

La historia en la enseñanza y aprendizaje de los campos clásicos

José Luis Álvarez López¹, Omar Jaimes Gómez² y Alberto Sánchez Moreno¹

¹Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica. Departamento de Posgrado, México. E-mails: jalvarez@ciidet.edu.mx, asanchez@ciidet.edu.mx. ²Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México. E-mail: omarjaimesg@yahoo.com.mx

Resumen: En el presente trabajo se realiza una propuesta para enseñar el concepto de campo gravitacional y electromagnético considerando para ello el desarrollo histórico de tales conceptos. Se propone destacar la importancia que tiene el conocer la historia de la ciencia, en particular la relacionada con el concepto de campo, por parte del docente para presentarlo de la manera más adecuada a los estudiantes de ciencias e ingeniería que cursan asignaturas en las cuales estos temas son relevantes.

Palabras clave: enseñanza de la física, métodos y estrategias de enseñanza, historia de la ciencia.

Title: History in teaching and learning classical fields.

Abstract: In this work we present a proposal to teach gravitational and electromagnetic fields considering the historical development of such concepts. We propose to emphasize the importance of understanding the historical development of science by the teacher in order to present in a way more appropriate the concepts, in particular the field concept, to the science and engineering students which are studying this topic.

Keywords: teaching physics, methods and strategies of teaching, history of science.

Introducción

Uno de los principales conceptos que se estudian y se enseñan en los cursos de física a nivel superior en las instituciones educativas de nuestro país, como son los Institutos Tecnológicos pertenecientes al Tecnológico Nacional de México (SEP, Tecnológico Nacional de México, 2016) o la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, 2016), es el concepto de campo. Este concepto, que es parte fundamental del conocimiento que tenemos de la naturaleza en la actualidad, no ha sido sencillo de comprender (Berkson, 1993), y mucho menos de enseñar. La complejidad de esta tarea ha generado una problemática técnica en los docentes que tienen a su cargo cursos donde es indispensable lograr un correcto entendimiento de tal concepto y que además garantice el cumplimiento de los objetivos de los programas de estudio, así como el aprendizaje por parte de la población estudiantil.

Durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, profesores y estudiantes se enfrentan a diferentes problemáticas cuando de enseñar y aprender física se trata; la más frecuente, que es mencionada en numerosos estudios (Hierrezuelo y Montero, 2002), es la prevalencia de teorías alternativas (por parte de los estudiantes) de los conceptos que de la física se tienen. Esta situación está presente en diversas ideas físicas (Hierrezuelo y Montero, 2002) como pueden ser la velocidad, la rapidez, la aceleración, la fuerza, así como también en el caso del concepto de campo —que presenta una dificultad mayor— porque los involucrados se enfrentan por primera vez con un grado de abstracción muy particular.

Una segunda dificultad a la que se enfrenta el docente, es el pobre conocimiento de los alumnos sobre las matemáticas que se necesitan para comprender los temas de física. En el caso del concepto de campo, las complicaciones se manifiestan de manera sobresaliente debido a que su descripción trasciende el álgebra elemental. Finalmente, se menciona que la queja de los maestros está relacionada con la poca motivación e interés que los estudiantes tienen por aprender ciencias (Gilbert, Osborne y Fensham, 1982).

Este trabajo se limita a plantear como hipótesis la posibilidad de que la historia del desarrollo de la ciencia forme parte fundamental del quehacer docente en las asignaturas de física, ya que en este contexto los alumnos comprenderán mejor de qué forma ésta se ha constituido y desarrollado, propiciando una actitud positiva hacia el conocimiento científico.

Un estudio contextualizado interesará a los alumnos en participar en la construcción de su propio conocimiento y, por supuesto, en el proceso de enseñanza-aprendizaje de estos conceptos físicos. Además, el conocimiento adecuado de la historia de la física por parte del profesor permitirá presentar de mejor forma los conceptos de la disciplina (Valera et al., 1983). Por lo tanto, la propuesta del trabajo es considerar a la historia como un instrumento didáctico que ayude al proceso de enseñanza y aprendizaje de la física, particularmente del concepto de campo.

Fundamentación teórica

La necesidad del campo

La concepción mecánica del universo en que vivimos tiene sus orígenes en el siglo XVI y XVII con los brillantes trabajos de Galileo y Newton (Galilei, 1953; Newton, 2013). La Física desarrollada por Newton es una precisa y poderosa teoría que describe y permite entender el movimiento, uno de los hechos más importantes para comprender nuestro universo. La física newtoniana, sintetizada en sus tres leyes, tiene como base fundamental el concepto de fuerza, concepto que indica la interacción entre las diferentes propiedades de la materia; por ejemplo, la fuerza de gravitación se manifiesta por la propiedad de la materia llamada masa (French, 1978). Sin embargo, la mecánica no es suficiente para poder entender o describir todos los fenómenos de la naturaleza; de hecho, el concepto de interacción, involucrado explícita e implícitamente en el concepto de fuerza, trae consigo interrogantes que a la mecánica le es difícil explicar. El mismo Newton lo expresa en la siguiente frase (Cohen, 1978):

"(...) que la gravedad sea innata, inherente y esencial a la materia de modo tal que un cuerpo pueda actuar sobre otro a distancia a través del vacío sin la mediación de nada más, para mí es un absurdo tan grande que no creo que nadie competente en asuntos filosóficos lo podría aceptar."

El problema de la acción a distancia, como se le suele denominar a esta situación, preocupó a muchos filósofos naturales, tales como Huygens y Leibniz (Koyré, 1965), que trataron de dar explicaciones al respecto, pero sin éxito alguno. Así que el problema prevaleció durante mucho tiempo. La solución al problema de la interacción a distancia tuvo que esperar hasta el siglo XIX con el desarrollo del electromagnetismo por parte de Faraday, Oersted, Ampere y Maxwell. Fue Michael Faraday quien mediante sus ideas acerca de las líneas de fuerza empezó a conducir hacia el concepto de campo, tarea que culminó James Clerk Maxwell en 1860 (Koyré, 1965) al definir al campo como una forma de energía (sin materia) y que se describe matemáticamente, lo cual queda expresado en sus maravillosas ecuaciones.

Las mismas ideas de Faraday y Maxwell pueden aplicarse al caso del campo gravitacional, es decir, para cada punto del espacio el campo tiene un cierto valor que nos indica cómo se mueve una carga o una masa. Pero el campo no sólo resuelve el problema de la acción a distancia, sino que además adquiere un carácter sobresaliente al ayudar a entender otros fenómenos de la naturaleza que con la mecánica de Newton resultan difíciles de comprender.

Supongamos, por ejemplo, que se tiene el siguiente experimento: Un imán de barra colocado cerca de un alambre en forma de espiral (solenoides) conectado a un detector de corriente (amperímetro), tal que el imán se acerca y se aleja del solenoide. Inmediatamente, el amperímetro conectado al solenoide empieza a funcionar indicando una corriente de corta duración. ¿Cómo sucedió esto? Pues no existe una fuente eléctrica que justifique la detección de tal corriente. ¿Qué diría la mecánica newtoniana al respecto? Que la corriente en el solenoide apareció debido a que los electrones en el alambre se movieron y, de acuerdo con Newton, para moverlos es necesario aplicar una fuerza. ¿Cómo apareció esa fuerza? Si se hace una revisión crítica del experimento, se podrá decir que el responsable de dicha fuerza es el movimiento del imán de barra (piense por el momento que se puede ignorar el hacer una reflexión con respecto al problema de la acción a distancia).

Ahora, si se siguieran los lineamientos de la teoría newtoniana, se buscarían las variables o parámetros de los cuales dependería la fuerza. Esta forma de trabajar llevaría a pensar inmediatamente en el parámetro de la velocidad, en la forma del imán y, siendo más sofisticados, en la forma del solenoide. El lector con conocimientos en mecánica se dará cuenta que encontrar este tipo de dependencia es una tarea difícil o casi imposible.

Para complicar aún más la situación inicial del experimento, piense que se tiene otro solenoide conectado a una fuente de corriente (en vez del imán de barra) moviéndolo cerca del primer solenoide. Nuevamente se observará el mismo fenómeno inicial, es decir, aparecerá una corriente en el amperímetro conectado al primero de ellos. Entonces, la dependencia mecánica buscada seguramente no sería la misma que en la primera

configuración, ya que se podría tratar de dar una explicación mecánica del experimento siguiendo un camino donde la simplicidad no sea una característica.

A continuación, se intentará dar una explicación al primer caso del experimento según las líneas de pensamiento de Faraday, es decir, en términos del campo. El imán posee un campo que llamaremos B , tal que atraviesa al solenoide constituido por cierto número de vueltas o espiras. Este hecho lo podemos denotar como el producto NBA , donde A es el área de la espira y N el número de ellas. El producto del campo por el área está en relación al desplazamiento del imán, denotado por $\Delta(NBA)/\Delta t$, es decir, la variación de la cantidad NBA con respecto al tiempo debido al movimiento del imán (variación del campo magnético en el tiempo) produce el movimiento de los electrones en el conductor (solenoides). Por lo tanto, podemos decir que se produce una corriente eléctrica o, en términos técnicos, se induce una fuerza electromotriz (fem) denotada por la letra \mathcal{E} (Hecht, 1998). Este razonamiento simple, en términos del campo B , nos permite escribir una relación que expresa el fenómeno observado:

$$\mathcal{E} \approx \frac{\Delta(NBA)}{\Delta t}.$$

El segundo caso del experimento en donde se tiene otro solenoide conectado a una fuente de corriente en lugar de un imán que se desplaza, lleva a la conclusión de que tanto un imán como cargas eléctricas en movimiento a través del conductor producen el mismo tipo de campo, en otras palabras, un campo de tipo magnético B . De esta manera, con el concepto de campo podemos dar una explicación menos complicada y más inteligible de los resultados del experimento planteado, en comparación con la ofrecida por la mecánica de Newton.

Este ejemplo sencillo nos clarifica el porqué de la necesidad y conveniencia de entender el concepto de campo, tanto para una descripción cuantitativa como para una cualitativa de algunos de los fenómenos de la naturaleza.

El problema de la abstracción

Una justificación frecuente para explicar la dificultad en la enseñanza y el aprendizaje de conceptos físicos es que éstos son abstractos. La palabra abstraer proviene del latín *abstrahere* (*abs* y *trahere*), que significa separar o traer hacia sí (DRAE, 2001). De forma general, la abstracción es un ejercicio intelectual donde separamos mentalmente, bajo algún mecanismo, las cualidades de un objeto para considerarlas de manera aislada o donde sólo se considera al objeto en su esencia. Así pues, cuando se habla de aprender un concepto nos referimos a tener una idea abstracta y general que permite pensar en la realidad. Es importante mencionar que un concepto puede surgir de la experiencia o de la razón; por ejemplo, los conceptos de la termodinámica son de orden fenomenológico (Zemansky y Dittman, 1986), es decir, surgen a partir de la experimentación y pueden formularse a través de los sentidos.

En contraparte, el concepto de campo es un concepto matemático tan fundamental en la física moderna que ayuda a describir fenómenos que no

son asequibles a las percepciones. En este sentido, la situación se centra en cómo lograr en los estudiantes la comprensión correcta de los conceptos en física. La dificultad que esta labor representa conduce frecuentemente a conceptos erróneos o nociones ingenuas de los conceptos físicos, lo que conlleva a ideas intuitivas o aristotélicas (pre-científicas) sobre la naturaleza de los fenómenos, la cual se sabe no es la adecuada.

Ahora, la idea de campo es una conceptualización completamente abstracta, es un ente inmaterial pero de efectos perfectamente tangibles que se describe matemáticamente. El concepto nace de la necesidad de entender la acción a distancia. Además, ello permite interpretar y conocer fenómenos naturales que de otra manera serían inaccesibles (considere las ondas electromagnéticas como ejemplo). Es importante mencionar que en el entendimiento de este concepto, tanto para el caso del campo gravitacional como para el electromagnético, está involucrada una suerte de abstracción de tipo fundamental.

Es importante recordar que las leyes de Newton se refieren a fuerzas que actúan sobre partículas, entes materiales. Por el contrario, en la teoría de los campos no hay actores materiales, como la masa o la carga, en donde se relacionan dos objetos distantes. El campo electromagnético, en un instante y punto dado del espacio, depende del campo inmediatamente vecino un instante anterior y existe independientemente de la presencia de masas o cargas en dicho punto (Reitz, Milford y Christy, 1996). Esta es una conclusión a la que se llega mediante la naturaleza abstracta del concepto.

La abstracción es un proceso del que los humanos no pueden prescindir en el entendimiento y descripción de la naturaleza, es parte de su equipo mental. Es por eso que en el ejercicio docente de la enseñanza y aprendizaje resulta necesario plantear maneras de enfrentar este hecho para solucionar la problemática educativa de estos conceptos en las aulas de nivel superior.

Es necesario concientizar a los que enseñan y aprenden física de que no es la paciente observación de un experimento (propuesto por el profesor y realizado por el estudiante) lo que lleva a la deducción y correcta comprensión de los conceptos físicos involucrados en él, como muchos pedagogos podrían argumentar, sino que es la idealización basada en la abstracción y fundamentada —si es un experimento mental— en el análisis matemático. Este análisis es lo que ha ocasionado el avance de la ciencia y la correcta comprensión de la naturaleza.

La grandeza de Galileo no consistió en la idea de arrojar objetos desde el mástil de un barco (Mittelstrass, 1972) o de observar bolas rodando sobre planos inclinados, sino de su capacidad de poder idealizar estas situaciones donde la fricción podía desaparecer, es decir, usar sus aptitudes para la abstracción al gestar un experimento mental. Lo mismo podemos decir en el caso del concepto de campo: La capacidad de abstracción de Faraday le permitió imaginar las estructuras ideales llamadas líneas de fuerza. Con un talento igualmente portentoso, Maxwell representó matemáticamente al campo, así como la manera de manipularlo.

Esta forma diferente de ver las cosas, más allá de la observación experimental, es lo que se debe fomentar y desarrollar en los profesores y

estudiantes involucrados en la enseñanza y aprendizaje de la ciencia (Norris, 1985). El conocimiento correcto de la historia de la física podría preparar al docente para guiar al estudiante por el difícil camino de la idealización al mostrarles cómo se llevó a cabo la verdadera revolución científica.

Propuesta didáctica

En la literatura existen diferentes propuestas para la enseñanza de la ciencia enmarcada en diferentes teorías (Alfonso, 2004; Driver, 1986, 1988; Garritz, 2006; Gil, 1983; Hewson, 1981; Pozo y Gómez, 1968; Shayer y Adey, 1984), como el constructivismo en su corriente del cambio conceptual y el conductismo. Sin embargo, en ninguna de ellas se considera a la historia y la filosofía de la ciencia como parte fundamental del proceso de enseñanza-aprendizaje.

En el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, el conocimiento y dominio total de la disciplina que se va a enseñar es uno de los aspectos fundamentales que el profesor debe poseer (Marcelo, 1992). Sin embargo, también se ha argumentado que es necesario un conocimiento didáctico del contenido de los cursos a impartir (Marcelo, 1990, 1992; Shulman, 1986). Se puede estar de acuerdo en que ambos aspectos deben ser considerados si se quiere tener un buen resultado docente. Sin embargo, frecuentemente estos dos aspectos son difíciles de involucrar de manera simultánea, es decir, se encuentran desconectados uno del otro (McDermott, 1984). Por lo general, dependiendo del dominio de uno u otro aspecto se obtienen resultados diferentes e insatisfactorios. Si el docente domina la disciplina pero carece de conocimientos didáctico-pedagógicos para impartir su curso, se puede tener esperanza o un porcentaje de certeza de que sus alumnos aprenderán algo. Lo anterior se cree puesto que al dominar la materia, el docente podría explicar detalles de la misma que a su parecer consideraría fundamentales para el correcto entendimiento de los conceptos involucrados en su práctica docente.

Todos los involucrados en la educación han tenido referencia directa o indirecta de docentes, con desconocimiento total de la teoría didáctica-pedagógica, cuyas prácticas en el aula eran capaces de enseñar con verdadera claridad y emoción los conceptos básicos de su asignatura. Por supuesto, se tiene también el otro extremo o deficiencia que se puede resumir en la multicitada frase del dominio popular "El profesor sabe mucho pero no sabe explicar", que básicamente se refiere a que el docente carece de métodos o conocimientos didáctico-pedagógicos. En este caso, el punto de debate radicaría en saber si necesariamente el docente debe tener un gran conocimiento para poder explicar su materia o si este dominio disciplinar ya contiene en sí mismo la pedagogía y la didáctica.

La otra opción en el proceso de enseñanza-aprendizaje es que el docente tenga un amplio conocimiento didáctico-pedagógico, pero con una ausencia significativa del conocimiento disciplinar. De esta combinación seguramente no resultará un producto sustancial ya que el estudiante podría seguir ciertos métodos accesibles a su labor de aprendizaje pero no con la suficiente profundidad de tal manera que inclusive se puedan reforzar errores de tipo conceptual.

Existe un tercer caso en este entramado proceso que lamentablemente aparece en diferentes instituciones. El docente no conoce ni su disciplina ni la didáctica. Lamentablemente este caso garantiza el fracaso total en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. En este sentido, se propone que el conocimiento del desarrollo histórico de los conceptos físicos sea una parte fundamental en la preparación del docente.

El conocimiento histórico del desarrollo de los conceptos científicos, como parte de la enseñanza de la física, tiene como una de sus primeras referencias el libro de Arons (1970). Después de éste, han aparecido publicaciones (Holton y Brush, 1976) que incluyen referencias históricas de los temas tratados; sin embargo, a través de comunicaciones personales, se manifiesta el desinterés por parte de los profesores en emplear material didáctico que incluya, de manera sistemática, a la historia de la ciencia como parte de su labor docente.

A pesar de los trabajos que discuten la relevancia de la historia para los cursos en la enseñanza de la física (Matthews, 1991, 1994), la postura de los autores es que un conocimiento adecuado de la misma podría mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje del alumnado. Con ello se permitirá cambiar la imagen tradicional que el docente ha transmitido sobre el carácter de las leyes de la naturaleza (leyes ya predeterminadas que se deducen lógicamente a partir de ciertos principios) por otra imagen donde se considere a la ciencia como una construcción humana de conocimiento que ha beneficiado a la sociedad, otorgando la posibilidad de contar con una mejor calidad de vida. Y algo de gran relevancia, el conocimiento correcto del génesis y desarrollo histórico de los conceptos físicos, permitirá atacar el analfabetismo científico que continúa presente hasta nuestros días (Matthews, 1988).

La historia de la física revela que no ha existido un número sistemático de pasos para descubrir las leyes de la naturaleza, y que en algunos casos la situación ha sido altamente caótica (Norris, 1985). Es decir, el método científico, bajo esta línea de pensamiento, no existiría como tal. Se ha propuesto (Norris, 1985) con respecto a la teoría, que es posible trazar un esquema general teórico que nos permita entender cómo se investigan los fenómenos naturales.

Lo primero que se hace es establecer una formulación general de la teoría física a estudiar que sirva para resolver todos los problemas que en ella se encuentren. Esta formulación general está representada por ecuaciones diferenciales que, después de proporcionar la información necesaria, resultarán en ecuaciones de tipo constitutivas. Éstas, con condiciones iniciales adecuadas para el sistema, proporcionarán lo que se conoce como trayectorias o ecuaciones de movimiento.

Para el caso de la enseñanza de conceptos físicos, se propone un esquema similar al descrito. Este esquema se muestra en la figura 1, donde el primer paso corresponde a la explicación cualitativa del concepto a enseñar basado fuertemente en el desarrollo histórico de dicho conocimiento y en la reflexión y discusión del sentido de abstracción que éste tiene.

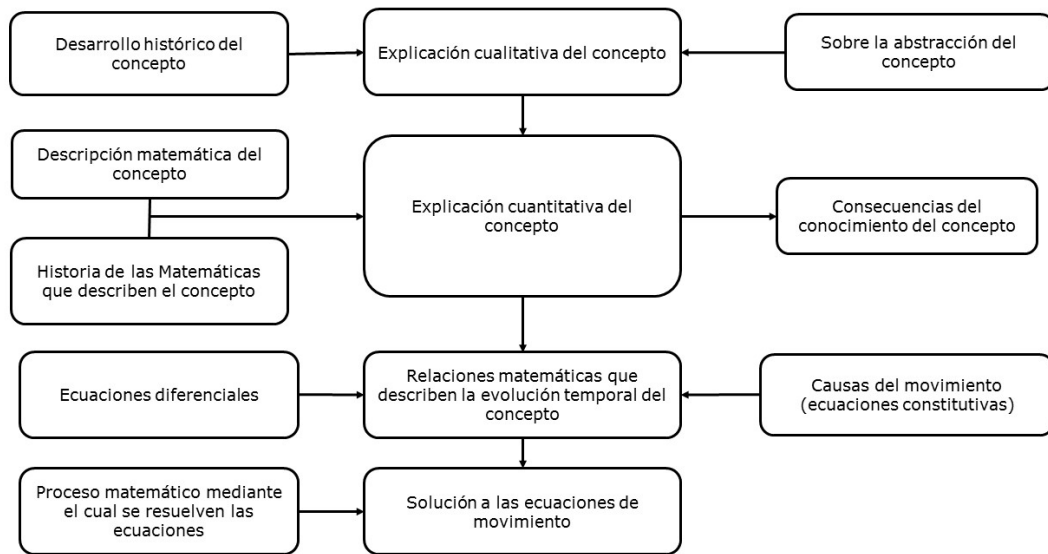


Figura 1.- Secuencia didáctica general.

Esta reflexión se puede llevar a cabo propiciando la interacción con algunos experimentos en el aula o en el laboratorio de física. El siguiente paso a considerar es la representación cuantitativa de dicho concepto, es decir, cómo es representado mediante la matemática que ha sido desarrollada a través de la historia. En esta etapa se propone que el relacionar a la historia de las matemáticas, que se utilizará para describir tal concepto, debe ser una condición necesaria; también se sugiere en este punto resaltar la importancia que esta representación tiene para entender futuros conceptos o aplicaciones.

La siguiente etapa está dedicada a encontrar la evolución temporal de la matemática que representa nuestro concepto. En palabras simples, plantear la ecuación diferencial del movimiento que, básicamente, dice cómo cambia o varía la representación matemática respecto al parámetro tiempo. Esto ayuda a la predicción sobre el problema físico, ya que nos permite encontrar las causas del movimiento (ecuaciones constitutivas) y finalmente, como etapa última, las soluciones a las ecuaciones matemáticas planteadas (ecuaciones de movimiento) siempre que contemos con las condiciones iniciales adecuadas para las ecuaciones constitutivas del problema.

Es importante tener en cuenta que se pueden agregar más etapas a esta secuencia didáctica como, por ejemplo, proponer una serie de actividades dedicadas al reforzamiento de los conocimientos adquiridos que ejerciten el concepto aprendido. En este trabajo sólo se referirán las ya mencionadas.

Ejemplos de la propuesta didáctica

En esta sección aplicaremos nuestra propuesta didáctica a los conceptos físicos de campos eléctrico, magnético y gravitacional.

En el caso del campo eléctrico, la secuencia didáctica que se propone se muestra en la figura 2. Se considera la historia desde el descubrimiento, por parte de los griegos, de la carga por fricción pasando por el problema de la

acción a distancia, planteado por Newton, hasta las explicaciones de los campos que dio Faraday por medio de sus líneas de fuerza.

Mediante experimentos sencillos, como el frotamiento de objetos o el uso del electroscopio, se plantean preguntas de reflexión al alumno o se le pide que dé su propia explicación del fenómeno que observa para poder establecer la discusión e intercambio de ideas. En esta primera etapa el estudiante se cuestionará sobre la necesidad de involucrar “algo” que le permita entender la acción a distancia, pero que no es tangible. Estas experiencias lo llevarán a comprender que las matemáticas son indispensables para darle realidad al campo.

La historia le ayudará a entender que sus mismos cuestionamientos fueron planteados durante el desarrollo del concepto y que experimentos similares a los que él ha realizado estuvieron involucrados en el camino a la validación de la abstracción del concepto de campo eléctrico.

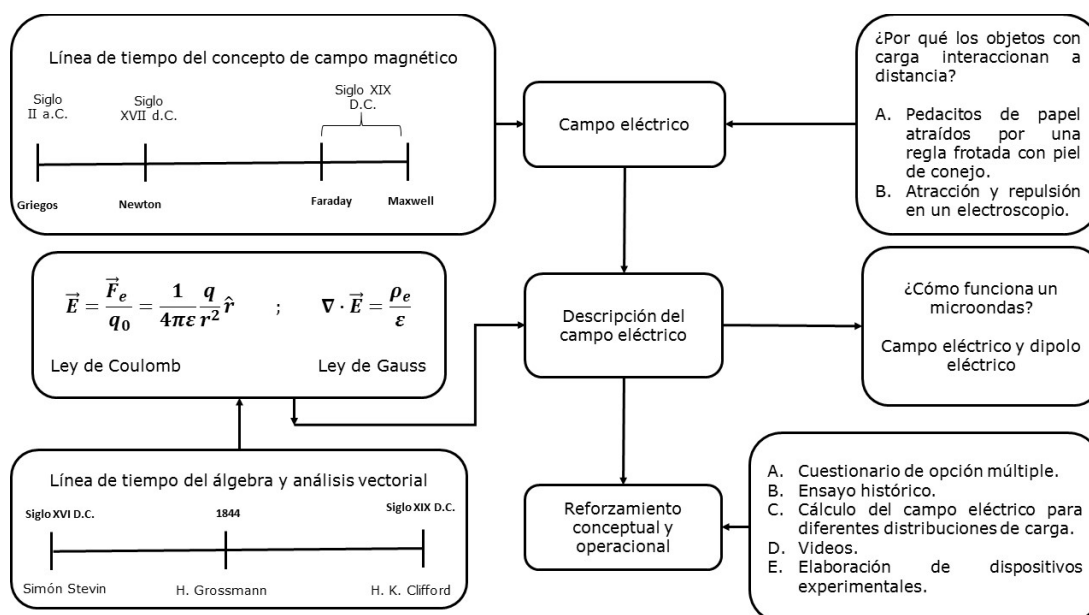


Figura 2.- Secuencia didáctica para el campo eléctrico.

La segunda etapa de la secuencia está alimentada por los aspectos históricos en la comprensión de las herramientas necesarias para describir y manejar el campo eléctrico. En la figura 2 se muestra la línea de tiempo con un recorrido desde Simon Stevin, ingeniero militar Belga, quien generalizó el concepto de número para desarrollar la idea de vector hasta William Kingdon Clifford, matemático inglés, quien formalmente pone las bases del análisis vectorial.

Este recorrido histórico pretende subsanar el déficit de conocimientos matemáticos que el estudiante pueda tener, ya que, al conocer el desarrollo histórico de la formulación de los mismos, se contará con un panorama más amplio que permita una mayor comprensión; además, esta perspectiva contribuirá a despertar el interés y el gusto por las matemáticas al mostrar que fueron creadas para explicar y entender los fenómenos físicos, es decir, que tienen una aplicación (Matthews, 1988).

De esta manera, el estudiante estará preparado para entender la definición formal matemática del concepto de campo eléctrico obtenida a través de los experimentos de Coulomb, así como la ley general que lo describe. Por tanto, la queja frecuente del docente con referencia a la carencia de las matemáticas necesarias para manipular el concepto de campo por parte de los estudiantes, queda subsanada en esta revisión histórica donde necesariamente se tendrá clara la noción vectorial.

En esta fase juega un papel fundamental el hacer evidente la utilidad del entendimiento y manejo del campo eléctrico, así como resaltar los hechos de la vida cotidiana donde se encuentra involucrado el concepto: por ejemplo, el microondas y la fotocopiadora, es decir, esta parte también juega un importante papel motivacional. Finalmente, en la tercera etapa, es importante reforzar lo aprendido mediante actividades tales como ensayos históricos, ejercicios, problemas, etc., donde no sólo se debe buscar el aprendizaje conceptual sino también el operacional.

De esta manera, las tres etapas de la secuencia didáctica permitirán atacar las problemáticas ya mencionadas en lo referente a las teorías alternativas, la falta de conocimiento matemático para abordar los conceptos físicos —en este caso el de campo eléctrico— y el interés de los estudiantes en aprender física. En el apéndice se describe con detalle la aplicación de esta secuencia.

La secuencia didáctica para el campo magnético y gravitacional es similar a la ya descrita y se muestra en las figuras 3 y 4, respectivamente. Es importante destacar que los aspectos históricos son comunes para los tres campos permitiendo, por ende, resolver el problema del tiempo que frecuentemente se expone como pretexto para no considerar la historia en los cursos de física.

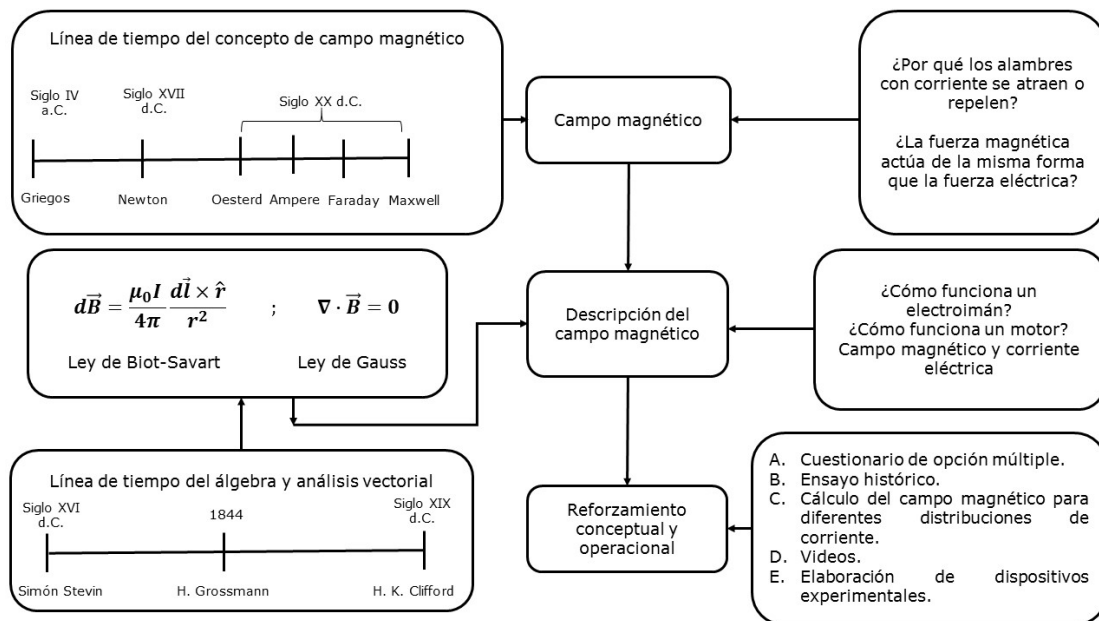


Figura 3.- Secuencia didáctica para el campo magnético.

Las secuencias didácticas para los campos eléctrico y magnético se deben unir —dado que la electricidad y el magnetismo son dos manifestaciones del

mismo fenómeno llamado electromagnetismo— logrando así una secuencia análoga que englobará el concepto de campo electromagnético.

Es importante señalar que al hablar de la historia de la ciencia lo fundamental no radica en las fechas y biografías, sino en los acontecimientos conceptuales —de éxito o fracaso— que culminaron con el desarrollo del conocimiento actual. Entonces, será importante saber que Faraday fue hijo de un herrero, aunque más importante será saber que el hijo de un herrero imaginó las líneas de fuerza como la representación del campo, empleándolas para estudiar fenómenos muy poco comprendidos en su época: por ejemplo, la inducción electromagnética, las descargas electrostáticas e incluso los fenómenos electroquímicos. Además, es relevante hacer hincapié en que fue el caso del fenómeno magnético en el cual Faraday entendió las líneas de fuerza y no en el caso eléctrico, como lo haría pensar un curso donde no se abordaran aspectos históricos.

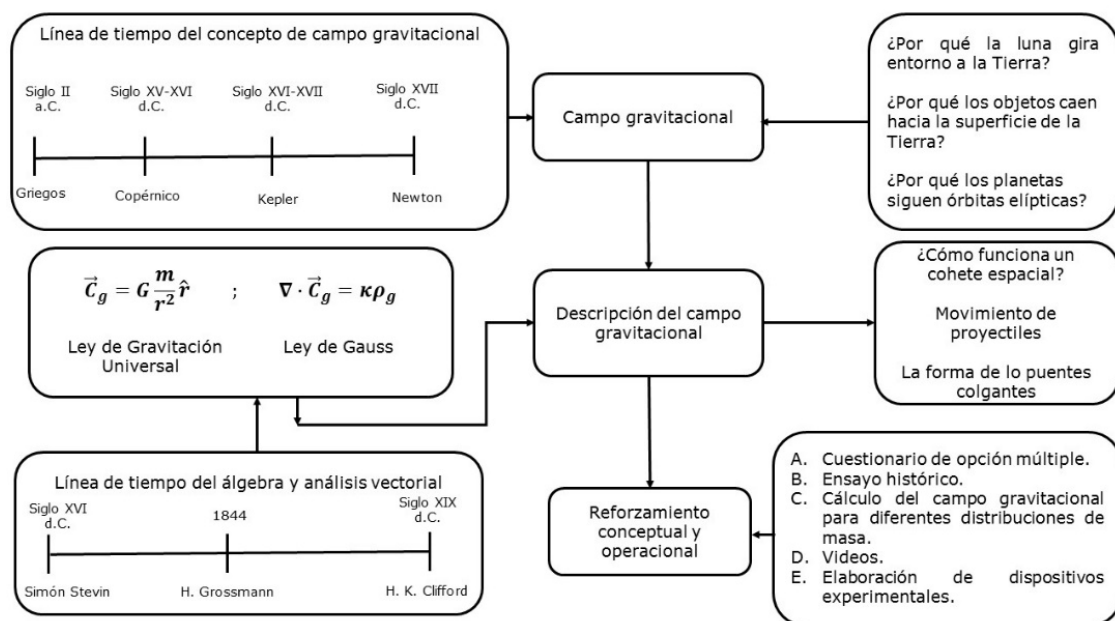


Figura 4.- Secuencia didáctica para el campo gravitacional.

En las secuencias didácticas de campo magnético y gravitacional, los aspectos matemáticos necesarios ya han sido mencionados y aprendidos en la secuencia de campo eléctrico. La motivación nuevamente se deja a los aspectos históricos y de aplicación, como se muestra en las figuras 3 y 4.

Conclusiones e implicaciones

La enseñanza de la física, en la mayoría de las universidades y escuelas de ingeniería de México, se encuentra limitada al estudio de los conceptos sin abordar la historia de los mismos. La historia de las ciencias debería ser parte fundamental en los cursos para cualquier nivel. Para aprender física es importante comprender con profundidad los términos y conceptos (la génesis); es en este aspecto en donde la historia de la ciencia puede contribuir claramente (Miller 1983).

En este trabajo se ha considerado y destacado la importancia de la historia de la ciencia —en particular de la física y la matemática— y el

carácter abstracto de los conceptos físicos en el proceso de enseñanza y aprendizaje. También se propone que la génesis de los conceptos físicos a través de su historia esté presente en todo curso de física a nivel universitario. Los autores consideran que el conocimiento en la evolución de las ideas que constituyen a la física actual, con todos sus éxitos y fracasos, sus actores y el contexto social en que fueron desarrolladas, facilitará la comprensión y el manejo de las mismas logrando un aprendizaje significativo en los estudiantes.

En este artículo se ha señalado y sugerido una secuencia didáctica general que se puede utilizar para la enseñanza de conceptos físicos con componentes históricas y conceptuales. La expectativa de este trabajo es que los aspectos históricos puedan contribuir a desarrollar en los estudiantes el pensamiento crítico, así como introducirlos en el problema de la interpretación de los fenómenos naturales. Además, se espera que la manera de abordar los temas se convierta en un poderoso estímulo para la reflexión, actividad fundamental en el aprendizaje de la física.

Como ejemplo de la propuesta se formularon las secuencias didácticas para los conceptos físicos de campos eléctrico, magnético y gravitacional. Además, para profundizar y enfatizar el contexto de aplicación de la misma y su viabilidad en el aula, se elaboró la planificación de la secuencia didáctica para el campo eléctrico (ver anexo).

Finalmente, dado que la propuesta considera aspectos históricos y motivacionales (aplicación), los autores piensan que llevarla a cabo impactaría en el tiempo que regularmente se dedica a estos temas en las escuelas que imparten cursos de física. Sin embargo, los autores consideran la conveniencia de dedicar un mayor número de horas en aras del aprendizaje significativo del concepto de campo.

La puesta en práctica de la propuesta, así como los resultados que se obtengan, serán motivo de un nuevo estudio.

Agradecimientos

Los autores agradecen al grupo de Ciencias Básicas por sus comentarios y críticas a este trabajo. J. L. A. y A. S. agradecen el apoyo de PRODEP, O.J. agradece al CONACyT por la beca recibida para realizar sus estudios de Especialización en Aprendizaje y Enseñanza de las Ciencias Básicas.

Referencias bibliográficas

Alfonso, C. (2004). Familiarización de los estudiantes con la actividad científica investigadora: Método Dinámico para caracterizar el movimiento de traslación de un cuerpo. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(1), 1-13.

Arons, A. (1970). *Evolución de los conceptos de la física*. México: Trillas.

Berkson, W. (1993). *Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein*. Barcelona: Alianza Editorial.

Cohen, I. B. (comp.) (1978). *Newton's paper and letters on natural philosophy*. Boston: Harvard University Press.

Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales del alumno. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 3-15.

Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120.

French, A. P. (1978). *Mecánica Newtoniana. MIT Physics course*. Barcelona: Reverté.

Galilei, G. (1953). *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*. Berkeley: University of California.

Garritz, A. (2006). Naturaleza de la Ciencia e Indagación: cuestiones fundamentales para la educación científica del ciudadano. *Revista Iberoamericana de Educación*, 42, 127-152.

Gil, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 1(1), 26-33.

Gilbert, J. K., Osborne, R. J., y Fensham, P. J. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science education*, 66(4), 623-633.

Hecht, E. (1998). *Física II*. México: International Thomson Editores.

Hewson, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 3(4), 383-396.

Hierrezuelo, J., y Montero, A. (2002). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y química*. México: Fontamara.

Holton, G., y Brush, S.G. (1976). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona: Reverté.

Koyré, A. (comp.) (1965). *Huygens and Leibinz on Universal Attraction. Newtonian Studies*. Chicago: University of Chicago Press.

Marcelo, C. (1990). *Introducción a la formación del profesorado. Teoría y Métodos*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

Marcelo, C. (1992). *Cómo conocen los profesores la materia que enseñan*. Trabajo presentado en el Congreso "Las didácticas específicas en la formación del profesorado". Santiago de Compostela.

Matthews, M. R. (1991). Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 3(11-12), 141-155.

Matthews, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 155-277.

McDermott, L. C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics today*, 37(24), 24-34.

Mittelstrass, J. (1972). The Galilean Revolution: The historical Fate of a Methodological Insight. *Studies in the History and Philosophy of Science*, 2, 297-328.

Moreira, M. A. (2009). *Aprendizaje significativo de las ciencias: Condiciones de ocurrencia, progresividad y criticidad*. Trabajo presentado en las II Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales. La Plata, Argentina. Recuperado de <http://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/>

Newton, I. (2013). *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*. Madrid: Alianza.

Norris, S. P. (1985). The philosophical basics of Observation in Science and Science Education. *Journal of Research in Science Teach*, 22(9), 817-833.

Pozo, J. y Gómez, M. (1968). *Aprender y enseñar ciencia: Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.

Reitz, J. R., Milford, F. J., y Christy R. W. (1996). *Fundamentos de la teoría electromagnética*. México: Addison-Wesley Iberoamericana.

SEP, Tecnológico Nacional de México (2016). Recuperado de <http://www.tecnm.mx/>

Shayer, M., y Adey, P. (1984). *La ciencia de enseñar Ciencia*. Madrid: Narcea.

Shulman, L. (1986). *Paradigmas y programas de investigación en el estudio de la enseñanza. La investigación de la enseñanza, I. Enfoques, teorías y métodos*. Barcelona: Paidós.

Universidad Nacional Autónoma de México (2016). Recuperado de <http://www.ingenieria.unam.mx/>

Valera, M., Fernández, C. L., García, S., Gil, J., Frutos, J., Iniesta, M.A. y Marset, P. (1983). Intuición e Historia de las Ciencias en la Enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 1(3), 205-215.

Zemansky, M., y Dittman, R. (1986). *Calor y termodinámica*. México: Mc Graw Hill.

Anexo 1.- ¿Cómo llevar a cabo la propuesta didáctica?

Para que un estudiante aprenda, el profesor debe proporcionarle los medios, estímulos y herramientas necesarias para que construya sus propios significados y aumente sus capacidades cognitivas (Moreira, 2009). En este trabajo, como se ha mencionado en secciones anteriores, se propone que el profesor (docente), mediante el uso de la historia, estimule el aprendizaje significativo de los conceptos físicos y matemáticos; que también proporcione los medios (cómo pueden ser preguntas o tareas) que lleven al aprendiz a reflexionar sin olvidar la necesidad de involucrarlo activamente mediante la experiencia tangible (la experimentación en el laboratorio) que refuerce su aprendizaje.

Las fases de la propuesta didáctica general se muestran de manera esquemática en la figura 1, y las fases para los casos particulares de campo eléctrico, campo magnético y campo gravitacional en las figuras 2, 3 y 4. A continuación, se describe la planificación de la propuesta considerando:

- a) El contexto en que se va a realizar la actividad propuesta
 - b) Los objetivos didácticos que se pretenden conseguir con la actividad
 - c) El papel que jugará el profesor en la actividad
 - d) El papel que jugará el estudiante
 - e) Los instrumentos o medios a utilizar en la actividad
- Brevemente se describen los puntos.

a) Contexto

Las actividades son planeadas para estudiantes que cursan el tercer o cuarto semestre de las carreras de ingeniería que ofrecen las Universidades o Institutos Tecnológicos de México. Por esta razón, las actividades están planeadas considerando que los estudiantes tienen conocimientos de física y matemáticas (anteriores de los temas a tratar en la propuesta) equivalentes al nivel universitario de estos semestres.

b) Objetivos

Mediante las actividades se desea que los estudiantes (Matthew, 1988):

- Se motiven y reflexionen aumentando su capacidad de pensamiento crítico al conocer los aspectos históricos que dieron lugar a los conceptos físicos que están estudiando.
- Superen la idea errónea de que la clase de física es un sinsentido de fórmulas y definiciones si conocen la evolución conceptual.
- Familiarizarse con la abstracción y cómo ésta permite interpretar la "realidad".
- Utilizar los recursos matemáticos adecuados para la descripción del concepto físico a tratar.
- Valorar a las matemáticas como una herramienta fundamental para entender el mundo.

c) El profesor (docente)

El rol que jugará el docente tiene tres etapas. En la primera de ellas, suministrará la información o planeará la actividad necesaria para la introducción del tema. Durante el desarrollo de la actividad, el docente a cargo procurará evitar al máximo la disertación magistral procurando tener informados a los estudiantes sobre el objetivo de las actividades que se llevarán a cabo así como estar dispuesto a contestar todas las preguntas y dudas de los mismos. Lo más importante es jugar un papel de motivador al mostrar a los estudiantes su gusto y placer por la actividad que se está realizando. Finalmente, el docente no debe olvidar su papel como evaluador de la actividad, ello le permitirá conocer el desempeño de sus estudiantes.

d) El estudiante

Se propone que durante las actividades el estudiante reflexione contrastando sus viejas ideas con las nuevas, que verifique mediante la experimentación los conceptos aprendidos, y que constate que las matemáticas efectivamente describen los fenómenos observados.

e) Instrumentos

Para realizar las actividades, se propone el uso de apoyo audiovisual: presentaciones en Power Point y/o videos, el uso del pizarrón y el laboratorio de física.

Ejemplo

Como ejemplo de planificación de la secuencia didáctica, se considerará el caso del campo eléctrico. La secuencia didáctica se muestra en la figura 2. A continuación se describe brevemente la manera de llevar a cabo la planificación acorde a lo explicado con anterioridad. La tabla 1 muestra los puntos a) y b).

Anexo 2.- Planificación de la secuencia didáctica para el campo eléctrico: puntos a) y b).

Tema: El campo eléctrico	
Contexto: Estudiantes de 3° o 4° semestre de las carreras de ingeniería	
Objetivos: 1. Que el estudiante entienda, conozca y reflexione sobre el concepto de campo eléctrico a través de su evolución histórica y representación matemática. 2. Que el estudiante entienda el sentido abstracto del campo eléctrico y su evidencia física a través del experimento.	
Lenguaje utilizado	Recursos
Líneas de fuerza. Fuerza. Carga eléctrica. Permitividad eléctrica. Campo. Campo eléctrico. Divergencia. Vector.	Libro: Arons (1970), Berkson (1993), etc. Software: Power Point. Laboratorio: dispositivos (kit) de electrostática. Videos.

Anexo3

A continuación, se describen las sesiones (tres en este caso) a considerar para el tema elegido. En cada sesión se detallan los objetivos de la misma, una breve explicación de su desarrollo y el contenido de la actividad propuesta.

Sesión I	
Objetivos	Resultados de aprendizaje
Identificar los personajes históricos que contribuyeron a entender el concepto de campo eléctrico así como la evolución del mismo.	Entender el camino histórico seguido para concebir la idea de campo eléctrico.
Desarrollo de la sesión	
1. El docente expondrá acerca de los principales actores históricos involucrados en la conceptualización del campo eléctrico y cómo fue surgiendo, a lo largo del tiempo, la necesidad de pensar en la idea de campo —y en particular la de campo eléctrico— para resolver el problema de la interacción a distancia y explicar otros fenómenos electromagnéticos que serían imposibles describir con la mecánica clásica. 2. Mediante una dinámica de preguntas y respuestas, el docente inducirá a la discusión y a la reflexión sobre la problemática de la interacción a distancia y la necesidad del concepto de campo para describir otros fenómenos electromagnéticos que no se podrían entender por medios mecánicos.	
Actividad	
Después de la revisión histórica del concepto de campo eléctrico, el alumno elaborará una línea de tiempo con los eventos y personajes más representativos de este tema.	

Tiempo de la sesión	Recursos	Criterios de evaluación
De 1 a 2 horas.	Presentación: Power Point. Pizarrón y gis (tiza). Videos.	Interrogatorio simple de tipo oral sobre aspectos históricos en relación al tema: ideas, personajes, etc. Participación en las situaciones de discusión y reflexión durante la sesión. Capacidad de elaborar razonamientos simples.
Sesión II		
Objetivos	Resultados de aprendizaje	
Conocer la evolución histórica del análisis vectorial. Conocer la representación vectorial del campo eléctrico.	Entender que el álgebra y el análisis vectorial son fundamentales en la descripción del campo eléctrico. Entender que la manera de representar el campo eléctrico es mediante el concepto de vector. Entender que la forma de concebir el campo eléctrico es a través de la fuerza eléctrica.	
Desarrollo de la sesión		
<p>1. El docente expondrá de manera cualitativa la necesidad de utilizar los vectores para describir el campo eléctrico a partir del concepto de fuerza eléctrica evitando la formalidad matemática, la cual se tratará en la siguiente sesión.</p> <p>2. Mediante una dinámica de preguntas y respuestas, el docente inducirá a la discusión y a la reflexión sobre la problemática filosófica y conceptual de la interacción a distancia.</p> <p>3. Mediante una dinámica de preguntas y respuestas, el docente inducirá la necesidad de tener una carga que pruebe la existencia del campo eléctrico.</p>		
Actividad		
<p>Después de la revisión histórica del desarrollo del análisis vectorial, el alumno elaborará una línea de tiempo con los eventos y personajes más representativos de este tema.</p> <p>En el laboratorio, el estudiante realizará experimentos sencillos de electrostática que ponga en evidencia el concepto de campo eléctrico: Frotar una regla de plástico con un trozo de piel de conejo y atraer pedacitos de papel con ella. Experimentar con un dispositivo del laboratorio: el electroscopio. Después de estas experiencias inducir a los estudiantes a responder la pregunta ¿por qué los objetos son atraídos incluso sin tocarse? Realizar una actividad grupal de discusión y reflexión con respecto a la pregunta anterior. Se recomienda realizar la actividad antes del desarrollo de la sesión.</p>		
Tiempo de la sesión	Recursos	Criterios de evaluación
De 2 a 3 horas.	Presentación: Power Point. Pizarrón y gis (tiza). Dispositivos (kit) de laboratorio para la experimentación en electrostática. Videos donde se muestren esquemas de distribuciones de campo eléctrico.	Participación en las situaciones de discusión y reflexión durante la sesión. Reporte (artículo) de la experiencia en la sesión de laboratorio. Interrogatorio oral sobre aspectos relacionados con la definición y descripción del campo eléctrico.

Sesión III		
Objetivos		Resultados de aprendizaje
Conocer las ecuaciones que describen al campo eléctrico. Conocer algunas aplicaciones del campo eléctrico.		Comprender y manejar la definición de campo eléctrico. Comprender y manejar la ley de Gauss en la electricidad.
Desarrollo de la sesión		
1. El docente expondrá de manera cuantitativa la manera en que se obtiene la expresión del campo eléctrico. 2. El docente expondrá la manera en que se deduce la ley de Gauss en forma integral. 3. El docente deducirá la forma diferencial de la ley de Gauss a partir de su forma integral. 4. El docente expondrá ejemplos del cálculo de campos eléctricos.		
Actividad		
El alumno investigará sobre la obra científica de Johann Carl Friedrich Gauss y elaborará un ensayo al respecto. El alumno investigará sobre el funcionamiento del microondas y distinguirá los conceptos físicos, en particular los relacionados con el campo eléctrico necesarios para su funcionamiento.		
Tiempo de la sesión	Recursos	Criterios de evaluación
De 2 a 3 horas.	Presentación: Power Point. Pizarrón y gis (tiza). Libros.	Participación en las situaciones de discusión y reflexión durante la sesión. Ejercicios y problemas. Trabajos de recopilación de información.