	Física II		Física III		Total	
	Estud.	Porcent	Estud.	Porcent	Estud.	Porcent
B1	27	20%	9	16%	36	19%
B2	33	24%	12	22%	45	23%
B3	45	32%	26	47%	71	37%
B4	33	24%	8	15%	41	21%
TOTAL	138	100%	55	100%	193	100%

Los estudiantes que aplicaron correctamente la ley de la mano derecha fueron de un 59% para los que están viendo el curso de campos en la actualidad y de un 71% para los que ya vieron esta asignatura. Este resultado da un 12% adicional de estudiantes de los que ya vieron el curso sobre los que lo están viendo el curso. Sólo este resultado a la pregunta 3 muestra una ligera diferencia que puede estar por encima del error estadístico, lo que implica que la ley de la mano derecha parece ser un concepto que los estudiantes aprenden y que modifica su estructura mental (aprendizaje significativo). Cerca de un 20% de los estudiantes (respuestas B y D) piensan que el campo magnético generado por el alambre con la corriente está en la dirección radial, lo que implicaría que piensan en la carga eléctrica que está en el alambre de forma estática. O sea, los estudiantes confunden un hilo recorrido por la intensidad de corriente con un hilo cargado electrostáticamente.

3.4. Líneas de campo magnético que genera una corriente eléctrica en una espira conductora

P4. Tenemos dos espiras de corriente idénticas recorridas por una intensidad de corriente i . Las espiras están ubicadas como se muestra en el diagrama adjunto [7].

- ¿Qué flecha representa la dirección del campo magnético en el punto **P**, punto medio entre las dos espiras?
- Explica las razones de tu respuesta.

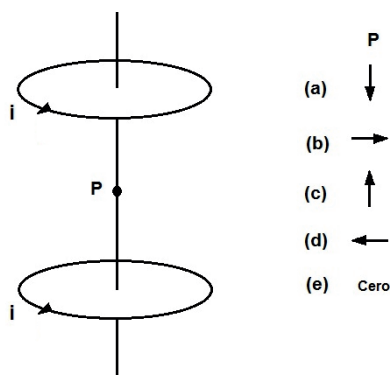


FIGURA 4. CAMPO MAGNÉTICO GENERADO POR DOS ESPIRAS.

TABLA 6. CATEGORÍAS PARA LAS RESPUESTAS DE LA PREGUNTA 4.

Resp	Física II		Física III		Total	
	Estud	Porc	Estud.	Porc	Estud	Porcent
A	10	7%	1	2%	11	6%
B	7	5%	1	2%	8	4%
C	46	34%	30	54%	76	39%
D	2	1%	1	2%	3	2%
E	67	49%	20	36%	87	45%
No respon	6	4%	2	4%	8	4%
TOT	138	100	55	100	193	100

Para establecer si el estudiante tiene claro las líneas de campo magnético que genera una corriente eléctrica en una espira conductora y la suma vectorial

rial de la suma de dos espiras en el punto medio, analizamos las respuestas a la pregunta 4, ver tabla 6.

Los estudiantes que aplicaron correctamente la ley de la mano derecha y la suma vectorial (respuesta C) fueron de un 34% para los que están viendo el curso de campos en la actualidad y de un 54% para los que ya vieron esta asignatura. Este resultado da un 20% adicional de estudiantes de los que ya vieron el curso sobre los que lo están viendo el curso. Este resultado a la pregunta 4 muestra que la ley de la mano derecha parece ser un concepto que los estudiantes aprenden y que modifica su estructura mental (aprendizaje significativo). En los estudiantes que están viendo el curso de campos tenemos casi un 70% que presentan confusiones con el análisis de los campos generados por espiras, tanto por considerar las direcciones del campo magnético radiales (B y D), como por sumar erradamente las componentes vectoriales (E). Muchos de ellos atribuyen efectos eléctricos a campos magnéticos, lo que deja ver que no tienen claro la diferencia entre el campo magnético estacionario y el campo electrostático. Estos resultados nos muestran que los estudiantes presentan dificultades a la hora de establecer relaciones cualitativas entre el comportamiento del campo magnético a lo largo de la línea cerrada y la cantidad de corriente.

3.5. Resultados generales

Si consideramos este cuestionario como un examen dentro de un sistema de calificaciones de 0,0 hasta 5,0 tenemos los resultados de la tabla 7, donde el estudiante tiene que responder acertadamente al menos tres preguntas para ganar el examen.

TABLA 7. Calificaciones en un sistema de 0,0 a 5,0.

Nota	Física II		Física III		Total	
	Est	Porc	Est	Porc	Est	Porcent
5	1	0,7%	0	0,0%	1	0,5%
3,75	13	9,4%	7	12,7%	20	10,4%
2,5	49	35,5%	21	38,2%	70	36,3%
1,25	52	37,7%	18	32,7%	70	36,3%
0	23	16,7%	9	16,4%	32	16,6%
	138	100,0	55	100,0	193	100,0

Vemos que sólo un estudiante responde acertadamente las cuatro preguntas, y que un 10,9% del total de los estudiantes ganan el examen. Un 16,6% de los estudiantes no aciertan a ninguna pregunta y más del 72% aciertan a una o dos preguntas.

En la figura 5 se observan los resultados de la tabla 7, para cada grupo de estudiantes y el total. Se puede notar que el centro de las tres curvas está en la nota de 2,5 lo que muestra el alto porcentaje de estudiantes que pierden este examen de cuatro preguntas. Además se observa la pequeña cola de los estudiantes que ganan el examen.

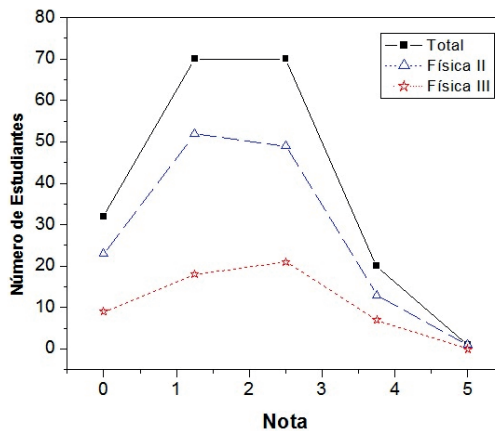


FIGURA 5. CALIFICACIONES EN UN SISTEMA DE 0,0 A 5,0.

Revisando los porcentajes generales, no se ve claramente una diferencia entre los estudiantes que están viendo el curso de los que ya lo han visto, pues los valores son bastante cercanos. Lo anterior conlleva a concluir que independientemente de si los estudiantes vieron el curso o lo están realizando, sus explicaciones siguen siendo producto de sus concepciones alternativas. Es decir, explicaciones alejadas de las científicas. Específicamente lo anterior se evidencia en el hecho de que se podría esperar que la diferencia entre estos dos grupos fuera superior al 20% como en la pregunta 4, y sin embargo no lo es.

4. Conclusiones y propuestas.

A partir de lo anterior, se puede visualizar entonces, con más claridad, el cómo las concepciones alternativas que presentan los estudiantes dificultan el aprendizaje de los conceptos científicos, y además implica el preguntarnos por las estrategias de enseñanza que pueden utilizarse no sólo para identificarlas, sino además para que el estudiante aprenda a utilizar según el contexto.

El 87,3% de los estudiantes del curso de Física III (tabla 7) pierden el examen (38,2+32,7+16,4) a pesar de haber ganado el curso de electricidad y magnetismo, es decir, los estudiantes vuelven a las concepciones previas. Cuando los estudiantes no construyen modelos, los conceptos científicos no son aprendidos significativamente. Todo esto pasa cuando el profesor está más interesado en transmitir la lógica de la disciplina, antes que propiciar estrategias de enseñanza para que los estudiantes construyan las nuevas explicaciones próximas a las científicas. Muchos de los procesos de enseñanza que se usan en la actualidad no contribuyen con la comprensión de los conceptos científicos, ya que las concepciones alternativas están fuertemente arraigadas y, a pesar de la instrucción, permanecen inmodificables y se perpetúan en el tiempo.

Al respecto se considera, -en este marco de reflexión didáctica-, situar el papel de la experimentación, como una de las posibilidades que se abre para aproximar a los estudiantes a la comprensión de los conceptos relacionados con el electromagnetismo. Es importante, en este momento mencionar que, las investigaciones sobre el papel de la actividad experimental en la enseñanza de la física coinciden en afirmar en la importancia concebirla de manera diferente a lo que tradicionalmente se hace.

Tal es el caso de los estudios de Hodson^[8] y Gil et al.^[9] quienes dan cuenta de la existencia de un claro rechazo de los estudiantes a las guías mecánicas utilizadas en la enseñanza tradicional y resaltan la necesidad de una reflexión y participación de los mismos. Gil y Valdés^[10] así lo confirman cuando concluyen que las prácticas de laboratorio que generalmente se realizan, carecen de sentido e interés y deben ser reorientadas revisando sus enfoques metodológicos y epistemológicos, pues estas son producto de las visiones reduccionistas de la actividad científica.

En otro de sus artículos lo ratifican cuando dan especial importancia al establecimiento de una relación íntima entre las clases teóricas y las prácticas,

entre los contenidos conceptuales y los procedimentales, en la enseñanza de la física [7, 9]. Por otro lado, Duit y Confrey [10], concuerdan en la necesidad de desarrollar materiales didácticos, modelos experimentales y otro tipo de estrategias de enseñanza que mejoren no sólo la comprensión de los fenómenos científicos por parte de los estudiantes, sino también sus explicaciones.

Las concepciones alternativas sobre el electromagnetismo son una parte fundamental en “la lógica del que aprende”, pues las diferentes investigaciones y los resultados obtenidos, nos mostraron que estas ideas entran en conflicto con las explicaciones científicas. Al respecto, es necesario establecer una distinción, tal y como lo plantean Jorba y San Martí [11], sobre que “existe una diferencia entre la lógica de la disciplina, la lógica del experto y la lógica del que aprende [...] cuando distingue entre la física del físico, la física del enseñante y la física del estudiante”.

A partir entonces de lo que plantean los investigadores frente a la actividad experimental y teniendo como referente los resultados producto de esta investigación, se evidencia la necesidad apremiante que tiene el maestro de física de pensar en la enseñanza de los conceptos científicos. En este orden de ideas se presenta a continuación una posible estrategia para la enseñanza del electromagnetismo en la que se reivindica el papel de la actividad experimental desde una concepción diferente a la tradicional.

Inicialmente se le plantea al estudiante una situación problema, a la que debe buscarle la solución. El profesor realiza preguntas para activar las ideas y despertar el interés de los estudiantes y orienta al estudiante hacia la búsqueda de posibles explicaciones, es decir lo involucra en la formulación de hipótesis sobre el fenómeno objeto de estudio.

Posteriormente, motiva al estudiante para que busque información sobre el tema en cuestión en diferentes fuentes bibliográficas (impresas y digitales). Orienta al estudiante para que desde su iniciativa y creatividad diseñe y construya el montaje experimental, al finalizar se les pide a los estudiantes que presenten un informe a manera de artículo de investigación.

Al final del curso el estudiante debe proponer y desarrollar un proyecto libre a partir del cual se busca que el estudiante aplique lo aprendido en una nueva situación o problema.

Referencias

- [1] R. Velàsco y A. Garritz, Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia. *Investigación Educativa*. 14 (2), pp. 92-105. 2003
- [2] P. J. Garnett y M. W. Hackling, Students' Alternative Conceptions in Chemistry: A Review of Research and Implications for Teaching and Learning, *Studies in Science Education*, 25, pp. 69-95, 1995
- [3] C. Furió y J. Guisasola, Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctrico. *Enseñanza de las ciencias*, 15(2), pp 259-271, 1997.
- [4] J. Guisasola, J.M. Almuđı́ y M. Ceberio, Concepciones alternativas sobre el campo magnético estacionario. Selección de cuestiones realizadas para su detección. *Investigación y Didáctica*, 21 (2), pp. 281-293, 2003.
- [5] J. M. Almuđı́, "Introducción del concepto de campo magnético en el primer ciclo de la universidad: dificultades de aprendizaje y propuesta alternativa de orientación constructivista". Tesis Doctoral. Universidad del País Vasco, 2002.
- [6] Maloney, O'Kuma, Hieggelke y Van Heuvelen. Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *Phy. Educ. Res., American Journal of Physics Suppl.*, 69 (7), pp. 12—23, 2001.
- [7] D. Hodson, Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio, *Enseñanza de las Ciencias*, 12, pp 299-313, 1994.
- [8] D. Gil, G, Furió y E. Valdés, ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio?". En: *Enseñanza de las Ciencias*. 17 (2), pp. 311-320, 1994.
- [9] D. Gil y R. Valdés, "Un ejemplo de práctica de laboratorio como actividad investigadora". En: *Alambique*. Vol. 6. pp. 93-102, 1995.
- [10] R. Duit y J. Confrey, (1996). Reorganizing the curriculum and teaching to improve learning in science and mathematics. In In D. F. Treagust, R. Duit & B. F. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics*. NY: Teachers College Press, 1996.
- [11] J. Jorba y N. San Martí, Enseñar, aprender y evaluar: Un proceso de regulación continúa. *Propuestas didácticas para las áreas de las ciencias y las matemáticas*. Capítulo 3, Barcelona, 1994.