



Didáctica de la Física

La Evaluación como una Estrategia de Enseñanza en la Asignatura Electricidad y Magnetismo

Evaluation as a teaching strategy in the subject Electricity and Magnetism

An avaliação como estratégia de ensino na disciplina Electricidade e Magnetismo

Diego Fernando Becerra Rodríguez¹

Marcela Benítez Mendivelso²

Resumen

En la concepción de evaluación en la enseñanza de la física, ésta se aborda como un proceso que tiene en cuenta la evaluación diagnóstica, formativa y sumativa. Como aporte a la misma se presenta el diseño de una prueba de veintitrés preguntas de selección, que abarca conceptos generales y básicos del programa académico de la asignatura Electricidad y Magnetismo de la Universidad Antonio Nariño (UAN). En el diseño de la prueba cada una de las preguntas presenta opciones de respuesta que pretende identificar los modelos físicos que tienen los estudiantes de ingenierías de la universidad luego de tomar un curso de electricidad y magnetismo. Los modelos físicos (modelos de pensamiento) se identifican teniendo en cuenta las características de la memoria, y las definiciones de tres modelos de pensamiento de acuerdo con su relación con las teorías físicas. En el *test* las opciones de respuesta conciernen a uno de los tres modelos: (1) correspondiente a un modelo correcto que concuerda con el modelo de los expertos, (2) un modelo parcialmente correcto, o incorrecto concordando con una explicación inadecuada de los conceptos físicos, la cual es común en los estudiantes y el (3) un modelo nulo en el cual la respuesta de los estudiantes no es coherente con las teorías explicativas de los fenómenos físicos.

¹ Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México, México. Contacto: diegobecerrod@gmail.com

² Universidad San Buenaventura. Cali, Valle, Colombia. Contacto: marbemen2015@gmail.com

Palabras clave: Electricidad, evaluación sumativa, magnetismo, modelos de pensamiento, *test* de selección múltiple.

Abstract

The conception of evaluation in physics teaching, it is approached as a process that takes into account diagnostic, formative and summative evaluation. As a contribution to this process, the design of a test of twenty-three selection questions is presented, which includes general and basic concepts of the academic program of the subject Electricity and Magnetism at the Universidad Antonio Nariño (UAN). In the design of the test, each one of the questions presents answer options that attempt to identify the physical models that the engineering students of the university have after taking a course in electricity and magnetism. The physical models (thought models) are identified taking into account the characteristics of memory, and the definitions of three thought models according to their relationship with physical theories. In the test the answer choices concern one of the three models: (1) corresponding to a correct model that matches the model of the experts, (2) corresponding to a partially correct model, or incorrect model agreeing with an inadequate explanation of the physical concepts, which is common in the students and (3) a null model in which the response of the students is not coherent with the explanatory theories of the physical phenomena.

Keywords: Electricity, magnetism, models, multiple selection test, thinking summative evaluation.

Resumo

Na concepção da avaliação no ensino da física, ela é abordada como um processo que leva em conta a avaliação diagnóstica, formativa e sumativa. Como contribuição para isso, é apresentado o desenho de um *teste* de vinte e três (23) perguntas de seleção, abrangendo conceitos gerais e básicos que são tratados ao longo do curso de Eletricidade e Magnetismo da Universidade Antonio Nariño (UAN.). No desenho do *teste*, cada uma das perguntas apresenta opções de resposta que tentam identificar os modelos físicos que os estudantes de engenharia da universidade têm depois de fazer um curso de eletricidade e magnetismo. Os modelos físicos (modelos de pensamento) são identificados levando em conta as características da memória e as definições de três modelos de pensamento de acordo com sua relação com as teorias físicas. No *teste* as opções de resposta dizem respeito a um dos três modelos: Modelo 1- Correspondendo a um modelo correto que concorda com o modelo

	dos especialistas, modelo 2- Correspondendo a um modelo parcialmente correto, ou incorreto concordando com uma explicação inadequada dos conceitos físicos, o que é comum nos alunos e modelo 3- Correspondendo a um modelo nulo em que a resposta dos alunos não é coerente com as teorias explicativas dos fenômenos físicos.
--	---

Palavras-chave: Avaliação sumativa, teste de seleção múltipla, eletricidade e magnetismo, modelos de pensamento.

INTRODUCCIÓN

Desde hace más de tres décadas el reto mundial de la educación es formar individuos capaces de responder a los desafíos que la sociedad les exige, que logren interactuar con las redes del conocimiento de las diferentes culturas y sociedades, jóvenes profesionales en capacidad de reconocer y reconocerse como diferentes, en permanente colaboración e intercambio de saberes y experiencias. Hoy la exigencia esta puesta en los procesos que contribuyen al desarrollo personal del estudiante, al desarrollo social y a la interacción propositiva y critica con el conocimiento.

|La educación es vista como un espacio de interacción permanente en busca de procedimientos, acciones y procesos que permitan apropiarse y hacer un uso efectivo y significativo del conocimiento (ICFES, 1995). Así, los sistemas de evaluación dentro y fuera del país centran su atención y sus esfuerzos fundamentalmente en conocer el logro de los estudiantes, en términos de conocimientos, competencias, habilidades, saberes y actitudes, entre otros.

El concepto de evaluación es complejo de definir, diremos que ésta permite recoger información sobre un objeto u evento particular, procesarla y compararla con otros objetos evaluados bajo criterios similares, emitir juicios y tomar decisiones de valor, control, modificación o construcción. Las decisiones que se toman pueden tener una función de carácter social, que sirve para la selección, clasificación, orientación y promoción del objeto evaluado.

En este sentido, la evaluación recoge y produce información, media un proceso de auto reflexión, es fuente valiosa de establecimiento de errores que sirve para corregir secuencias, particularmente, cuando una acción es base de estudio para la siguiente Benitez (2017). En el ámbito educativo, el propósito de la evaluación es certificar el saber, acreditar la promoción,

simbolizar una posición en la sociedad y perfeccionar la práctica educativa conformando un marco de referencia para la reflexión y la toma de decisiones.

En el ejercicio educativo la evaluación puede ser cualitativa o cuantitativa, pero en ambos casos, estas deben ser formativas y sumativas. Entendemos que la evaluación formativa se centra en comprender los desempeños de las personas frente a tareas definidas y específicas que se le preponen. La información que busca este tipo de evaluación es aproximarse a las representaciones mentales de los estudiantes y a las estrategias de aprendizaje que utiliza para llegar a un resultado determinado, pretende que los errores o no aciertos del sujeto sean un insumo de seguimientos para adelantar estudios que permitan mejorar las estrategias de enseñanza y la evaluación sumativa tiene por objeto establecer balances de los resultados obtenidos al final del acto de enseñanza–aprendizaje. Tiene esencialmente la función social de asegurar que los saberes de los estudiantes respondan a las exigencias del sistema. La evaluación sumativa es formativa al arrojar evidencias sobre el sujeto evaluado, permitiendo determinar los aspectos que se deberán modificar y mejorar en una enseñanza o proceso posterior.

En la enseñanza de la física, se concibe la evaluación con características diagnóstica, formativa y sumativa. En esta propuesta se utiliza el *test* de selección múltiple con una única respuesta, para evaluar si luego de tomar un curso de física, los estudiantes tienen la comprensión y las aptitudes para solucionar correctamente, problemáticas y preguntas de tipo conceptual, y establecer los modelos mentales de los estudiantes. La comprensión de los conceptos físicos está relacionada con la forma cómo aprenden los estudiantes, el funcionamiento del cerebro y la memoria, el procesamiento y almacenamiento de la información y las representaciones mentales que hacen los estudiantes de los sucesos y de los fenómenos físicos obedecen a modelos mentales que simplifican el estudio de la física.

MARCO TEÓRICO

Medidas del modelo mental

Para comprender cómo aprenden los estudiantes, es necesario analizar cómo funciona la memoria y cómo se procesa y almacena la información en el cerebro, según Redish *et al.* (2006). La memoria se compone de memoria a corto y largo plazo, éstas son complementarias en el sentido que para acceder a la memoria de largo plazo es necesario activarla por medio de la memoria a corto plazo, la cual trabaja de manera rápida pero tiene limitaciones ya que solo puede manejar

grupos pequeños de paquetes de información y desaparece rápidamente, la memoria a largo plazo, está en la capacidad de manejar grandes grupos de paquetes de información, hechos o datos, entre otros, permaneciendo durante periodos largos de tiempo, incluso décadas, siendo esta productiva y asociativa, en un proceso que puede ser en cadena la activación de un elemento conlleva la activación de otro.

El hecho que la memoria a corto plazo sea necesaria para conducir a la memoria a largo plazo, orienta el desarrollo de las actividades de enseñanza evitando el exceso de información otorgada a los estudiantes en una sesión de clases. A esta memoria se le adjudica la capacidad para resolver problemáticas, analizar información y almacenarla en nuestra conciencia, siendo esta individualizada para cada persona dependiendo de su conocimiento y sus estados mentales, lo que conlleva a afirmar que cuando se puede aplicar de manera fácil un pequeño conocimiento, experiencia o proceso, este está compilado (ejecutado).

La memoria a largo plazo es cognitiva-experiencial, productiva, activa, extrae y procesa la información consolidada en la memoria a corto plazo mediante un proceso automático. Esta memoria no solo es dependiente del estado mental (correspondiente al modelo físico) cuando se presenta el estímulo, es dependiente del contexto, siendo la respuesta cognitiva a estímulos mentales, depende de la situación externa que la propicia. Se caracteriza por ser estructurada y asociativa, cuando el sujeto se ve expuesto a un estímulo, una sucesión de elementos de conocimiento se puede activar. Estas características de la memoria permiten orientar la propuesta de enseñanza, al procurar la creación de ambientes de trabajo que propicien la activación de conocimientos por parte de los estudiantes lo cual dependerá de los estímulos que se provoquen en aula.

La aplicación del *test* da cuenta de las ideas y concepciones previas de los estudiantes, permite comprender cómo se da el razonamiento en ellos y establecer patrones de asociación estímulo-consolidación de conocimiento. Los patrones tienen la posibilidad de activarse no solo en contextos particulares y propios de la física sino en una variedad de ellos generando un esquema, el cual, cuando es robusto y coherente se define como modelo mental. En esta misma línea se habla de modelos científicos como modelos mentales, que se caracterizan por ser constituidos alrededor de la experiencias, propiedades e interacción con fenómenos y objetos, consolidando de esta manera la definición de modelo físico.

Como tal no es posible establecer estrategias para medir los modelos mentales de los estudiantes, pero si es posible hacer unas observaciones de comportamientos y hacer inferencias sobre éstos, por ejemplo, acerca de los modelos mentales científicamente incorrectos, Greca y Moreira (1998) comentan que los estudiantes los construyen de forma natural con su interacción con el mundo al dar una explicación de este

“[...] estos modelos son creados por la percepción, por el ambiente social o por el contexto escolar. Parte de la fuerte resistencia al cambio de esos modelos puede resultar, porque son eficientes para entender el mundo antes de entrar en la escuela, y lo continúan siendo fuera de las aulas de ciencia [...]” p. 295.

Los modelos mentales de los estudiantes se pueden estudiar analizando sus respuestas situadas en contextos físicos ante la resolución de problemáticas, la importancia de comprender las ideas, razonamientos y relaciones que los estudiantes tienen de los fenómenos físicos son:

- 1) Visualizar y prever los errores que comúnmente cometen, dando enfoques y aplicaciones erradas a la información abordada en el aula, siendo esta información proporcionada por el docente o los libros de texto.
- 2) Tener en cuenta los recursos que tienen y que son útiles para construir sus futuros conocimientos, siendo estos: La modificación, reestructuración o financiamiento de los esquemas existentes, que se convierten en el material de trabajo para ayudar a mejorar sus modelos y a acercarlos lo más cerca posible a los científicamente aceptados (modelo físico).

Ya se han mencionado los modelos mentales y su relación con los modelos físicos, siendo estos, estructuras mentales robustas y productivas en referencia a la generación de explicaciones de los fenómenos físicos, es allí donde para Sandoval (2009) surge el término dominio conceptual que “se utiliza a menudo para referirse a ciertos temas específicos de física que involucran a cierto dominio de contextos y reglas explicativas” un ejemplo de un correcto dominio conceptual es dar cuenta que entre dos cargas eléctricas la fuerza de atracción o repulsión es directamente proporcional a su carga, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa, para Sabella (1999) los modelos estudiantiles se caracterizan por:

- 1) Ser estructuras mentales productivas que pueden aplicarse a los contextos físicos específicos con el fin de obtener unos resultados puntuales.

2) Se asocian con uno y solamente un dominio conceptual físico, aclarando que varios dominios conceptuales pueden tener diferentes conjuntos de modelos.

3) Si se aplica a diferentes casos físicos contextuales relacionados con el mismo dominio conceptual, un modelo es una estructura conceptual estable, lo que conlleva que un modelo es variante ante diferentes contextos relacionados con el mismo dominio conceptual de la física.

Así las explicaciones de los comportamientos de los sistemas físicos y la predicción de futuros estados de los sistemas, en ambos casos los conocimientos son implícitos y se requieren para lograr explicaciones y representaciones múltiples de los fenómenos físicos observables.

Estado de los modelos conceptuales de los estudiantes

Para dar cuenta de un adecuado dominio conceptual de los fenómenos físicos es necesario identificar los modelos reconocidos y más comunes de los estudiantes, los cuales se pueden parcializar en modelos correctos (correcta relación con las teorías físicas–Expertos) modelos parcialmente correctos o modelos incorrectos, otro tipo de modelo es el modelo nulo en el que se identifican todo tipo de ideas irrelevantes que en un sentido físico no es para nada aceptada desde un constructo teórico y que los estudiantes llevan consigo. Los modelos mencionados anteriormente se definen como modelos físicos, siendo común encontrar en un grupo de estudiantes con procesos educativos similares diferentes modelos mentales y conceptuales de un mismo concepto o fenómeno físico.

Contrastando las ideas de Maloney *et al.* (2001) y Sabella (1999) es posible plantear que en el desarrollo de problemáticas físicas existe una relación natural entre cada individuo y sus dominios conceptuales de la física, encontrando casos en los que los estudiantes están en la capacidad de usar un modelo físico (correcto, parcialmente correcto, incorrecto o nulo) y ser conscientes de ello para resolver problemas físicos, o casos en los que los estudiantes mantienen diferentes modelos físicos simultáneamente logrando utilizar unos modelos para unas problemáticas y otros para otras, y a diferencia no ser conscientes de ellos para resolverlas. De acuerdo a las situaciones mencionadas anteriormente estos modelos se definen bajo una clasificación de estados del modelo estudiantil, el estado denominado estado consciente, para el primer caso, y el estado de modelo mixto para el segundo.

METODOLOGÍA

Planteamiento de las preguntas del *test*

El *test* elaborado se presentó a la comunidad docente universitaria, para lograr la validación de expertos, y posteriormente se realizó un ejercicio de validación local con estudiantes de ingenierías documentado por Becerra *et al.* (2017). Para el planteamiento inicial del *test* presentado de 23 preguntas, es necesario tener en cuenta los planteamientos hechos por Sandoval y Mora (2010) cuando definen tres modelos físicos de acuerdo con su relación con las teorías físicas:

- Modelo 1 –Correspondiente a un modelo correcto que concuerda con el modelo de los expertos.
- Modelo 2 –Correspondiente a un modelo parcialmente correcto, o incorrecto concordando con una explicación inadecuada de los conceptos físicos, la cual es común en los estudiantes.
- Modelo 3 –Correspondiente a un modelo nulo en el cual la respuesta de los estudiantes no es coherente con las teorías explicativas de los fenómenos físicos.

Vale la pena resaltar que en el diseño de un *test* de selección múltiple el orden de las respuestas que dan cuenta de los modelos no afecta el mismo, es allí donde en el diseño del *test* fue necesario aterrizar una coherencia entre las preguntas de él y los contenidos programáticos de la asignatura Electricidad y Magnetismo de la UAN, las preguntas propuestas para evaluar la comprensión de temáticas básicas fueron desarrolladas en la experiencia docente, y buscan medir el nivel de comprensión de algunos conceptos de electrostática y electrodinámica con la clasificación Fenómeno–pregunta (Tabla 1).

Tabla 1: Distribución de las preguntas del test propuesto en relación con las temáticas generales del curso de Electricidad y Magnetismo de la Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia.

Temática	Fenómeno/Concepto	# de pregunta
Ley de Coulomb	Carga eléctrica – Naturaleza de la electricidad.	1
Potencial eléctrico	Ley de Coulomb.	2, 3 y 11
	Campo Eléctrico.	4, 5 y 13
	Potencial eléctrico.	6 y 14
	Energía potencial eléctrica	12
Capacitancia	Capacitancia y acoples de capacitores.	7
	Energía en un capacitor	15
Ley de Ohm	Correcta relación entre las variables Corriente eléctrica, Voltaje y Resistencia eléctrica, así como sus instrumentos de medida	9, 16 y 17
Circuito R-C	Potencia eléctrica.	10
	Carga y descarga de un capacitor en un circuito R-C	8
Ley de Inducción de Faraday.	Fenómenos eléctricos relacionados con efectos magnéticos	18
	Campos, fenómenos y propiedades magnéticas.	19, 20 y 21
	Inducción	22 y 23

Fuente: Elaboración propia de los autores.

La validación local del *test* de 23 preguntas todas de selección múltiple única respuesta, con cinco opciones de respuesta las cuales valoran la comprensión de conceptos, relación de variables de distintos fenómenos y el funcionamiento de diferentes artefactos de la vida cotidiana, que para su funcionamiento requieren de avances científicos y tecnológicos, en este caso relacionados con la electricidad y el magnetismo, el *test* se enfocó a conceptos como la Fuerza Eléctrica, Campo Eléctrico, Potencial Eléctrico, Capacitancia, Resolución de Circuitos Eléctricos y Campo Magnético, siguiendo los lineamientos de la UAN la cual sugiere que la nota máxima que puede obtener un estudiante es 5,0 y la nota mínima es de 0,0, por lo cual, en el *test*, cada pregunta tiene un valor de 0,22.

Para realizar el análisis de un *test* de selección múltiple existen diferentes formas, que corresponden a distintos modelos, uno de ellos es modelo de la *Teoría Clásica de los Tests* (TCT) el cual fue utilizado en la validación local del *test* de la presente investigación mediante el método de correlación de matrices (Método de mitades partidas) y el coeficiente *Alfa de Cronbach* que indica la confiabilidad en términos de la consistencia interna para un instrumento de medición. Otro modelo utilizado para el análisis de las respuestas de un *test* es el modelo correspondiente a la Teoría de Respuesta al Ítem (TRI) que según Muñiz (1997) fue planteado como un enfoque en la teoría de las pruebas que posibilita superar algunas de las limitaciones de la Teoría Clásica de los *Test*, este enfoque se centra más en las propiedades individuales de las preguntas de un *test* que en las propiedades

Luego de aplicar el *test* se procedió a realizar la confiabilidad del mismo, para ello se utilizó en el grupo experimental, el método de mitades partidas, que como comenta Hernández *et al.* (2010) el total de los resultados del *test* se divide en dos mitades equivalentes y se comparan los resultados de ambas partes, el instrumento planteado es confiable si las puntuaciones de las dos mitades están correlacionadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del total de 140 pruebas presentadas en el grupo experimental, los resultados de la mitad **A** es decir, 70 estudiantes obtuvieron los resultados que se registran en las tablas 2 y 3. Se encontró un coeficiente de correlación entre las matrices de las mitades **A** y **B** (de 0,612), por lo tanto, la confiabilidad fue aceptable.

Tabla 2: Resultados en los pretest de la primera mitad de los grupos.

1,5	1	1,1	1	1	1,5	1,7	1,7	1,5	1,3
0,6	0,6	0,8	1	1,5	0,4	0,6	1,1	1,5	1
0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	1	1,7	0,9	0,9
0,9	0,9	0,9	0,9	1,1	1,7	2	0,6	1,7	1,7
2	0,9	0,9	1	1	0,9	1,5	2	0,9	0,9
1	0,9	1	0,5	1	0,9	0,9	1	1	1,5
1	0,9	0,7	1	1	0,5	0,9	0,5	2	0,9

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Mitad A, promedio de 1,06.

Tabla 3: Resultados en los pretest de la primera mitad de los grupos.

1,5	0,6	0,6	0,9	0,6	1,5	1,6	1,5	1,5	0,4
0,6	0,6	1,5	0,8	1,7	0,8	1,1	1,1	1,5	0,4
1,1	0,8	0,8	0,8	1	1,1	1	1,5	0,8	0,9
1,1	1,5	0,9	1	1,1	1,5	2	0,9	1,1	1,7
1,2	0,9	0,5	0,5	1	1	1,7	2,6	1	0,7
1	0,7	1	0,7	1,1	0,7	0,5	0,9	0,9	0,5

Fuente: Elaboración propia de los autores.

Mitad B, promedio de 1,00.

Luego de aplicar el *test* antes de iniciar la implementación de la propuesta (*pretest*) se procedió a hallar la confiabilidad y la validez del instrumento aplicado, encontrando un coeficiente de correlación entre las matrices de las mitades A y B (de 0,612) encontrando una confiabilidad aceptable.

CONCLUSIONES

El ejercicio de plantear un *test* de selección múltiple debe ir más allá del planteamiento de una pregunta y una opción de respuesta válida. Es necesario, tener tacto y plantear preguntas adecuadas, ya que, para encontrar los modelos de los estudiantes, las preguntas deben ser estructuradas de tal manera que los distractores apunten y sean coherentes con los modelos comúnmente incorrectos. Se recomienda que el número de opciones de respuesta se igual o mayor a 5, y que todas las opciones de respuesta estén acordes con al menos un modelo de pensamiento de los estudiantes.

El análisis de la concentración de respuestas es importante, los resultados del *pretest* permiten encontrar las ideas y concepciones previas de los estudiantes, el factor de concentración se puede utilizar para evaluar: los modelos que tienen los estudiantes sobre los fenómenos abordados y mejorar las estrategias de enseñanza por medio de distintos métodos.

La ventaja de encontrar *scores* de tipo LH en un *pretest* es que el docente puede identificar los modelos iniciales incorrectos y prepararse para saber cómo orientar el desarrollo de su propuesta académica.

La elaboración de pruebas teniendo como referente los modelos mentales, propicia las representaciones múltiples como estrategia de aprendizaje de la física y para el docente el reconocimiento de errores conceptuales por parte de los estudiantes.

La evaluación diagnóstica, formativa, sumativa y objetiva mediante la utilización de *test* de selección múltiple, favorece la caracterización de las prácticas de los docentes y ayudan a comprender y descubrir aspectos relevantes sobre la enseñanza de la física y la forma como se abordan las necesidades de mejoramiento individual del aprendizaje de los estudiantes.

La aplicación de la prueba permite diseñar alternativas de enseñanza de la física para superar modelos mentales científicamente incorrectos y lograr mejores explicaciones de los fenómenos físicos a partir del dominio conceptual propio de la física.

REFERENCIAS

Becerra, D., Mora, C., y Sánchez, R. (2017). *Enseñanza de conceptos de electricidad y magnetismo utilizando laboratorios virtuales con estudiantes de ingenierías de la Universidad Antonio Nariño*. Presentado en el Congreso Virtual Educa 2017. Disponible en: <http://recursos.portaleducoas.org/publicaciones/ense-anza-de-conceptos-de-electricidad-y-magnetismo-utilizando-laboratorios-virtuales> consultado el 12-09-2018

Benitez, M. (2017). La valoración de los applets, por parte del docente. *Revista de investigación en ingeniería*, 106-117.

ICFES. (1995). *Propuesta General. Cambios para el siglo XXI*. Bogotá: Icfes.

Greca, I., y Morerira, M. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza De Las Ciencias*, 16(2), 289-303.

- Maloney, D.P., O’Kuma, T.L., Hieggelke, C.J., and Van Heuvelen, A. (2001). Surveying students’ conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69(S1), S12-S23. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.1371296>
- Redish, E.F., Scherr, R.E., and Tuminaro, J. (2006). Reverse-engineering the solution of a “simple” physics problem: Why learning physics is harder than it looks. *The Physics Teacher*, 44(5), 293-300. DOI: <https://doi.org/10.1119/1.2195401>
- Sabella, M. (1999). *Using the context of Physics Problems Solving to Evaluate the Coherence of Student Knowledge*. Tesis Doctoral. Universidad de Maryland, Estados Unidos.
- Sandoval, M. (2009). *Aprendizaje Activo del campo eléctrico en estudiantes de ingeniería*. Tesis Doctoral. Doctorado en Ciencias en Física Educativa. Cicata Legaria Instituto Politécnico Nacional. México.
- Sandoval, M., y Mora, C. (2009). *Problemas de la enseñanza aprendizaje en una clase tradicional: Dificultades en estudiantes de nivel medio superior para relacionar el campo eléctrico con el potencial eléctrico*. Presentado en el VXII Taller Internacional: Nuevas tendencias en la enseñanza de la Física, Puebla México.