



## La importancia de la interdisciplina en la enseñanza del electromagnetismo en el nivel superior

Mirna Villavicencio<sup>a</sup>, Ricardo Méndez-Fragoso<sup>a</sup>, José Antonio Eduardo Roa-Neri<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Física. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México 04510, Cd. Mx.

<sup>b</sup>Área de Física Teórica y Materia Condensada. División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. México 02011. Cd. Mx.

### ARTICLE INFO

**Received:** Marzo 5, 2018  
**Accepted:** Noviembre 14, 2018  
**Available on-line:** Mayo 1, 2019

**Keywords:** enseñanza del electromagnetismo, cognición situada, desarrollo de proyectos, interdisciplina.

**E-mail addresses:**  
mirnavt@ciencias.unam.mx  
rich@ciencias.unam.mx  
rnjae@correo.uam.azc.mx

ISSN 2007-9842

© 2019 Institute of Science Education.  
All rights reserved

### ABSTRACT

Actually, it is impossible to study physics ignoring its applications in other fields of knowledge and in the technological development. We can also use this relationship to show physics as a science in continuous change which together with other areas of knowledge gives a better understanding of the world around us. At the same time, we can use interdisciplinarity as an excellent didactic resource to motivate students in the study of physics, in particular electromagnetism. It is contradictory that although we can not doubt of the scope and applications of electromagnetism in our daily lives, the subjects dedicated to its study in the undergraduate courses in the Faculty of Sciences of the UNAM exhibit a high index of failure. With the aim of solving this problem, this work presents a didactic proposal for the teaching of electromagnetism, where the countless applications that this area of physics has in the field of engineering, biology, medical physics and earth sciences are used. This work has as objective to teach the basic concepts of electromagnetism using interdisciplinarity, in order to motivate the undergraduate students in the study of electromagnetism at the same time that we give them the necessary knowledge to develop an empathy with other fields of knowledge promoting a critical and analytical thinking while they reflect on the scope that physics has in the development of knowledge.

Actualmente, es imposible centrarnos en el estudio de la Física ignorando sus aplicaciones en otros campos del conocimiento y en el desarrollo tecnológico. Así pues, podemos utilizar esta relación para mostrar a la física como una ciencia en continuo desarrollo que al trabajar en conjunto con otras áreas del conocimiento da lugar a una mejor comprensión del mundo que nos rodea. Al mismo tiempo, podemos utilizar a la interdisciplina como un excelente recurso didáctico para motivar a los alumnos en el estudio de la física y en particular del electromagnetismo. Aunque no podemos dudar de los alcances y aplicaciones del electromagnetismo en nuestra vida cotidiana, resulta contradictorio darnos cuenta de que las asignaturas dedicadas a su estudio en la Licenciatura en Física de la Facultad de Ciencias de la UNAM se encuentran entre las de mayor índice de reprobación. Con el objetivo de solucionar este problema, en este trabajo se presenta una propuesta didáctica para la enseñanza del electromagnetismo en el nivel superior, en la que se hace uso de las innumerables aplicaciones que esta área de la física tiene en el campo de la Ingeniería, la Biología, la Física Médica y las Ciencias de la Tierra. En esta propuesta se busca alcanzar un aprendizaje significativo de los conceptos básicos del electromagnetismo haciendo uso de la interdisciplina con el fin motivar al estudiante del nivel superior en el estudio del electromagnetismo al mismo tiempo que se le brindan los conocimientos necesarios que le permitan desarrollar una empatía con otros campos de conocimiento fomentando un pensamiento crítico y analítico al mismo tiempo que reflexiona sobre los alcances que la física tiene en el desarrollo del conocimiento.

## I. INTRODUCCIÓN

Usualmente, la enseñanza de la Física en el nivel superior se centra principalmente en cuatro áreas básicas: la mecánica clásica, la termodinámica, el electromagnetismo y la física cuántica, siendo el electromagnetismo un campo en el que los estudiantes presentan grandes problemas de aprendizaje a pesar de la gran cercanía que tienen con él al tener contacto cotidiano con sus principios básicos a través del manejo de los nuevos desarrollos tecnológicos. Estos problemas adquieren gran relevancia si consideramos que es precisamente esta estrecha relación entre el electromagnetismo y el desarrollo de la ciencia y la tecnología la que hace que sea un tema de estudio obligado en todos los cursos de física que se imparten en los diferentes niveles educativos, pues la comprensión de los conceptos básicos de esta área de la física introducirá al estudiante al pensamiento científico y le proporcionará un mejor entendimiento del mundo que lo rodea y el vertiginoso avance tecnológico del que somos testigos.

Así pues, la enseñanza del electromagnetismo es actualmente tema recurrente en la investigación educativa, en donde podemos encontrar diferentes estudios centrados en la discusión de los diferentes modelos educativos que pueden aplicarse para su enseñanza (Bagno et al., 1997; Debowska et al., 2003; Gireli et al., 2011; Guisasola et al., 2007, Kesonen et al., 2011; Pozo et al., 2006, Saarelainen et al., 2011; Squire et al., 2004; Wheatley, 1974) o bien, en las diversas estrategias didácticas que pueden emplearse para mejorar el aprendizaje de algunos temas en particular, como el concepto de campo (Bilal et al., 2009; Furio et al., 1998), la ley de Faraday (Guisasola et al., 2012; Guisasola et al., 2013; Seroglou et al., 1998), etc..

Cabe mencionar que en las licenciaturas de Física, Física Biomédica, Química, Ciencias de la Tierra y algunas de las ingenierías, el electromagnetismo no sólo es una asignatura obligatoria sino que usualmente se imparten al menos dos cursos: uno a nivel básico, en el que se discute la base conceptual y la fenomenología física, y otro sobre temas avanzados, en donde además se hace uso de todas las herramientas matemáticas que el estudiante ha adquirido en los cursos de matemáticas que previamente ha tomado. En estos cursos, los conceptos fundamentales se discuten con mayor o menor detalle dependiendo del perfil de egreso.

Es en este contexto que en este trabajo presentamos una estrategia didáctica cuyo principal objetivo es mejorar la enseñanza del electromagnetismo en la Licenciatura en Física que se imparte en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), utilizando a la interdisciplina como factor motivante.

## II. LA INTERDISCIPLINA Y LA ENSEÑANZA DEL ELECTROMAGNETISMO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNAM

La Facultad de Ciencias de la UNAM tiene tres funciones básicas, a saber, la docencia, la investigación y la extensión de la cultura, y desde su creación se ha fomentado la multidisciplinaria y la interdisciplinaria, lo cual puede observarse desde la formulación de los puntos que constituyen su misión (Facultad de Ciencias, 2016):

- Formar científicos dotados de una sólida preparación en su campo, con las aptitudes necesarias para actualizar permanentemente sus conocimientos y habilidades, dispuestos a colaborar provechosamente con expertos de otras disciplinas y poseedores de una ética personal, profesional y social firme.
- Realizar investigación básica cuya calidad y pertinencia permitan incrementar tanto los conocimientos propios de cada una de las áreas que se cultivan en la Facultad, como los de otros campos relacionados a éstas. Asimismo, llevar a cabo investigación aplicada a la identificación y solución de aquellos problemas que impidan el avance del país;
- Desarrollar, desde una perspectiva multidisciplinaria, la tecnología necesaria para fortalecer en México, la enseñanza y la investigación de las ciencias en todos los niveles y la calidad de vida de la población;
- Colaborar en el fortalecimiento de la cultura del país a través de acciones de difusión y divulgación que, por su impacto y trascendencia, consoliden a las ciencias como uno de los elementos fundamentales de la educación en México; y
- Hacer que la ciencia sea reconocida como un medio fundamental para el progreso económico, social y cultural de México, mediante una vinculación efectiva con los sectores público y privado.

La Facultad de Ciencias está constituida por tres áreas del conocimiento: Biología, Física y Matemáticas; en las que se imparten nueve licenciaturas: Actuaría, Biología, Ciencias de la Computación, Ciencias de la Tierra, Física, Física Biomédica, Manejo Sustentable de Zonas Costeras, Matemáticas y Matemáticas Aplicadas; cuyos planes de estudio (Facultad de Ciencias, 2018), y la flexibilidad de éstos, fomentan el intercambio de ideas entre los estudiantes de las diferentes carreras, pues algunas asignaturas obligatorias son comunes y los alumnos tienen la facilidad de poder cursar, como optativas, asignaturas de licenciaturas diferentes a la suya. Por otra parte, el compartir las instalaciones favorece una convivencia armónica entre personas cuyo interés principal se centra en diferentes áreas del conocimiento.

En particular, de las nueve licenciaturas, el Departamento de Física tiene asociadas tres: Física, Física Biomédica y Ciencias de la Tierra, siendo que estas dos últimas tienen un carácter explícitamente interdisciplinario. Aunque la licenciatura en Física no fue originalmente creada siguiendo esta visión, lo cual puede observarse en su currículo, el cual sigue un esquema tradicional en el que el conocimiento se fragmenta en asignaturas destinadas al estudio de un campo específico de la física, el hecho de que sus asignaturas se hayan convertido en asignaturas obligatorias para las otras dos licenciaturas y el que actualmente se cuente con 22 paquetes de asignaturas optativas dedicados a la profundización y actualización del conocimiento en las diferentes áreas de la Física y sus aplicaciones, incluso en otras áreas del conocimiento, la hacen implícitamente multidisciplinaria e interdisciplinaria. Esto último se ha venido reforzando con el cambio que han hecho los profesores al darse cuenta que deben modificar el enfoque de sus clases pues ahora cuentan con estudiantes con diferentes intereses académicos.

La interdisciplina en la licenciatura en Física resalta en las asignaturas dedicadas al estudio del electromagnetismo pues en éstas se trabaja estrechamente con la relación que existe entre la Física, las matemáticas, la historia, la tecnología, la ingeniería y el impacto que ha tenido la Física en el desarrollo de nuestra sociedad.

En la Licenciatura en Física, cuya duración es de nueve semestres, se imparten tres cursos obligatorios en los que se estudian los conceptos básicos del electromagnetismo: Física Contemporánea, materia del primer semestre en la que se incluye un módulo dedicado al electromagnetismo, Electromagnetismo I, en el cuarto semestre, y Electromagnetismo II, en el séptimo semestre.

Los estudiantes de la Licenciatura en Física Biomédica, cuya duración es de ocho semestres, deben cursar de forma obligatoria las asignaturas Electromagnetismo I y Electromagnetismo II de la licenciatura en Física, mientras que en la Licenciatura en Ciencias de la Tierra, cuya duración es de ocho semestres, se imparte en el quinto semestre el curso obligatorio de Fenómenos Electromagnéticos cuyo contenido incluye la mayoría de los temas que se revisan en Electromagnetismo I y II.

Ahora bien, el análisis de los índices de aprobación de los cursos Electromagnetismo I, Electromagnetismo II y Fenómenos Electromagnéticos, lleva a determinar que se tiene un grave problema en ellos ya que presentan un alto índice de reprobación, de hasta del 60%, que puede atribuirse a diversos factores que van desde dificultades en el aprendizaje hasta la falta de motivación. En especial, los problemas en los cursos de Electromagnetismo I y Fenómenos Electromagnéticos resultan preocupantes por tratarse de asignaturas de formación básica en la que los problemas en el aprendizaje generan en el estudiante un sentimiento de frustración que en muchas ocasiones lo desalienta y lo llevan a convertirse en alumno irregular e incluso a la deserción escolar. Así pues, nos encontramos ante un serio problema, en el que debemos revisar cada una de las posibles facetas para determinar las razones que llevan al fracaso escolar.

Para resolver los problemas existentes con la enseñanza del electromagnetismo en la Facultad de Ciencias es necesario entonces la generación de una metodología didáctica que enriquezca los cursos y considere las ventajas que una formación interdisciplinaria tiene en el desarrollo profesional del estudiante. En la estrategia didáctica que proponemos, -basada en la cognición situada, el desarrollo de proyectos y el uso de la interdisciplina-, además de cumplir con los objetivos específicos del programa de cada una de las asignaturas, se fomenta una actualización continua de la información y la discusión de las aplicaciones del electromagnetismo en un ambiente interdisciplinario de forma que se promueva la motivación, el logro de aprendizajes significativos en los alumnos, el desarrollo de habilidades y competencias y el que los alumnos se sientan cercanos a los conocimientos que están adquiriendo.

### III. MARCO TEÓRICO

La cognición situada, en la que se considera que el pensamiento se encuentra situado en contextos físicos y sociales es uno de los principios más importantes del constructivismo. Los procesos cognitivos, incluyendo la reflexión y el aprendizaje, deben ser considerados en términos de las relaciones entre el individuo y la situación y no como actividades que ocurren solo en la mente (Schunk, 1997). El enfoque de la cognición situada, que se basa en la idea original de Vigostky de que el conocimiento se adquiere y está ligado a situaciones históricas y sociales específicas (Knoers, 1996), es totalmente distinto a la aproximación cognitiva tradicional y por ende a las prácticas educativas en las que se olvidan los factores contextuales en el aprendizaje y la cognición, considerando que el conocimiento puede abstraerse de las situaciones en las que se aprende y se emplea. Los teóricos de la cognición situada, cuestionan la forma en que se enseñan aprendizajes declarativos abstractos y descontextualizados, conocimientos inertes, poco útiles y escasamente motivantes, de relevancia social limitada (Díaz Barriga et al., 2002) lo que se traduce en aprendizajes poco significativos, es decir carentes de significado, sentido y aplicabilidad, y en la incapacidad de los alumnos por transferir y generalizar lo que aprenden (Díaz Barriga, 2003).

En el caso de la enseñanza de la Física, desde el punto de vista de la cognición situada deberemos esperar que los alumnos lleven a cabo tareas relacionadas con la práctica científica, lo que les llevará a la apropiación de elementos propios de la misma. En este sentido, Roth y Roychoudhury (1993) han demostrado que los alumnos desarrollan destrezas de mayor nivel cognitivo en contextos educativos próximos a contextos de actividad reales aprendiendo a identificar y definir variables, interpretar, transformar y analizar datos, planificar y diseñar experimentos y formular hipótesis.

Por otra parte, la cognición situada tiene como beneficio adicional la motivación y ésta y el aprendizaje están relacionados, puesto que la buena enseñanza eleva la motivación y los estudiantes motivados buscan medios educativos eficaces (Schunk, 1991).

Ahora bien, de acuerdo con David Ausubel (1976), al alcanzar un aprendizaje significativo el alumno es capaz de relacionar la nueva información que adquiere con sus conocimientos y experiencias previas, superando entonces el conocimiento enciclopédico y la repetición memorística de los contenidos, logrando dar sentido a lo aprendido y entender su ámbito de aplicación y relevancia tanto en situaciones académicas como cotidianas.

En nuestra estrategia didáctica, se utiliza el desarrollo de proyectos y la interdisciplina con el objetivo de vincular el aprendizaje significativo y la cognición situada, de forma que se construye el conocimiento ligado a contextos reales, se desarrollan capacidades reflexivas y críticas.

Aunque el desarrollo de proyectos tiene sus orígenes en el trabajo de W. Kilpatrick (1921) dentro de un ámbito artístico, es clara la fuerte aplicación que tiene en el ámbito científico. De acuerdo con G. Posner (1998) lo importante de esta metodología es que esté organizada alrededor de actividades desde una perspectiva experiencial, donde el alumno aprende a través de la experiencia personal, activa y directa con el fin de iluminar, reforzar y asimilar el aprendizaje cognitivo.

En la actualidad, es evidente que existe una interacción cada vez más cercana de la Física con disciplinas como la biología, las ciencias de la salud, la computación, las ciencias ambientales, la economía e incluso con las ciencias sociales. La Física con sus teorías, modelos y metodología, se ha convertido en un pilar importante en el desarrollo de investigaciones interdisciplinarias en torno a objetos de estudio muy diversos. De aquí que es claro que si se desea promover un aprendizaje significativo del electromagnetismo se debe fomentar en los estudiantes la valoración de las repercusiones de éste en la ciencia, la tecnología, el medio ambiente y los aspectos sociales y culturales; asimismo, que relacionen los conceptos de éste con los de otras disciplinas para explicar los fenómenos y procesos naturales, y aplicarlos en contextos y situaciones de relevancia social y ambiental.

Cabe mencionar que la motivación juega un papel importante en el aprendizaje pues es ésta la que impulsa al estudiante a alcanzar metas, lo que en este caso es aprender. Tanto el desarrollo de proyectos, en donde el estudiante puede expresar sus talentos e intereses, así como la interdisciplina, en la que el estudiante puede observar como el conocimiento de diferentes áreas colaboran en la solución de problemas reales que afectan a nuestra sociedad, son excelentes recursos que favorecen la motivación.

Ahora bien, la cognición situada y el aprendizaje significativo van de la mano con la interdisciplina. Posada (2004), analizando a Piaget, propone tres dimensiones de integración disciplinar:

La multidisciplinariedad, que es el primer nivel de integración. Aquí se busca la información y ayuda de varias disciplinas para resolver un interrogante, problema o situación, sin que dicha interacción contribuya a modificar o enriquecer estas disciplinas. Esta puede ser la primera fase de la constitución de equipos de trabajo interdisciplinario.

La interdisciplinariedad, que es el segundo nivel de integración disciplinar, en el cual la cooperación entre diversas disciplinas lleva a interacciones reales, es decir, una verdadera reciprocidad en los intercambios y, por consiguiente, a un enriquecimiento mutuo. En consecuencia, llega a lograrse una transformación de los conceptos, las metodologías de investigación y de enseñanza. Implica también, a juicio de Torres (1996) la elaboración de marcos conceptuales más generales en los cuales las diferentes disciplinas en contacto son a la vez modificadas y pasan a depender unas de otras.

La transdisciplinariedad, que es la etapa superior de integración disciplinar, en donde se llega a la construcción de sistemas teóricos totales (macrodisciplinas o transdisciplinas), sin fronteras sólidas entre las disciplinas fundamentadas en objetivos comunes y en la unificación epistemológica y cultural.

En la estrategia didáctica que proponemos nos se llega a la segunda fase, la interdisciplinariedad, con el objetivo de mejorar los aprendizajes y motivar al estudiante.

#### **IV. LA ESTRATEGIA DIDÁCTICA Y SU IMPLEMENTACIÓN**

Lo común en las clases de electromagnetismo que se imparten en la Facultad de Ciencias es que el profesor utilice como único recurso didáctico el pizarrón, dedicando la mayor parte de su clase a exponer los conceptos básicos de forma matemática y resolviendo una gran cantidad de ejercicios, los cuales usualmente ya se encuentran resueltos en los libros de texto, de hecho, muchas veces la clase suele ser la transcripción del material que se encuentra en el libro que el docente ha elegido como “el libro de texto”. Ante esta actitud, los estudiantes se transforman en sujetos pasivos cuya actividad se limita a tomar apuntes, rara vez intervienen en clase y no demuestran una independencia académica que les lleve a ver más allá de lo visto en clase. Los profesores creen que los estudiantes han aprendido y los estudiantes creen comprender lo que el profesor ha expuesto, resultado de la poca comunicación que existe entre profesor y estudiante.

Todos estos problemas se hacen patentes durante la evaluación, la cual suele ser una de tipo tradicional basada en la presentación de exámenes escritos y tareas semanales, en los cuales se suele pedir al estudiante resuelva una serie de problemas analíticos con igual o mayor grado de dificultad que los vistos en clase.

Así pues, nos encontramos ante el desafío de proponer una nueva estrategia de enseñanza, en donde se establezca una comunicación real entre profesor y estudiantes, se fomente el aprendizaje y se motive al estudiante al proponer nuevos temas de discusión en los que se tome en cuenta la interdisciplina inherente a la Física y en particular al electromagnetismo.

Como punto de partida nos centramos en la asignatura Electromagnetismo I y la estrategia didáctica que se presenta ha sido planeada de forma que se cumplan los siguientes objetivos:

Se espera que los estudiantes

- Cumplan con los objetivos planteados en el temario del curso, es decir, conozcan y comprendan los conceptos fundamentales del electromagnetismo.
- Comprendan las aplicaciones del electromagnetismo en las diferentes áreas del conocimiento y el impacto social que éstas han tenido.
- Puedan explicar, basándose en lo aprendido a lo largo del curso, el funcionamiento de algunos de los dispositivos tecnológicos que utilizan en su vida diaria.
- Comprendan la relación del electromagnetismo con otras áreas de la ciencia, la tecnología y las humanidades.
- Desarrollen la capacidad y actitud de investigar, construir, aprender e innovar de forma independiente, pero que también puedan trabajar en equipo, desarrollando una responsabilidad individual y colectiva.
- Adquieran las capacidades y estrategias cognitivas para la resolución de problemas.
- Adquieran competencias comunicativas.

- Dejen de ver al profesor como la única fuente de información y conocimiento.

A partir de estos objetivos, así como del marco teórico presentado en la sección anterior, nuestra estrategia didáctica está estructurada de la siguiente manera:

El punto de partida consiste en hacer que los estudiantes sientan la necesidad de encontrar solución a un problema o situación determinada, presentándole en primera instancia aquellos que están relacionados con situaciones que le son familiares y en los que están involucrados distintas áreas del conocimiento. Esto no sólo los motiva, sino que siembra en ellos la inquietud por aprender.

Cada uno de los temas incluidos en el temario se presenta de forma que se relaciona con los conocimientos que ya posee el alumno, de tal manera que los sienta cercanos a las construcciones cognitivas que ya tiene, pero teniendo cuidado en que tampoco parezcan demasiado semejantes a las mismas para no eliminar la motivación por aprender.

En clase, y fuera de ella, se fomenta el uso de las Tecnologías para la Información y la Comunicación (TIC), lo que facilita la exposición y discusión de aplicaciones prácticas del electromagnetismo, ya sea en la vida cotidiana o en otras disciplinas. Cabe mencionar que aunque el profesor elige aplicaciones que sean motivantes, situadas en contexto y adaptadas a la capacidad y nivel cognitivo que se espera alcanzar, también se procura que sea el propio alumno el que sugiera alguna de éstas. Aunado a esto, se discuten ejemplos y se resuelven problemas en los que se favorece la interdisciplina, considerando que, como ya mencionamos, en la Facultad de Ciencias asisten a los cursos los estudiantes de las licenciaturas de Ciencias de la Tierra, Física y Física Biomédica.

Como parte de la evaluación se consideran, al igual que en los cursos tradicionales, tareas semanales con la característica de que se contemplan dos tipos de problemas: cualitativos y cuantitativos. En los problemas cualitativos, sin la necesidad de recurrir a cálculos numéricos el estudiante puede establecer, a través del razonamiento, una relación entre los contenidos específicos del tema y algún fenómeno físico que ha podido observar ya sea en clases anteriores o su vida cotidiana. Por otro lado, en los problemas cuantitativos el estudiante debe trabajar con información cuantitativa y datos numéricos para alcanzar una solución, que le entrenan en el uso de técnicas y algoritmos que le permitirán abordar problemas más complejos, a la vez que le facilitarán la comprensión de los conceptos estudiados.

En clase se invita a los alumnos a explicitar sus ideas y modelos explicativos sobre el tema de estudio, además que se les presenta una actitud abierta para que también fuera de clase establezcan comunicación con el profesor para externar sus dudas, ideas e inquietudes. Es de mencionar que las TIC favorecen esta comunicación. Ya que el curso tiene asociada una página electrónica, en donde el estudiante puede consultar todo lo relacionado con éste y externar sus comentarios, ya sea a través de la misma página electrónica o a través del correo electrónico, se puede establecer una comunicación directa y continua, lo cual además se incentiva a través de la invitación directa a hacer una visita presencial al profesor en su oficina cuando se tengan dudas.

Al inicio del curso, se propone a los estudiantes el desarrollo, por equipos, de un proyecto final en el que se apliquen los conceptos fundamentales del electromagnetismo. Este proyecto es elegido por los propios estudiantes con el objetivo de que se sientan interesados y motivados.

Durante el desarrollo de sus proyectos, los cuáles pueden ser experimentales o teóricos, los estudiantes son supervisados por el profesor o ayudantes asociados al curso, generan hipótesis, dan sentido a lo aprendido y entienden su ámbito de aplicación. En esta fase, en la que se desarrollan capacidades reflexivas y críticas, el estudiante puede buscar información en diferentes fuentes y muchas veces necesita de nuevos conceptos para interpretar y dar solución a los problemas que se le presentan fomentando que busque ayuda ya sea con el mismo profesor o profesores de otras asignaturas. Como resultado de la búsqueda de información para el desarrollo de su proyecto, los estudiantes ven la relevancia y utilidad de lo aprendido. Al final se espera que el estudiante haya conceptualizado y estructurado los conocimientos implicados en su proyecto, además de que se promueven las habilidades de aplicación e integración del conocimiento, juicio crítico, toma de decisiones y solución de problemas en los alumnos.

Por otra parte, dado que uno de los puntos esenciales del desarrollo humano y social es la comunicación, al final del curso se realiza la presentación de los proyectos elaborados por los estudiantes, lo que fomenta el desarrollo de

competencias comunicativas que son indispensables si consideramos los estudiantes deben ser no sólo capaces de apropiarse del conocimiento sino que también deben poder transmitirlo a través de distintos medios y recursos.

## V. IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA

La estrategia didáctica que aquí se plantea se ha desarrollado durante los últimos cuatro años, y ha ido evolucionando en términos de los resultados obtenidos. Se ha implementado en al menos seis grupos de la asignatura Electromagnetismo I, de 50 alumnos en promedio, de la Licenciatura en Física. Dado que se trata de una asignatura del cuarto semestre, se espera que los estudiantes posean los conocimientos de electromagnetismo adquiridos a lo largo de su trayectoria en la educación básica, media y media superior, así como las observaciones que ha realizado en su vida cotidiana. Previo a este curso, los estudiantes han cursado las asignaturas antecedentes de física –Física Contemporánea, Mecánica Vectorial y Fenómenos Colectivos- y por lo menos tres cursos básicos de cálculo diferencial e integral y geometría analítica, y un curso básico de álgebra, álgebra lineal, y ecuaciones diferenciales, lo que en un principio les brindan el manejo de los conceptos previos y de las herramientas matemáticas necesarias para un adecuado desempeño académico.

A continuación, se listan (Tabla I) algunos los temas, en los que se fomenta la interdisciplinariedad, que se incluyen en la discusión de los conceptos fundamentales del electromagnetismo:

**TABLA I.** Temas discutidos en el curso de Electromagnetismo I

Concepto	Tema discutido
Electrostática	Funcionamiento de las fotocopiadoras, separadores de semillas y rocas con minerales. La aplicación de pintura a los automóviles. El uso de la electrostática por algunos animales.
Campo eléctrico	Explicación sobre las descargas eléctricas que observamos en la vida cotidiana. El campo eléctrico terrestre
Conductores en equilibrio electrostático	Medición de la carga de la Tierra. Funcionamiento de una jaula de Faraday y su uso en los dispositivos eléctricos. Funcionamiento y usos de una cámara semianecoica
Capacitores	La Tierra como un capacitor. Uso de los desfibriladores en la medicina. Funcionamiento de las pantallas táctiles. Explicación sobre las tormentas eléctricas. Pureza de las sustancias en términos de su permeabilidad eléctrica. Funcionamiento de la membrana celular como un capacitor.
Diferencia de Potencial	Diseño y funcionamiento de las baterías. Explicación sobre el significado de la tierra física en una instalación eléctrica
Momento dipolar eléctrico	Funcionamiento del horno de microondas
Campos electrostáticos en medios dieléctricos	Tormentas eléctricas dependiendo de la humedad del aire. Capacitores con medios materiales en su interior.
Corriente Eléctrica y Circuitos Eléctricos	Ventajas y desventajas de la conexión de resistencias en serie y paralelo. Instalaciones eléctricas caseras y funcionamiento de diversos componentes eléctricos.
Efecto Joule	Funcionamiento de calentadores eléctricos, el horno eléctrico y otros aparatos electrodomésticos. Modelo microscópico de la Ley de Ohm. Transformación de la energía.
Campo magnético	Uso práctico de los imanes. Funcionamiento y construcción de electroimanes Producción de campos magnéticos con corrientes eléctricas estacionarias.
Momento dipolar magnético	Funcionamiento de los aparatos de resonancia magnética. Cintas magnéticas
Inducción electromagnética	Estufas de inducción magnética. Construcción de detectores de metales. Lámparas de inducción magnética a partir de movimiento mecánico.
Ondas electromagnéticas	Funcionamiento de radares y radiotelescopios. Funcionamiento de los aparatos de rayos X y resonancia magnética. Radiación solar y efecto Doppler. Unificación de la teoría eléctrica y magnética.

En la evaluación del proyecto no solo se tomó en cuenta el producto final y su exposición, sino también se consideró el proceso de planeación y desarrollo.

## VI. RESULTADOS

Durante las primeras semanas, los estudiantes presentaron problemas con el uso de las herramientas matemáticas, principalmente con el álgebra vectorial, a pesar de la formación matemática que habían recibido en cursos previos. Estos problemas se vieron reflejados en la resolución de problemas cuantitativos enfocados a la Ley de Coulomb y al concepto de campo eléctrico. En el primer examen, encaminado a la evaluación del aprendizaje de estos dos conceptos, el 75% de los estudiantes obtuvo una calificación no aprobatoria, lo que contrastó con el hecho de que en las primeras tareas los estudiantes resolvieron problemas, tanto cualitativos como cuantitativos, dirigidos a medir el aprendizaje del concepto de vector y del álgebra vectorial y su aplicación a la resolución de problemas de ley de Coulomb. Una posible explicación a este primer resultado negativo es el que actualmente existe una desconexión entre los cursos de matemáticas y física que cursan los estudiantes de la Licenciatura en Física. Ya que en las asignaturas de matemáticas se encuentran inscritos estudiantes de las distintas licenciaturas de la Facultad de Ciencias y son impartidas directamente por profesores especializados en matemáticas, los docentes hacen énfasis en los aspectos teóricos refiriéndose pocas veces, o ninguna, a la aplicación de las herramientas matemáticas y a la relación de éstas con la física. Este es otro problema pendiente que deberá resolver la licenciatura en Física, posiblemente con el planteamiento de una actualización a su plan de estudios y a los objetivos específicos de las asignaturas de matemáticas contenidas en él.

El análisis y discusión de estos resultados con los estudiantes les llevó, en su mayoría, a cambiar de actitud frente al curso pasando de un papel pasivo a uno ampliamente participativo tanto durante la clase como fuera de ella, con lo que se dio inicio a un trabajo colaborativo y el mejoramiento de la comunicación entre profesor y estudiantes.

Dado que los conceptos fundamentales del electromagnetismo poseen un alto grado de abstracción, a pesar de que algunos de ellos aparecen en el lenguaje cotidiano y sus aplicaciones son ampliamente conocidas, los estudiantes tienden a utilizar su sentido común para explicarlos de manera que tienden a cometer errores conceptuales. En este sentido, la discusión de aplicaciones prácticas del electromagnetismo y su relación con otras áreas de la Física y del conocimiento, tuvo un excelente resultado al fomentar un aprendizaje significativo en donde los errores conceptuales fueron minimizados al motivar a los estudiantes a participar en clase explicitando sus ideas. En algunos casos, los mismos estudiantes propusieron el desarrollo de algunos temas que les resultaban interesantes.

Los proyectos realizados por los estudiantes a lo largo de los cursos se enlistan en la Tabla II. En ellos se pueden observar dos tipos de trabajos: los encaminados a discutir o demostrar los conceptos básicos del electromagnetismo desde el punto exclusivo de la Física y los que implican sus aplicaciones a otros campos del conocimiento y el trabajo interdisciplinario. Cabe mencionar que estos últimos fueron los que mayor interés despertaron entre los estudiantes en el momento de ser presentados. En estos proyectos pudo observarse el trabajo colaborativo y el interés que los estudiantes demostraban en la búsqueda de información en distintos medios e inclusive, algunos estudiantes solicitaron la asesoría académica de profesores de otras licenciaturas u otros cursos de Física, lo que les llevó a concluir que esta última debe de ser vista como un todo y no como una colección de conocimientos específicos.

La presentación de los proyectos al final de los cursos favoreció la convivencia y el intercambio de ideas entre pares, ya que los alumnos expresaron sus ideas, presentaron sus argumentos, escucharon opiniones y retomaron ideas para reconstruir las propias.

Finalmente, después de realizar la evaluación, las calificaciones presentaron una ligera mejora con respecto a las calificaciones que se obtuvieron en cursos anteriores en los que se aplicaba la estrategia de enseñanza tradicional. Se obtuvo un índice de aprobación del 66%.



**TABLA II.** Proyectos presentados por los estudiantes de Electromagnetismo I

<b>Curso de Electromagnetismo I</b>
Construcción de un cañón de Gauss
Construcción de un encefalógrafo con fines didácticos
Comprobación de la Ley de Curie
Construcción de un motor eléctrico
Construcción de una máquina de Whimshurts
Construcción de un van der Graaff
Construcción de un acelerador circular
Construcción de un circuito oscilador
Construcción de una bocina
Construcción de un radio de galeana
Construcción de una guitarra eléctrica
Cañón de Gauss para impulsar un tren magnético
Construcción de una botella magnética
Construcción de generador de corriente adaptado a una tubería
Construcción de generador de corriente para una bicicleta
Construcción de un colorímetro para detectar contaminación en el agua
Construcción de una pila voltaica casera
Generación de energía eléctrica utilizando un aerogenerador
Modelo de la interacción eléctrica en el ADN

## VII. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos podemos concluir que nuestra propuesta didáctica es un paso en el mejoramiento de la enseñanza del electromagnetismo en la Licenciatura en Física de la Facultad de Ciencias. Su impacto ha sido positivo al mejorar el índice de aprobación con respecto a los cursos en los que se utilizaba la clase tradicional.

Sin embargo, aún continúan presentes algunos problemas específicos que deben ser analizados con mayor detalle, y de manera colegiada, para hacer mejoras que realmente se reflejen en el mejoramiento del aprendizaje del electromagnetismo. Entre estos puntos destacan la falta de comunicación entre los profesores de las asignaturas de matemáticas y los de Física, lo que de solucionarse seguramente incidirá favorablemente en el manejo de las herramientas matemáticas en los cursos de física, y la duda de algunos profesores para cambiar y modernizar sus estrategias didácticas.

Con el objetivo de proporcionar una formación integral a los estudiantes para que sean capaces de enfrentar los problemas actuales que aquejan a nuestra sociedad desde una perspectiva en la que se integren las diversas disciplinas, conocimientos, habilidades, prácticas y valores, es fundamental incorporar a la interdisciplina desde el diseño mismo de los planes de estudio y las estrategias didácticas en el nivel superior.

La presencia de estudiantes de diferentes licenciaturas en el curso de Electromagnetismo I implica directamente el utilizar problemas que implican el acercamiento desde diferentes perspectivas, siendo entonces el enfoque tradicional ya obsoleto.

En la enseñanza del electromagnetismo uno de los problemas más extendidos es la excesiva abstracción de las actividades que se plantean al estudiantes, así que la inclusión de la discusión de las múltiples aplicaciones del electromagnetismo en distintas disciplinas no sólo enriquece la enseñanza de los conceptos básicos del electromagnetismo sino que también motiva a los estudiantes hacia el aprendizaje, fomenta estrategias cognitivas complejas, les proporciona una formación integral y fomenta un pensamiento crítico que les permitirá acceder a mejores oportunidades para su desarrollo profesional.

El trabajo colaborativo, necesario en el desarrollo de proyectos, permite obtener resultados en distintos puntos: en la formación en valores, así como en la formación académica, en el uso eficiente del tiempo de la clase y en el respeto a la organización escolar. Además, fomenta el aprendizaje significativo y el desarrollo de competencias de resolución de problemas mediante la investigación auto dirigida de los estudiantes. La convivencia y trabajo de investigación en

equipos lleva a que los estudiantes expresen sus descubrimientos, soluciones, reflexiones, dudas, coincidencias y diferencias construyendo en colectivo.

El aprender electromagnetismo, no solo implica aprender conceptos y modelos, sino también participar en la cultura científica. Los avances que se presentan en este trabajo contribuyen a la formación integral de los alumnos ya que se fomenta el intercambio de ideas, metodologías y materiales entre los estudiantes y los profesores participantes.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de DGAPA-UNAM a través del proyecto PAPIME PE104917.

## REFERENCIAS

- Ausubel, D. (1976). *Psicología educativa*. México: Trillas.
- Bagno, E., & Eylon, B. S. (1997). From problem solving to knowledge structure: An example from the domain of electromagnetism. *Am. J. Phys.*, 65 (8), 726-736.
- Bilal, E., & Mustafa E. (2009). Investigating students' conceptions of some electricity concepts. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 3 (2), 193-201.
- Debowska, E., et al. (2003). Report and recommendations on multimedia materials for teaching and learning electricity and magnetism. *Eur. J. Phys.*, 34, L47.
- Díaz Barriga, F., & Hernández, G. (2002). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*. México: McGraw Hill.
- Díaz Barriga, F. (2003). Cognición situada y estrategias para el aprendizaje significativo. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 5 (2), 1-13.
- Facultad de Ciencias (2016). Plan de Desarrollo de la Facultad de Ciencias 2006-2010. Recuperado el 7 de septiembre de 2018, de <http://www.fciencias.unam.mx/direccion/plandesarrollo06-10.pdf>
- Facultad de Ciencias (2018). Planes de Estudio. Recuperados el 7 de septiembre de 2018, de:  
<http://www.fciencias.unam.mx/licenciatura/mapa/106/1081>  
<http://www.fciencias.unam.mx/licenciatura/mapa/134/2016>  
<http://www.fciencias.unam.mx/licenciatura/mapa/127/1443>
- Furio, C., & Guisasola, J. (1998). Difficulties in learning the concept of electric field. *Science Education*, 82 (4), 511-526.
- Girelli, M., & Dima, G. (2011). Enseñanza por competencias en la universidad: Un ejemplo del electromagnetismo básico. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 5 (2), 543-546.
- Guisasola, J., Michelini, M., Mossenta, A., Testa, I., Viola, R., & Testa, I. (2007) Teaching electromagnetism: Issues and changes. *Proceedings of the Girep/EPEC Conference on Frontiers of Physics Education*, p. 33-37.
- Guisasola, J., Garzon, I., & Zuza, K. (2012). Research based teaching sequence of electromotive force in the context of circuits. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 6 (3), 337-343.
- Guisasola, J., et al. (2013). An analysis of how electromagnetic induction and Faraday's law are presented in general physics textbooks, focusing on learning difficulties. *Eur. J. Phys.*, 34, 1015.

- Kesonen, M. H. P., et al. (2011). University students' conceptions of electric and magnetic fields and their interrelationships. *Eur. J. Phys.*, 32, 521.
- Kilpatrick, W. (1921). Dangers and difficulties of the project method and how to overcome them: Introductory statement, definition of terms. *Teachers College Record*, 22 (4), 283-288.
- Knoers, A. (1996). *Paradigms in Instructional Psychology*. En de Corte, E. & Weinert, F. (eds.) International encyclopedia of developmental and instructional psychology. Oxford: Pergamon Press.
- Posada, Rodolfo. (2004). Formación superior Basada en competencias: interdisciplinariedad y trabajo autónomo el estudiante. *Revista Iberoamericana de Educación Número 18*. Organización de Estados Iberoamericanos.
- Posner, G. (1998). *Enfoque de proyectos*. En G. Posner, Análisis del currículo (pp. 181-190). Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill.
- Pozo, J. I., & Gómez Crespo M. A. (2006). *Aprender y Enseñar Ciencia*. Madrid: Ediciones Morata.
- Roth, W.M., & Roychoudhury, A. (1993). The development of science process skills in authentic contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (2), 127-152.
- Saarelainen, M., Aisikainen, M. A., & Hirvonen P.E. (2011). Developing instruction in magnetostatic at undergraduate level. Part I. Undergraduate students' initial knowledge of magnetic field and magnetic force. *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, 5 (3).
- Schunk, D. H. (1991). Self-efficacy and academic motivation. *Educational psychologist*, 26 (3-4), 207-231.
- Schunk, D. H. (1997). *Teorías del Aprendizaje*. México: Prentice Hall.
- Seroglou, F., Panagiotis, K., & Vassilis, T. (1998). History of science and instructional design: the case of electromagnetism. *Science & Education*, 7, 261-280.
- Squire, K., Barnett, M., Grant, J. M., & Higginbotham, T. (2004). Electromagnetism Supercharged. Learning physics with digital simulation games. *Proceedings of the 6th international conference on Learning Sciences*. 513-520. Consultado el 25 de julio de 2014 en: [dl.acm.org/citation.cfm?id=114989](http://dl.acm.org/citation.cfm?id=114989).
- Torres, J. (1996). *Globalización e interdisciplinariedad. El curriculum integrado*. Madrid: Morata.
- Wheatley, G. A. (1974). The teaching of electromagnetism. *Phys. Edu.*, 9, 280.