

---

# UNA PERSPECTIVA FENOMENOLOGICA PARA LA ENSEÑANZA DEL ELECTROMAGNETISMO A NIVEL INTRODUCTORIO

M. M. AYALA, F. MALAGÓN Y P. LUGO

Universidad Pedagógica Nacional Santa Fe de Bogotá

---

## RESUMEN

*Uno de los problemas que se encuentra al abordar la enseñanza de los fenómenos electromagnéticos es el desconocimiento por parte de los estudiantes de una fenomenología que se constituya en un objeto de estudio. La construcción de esta fenomenología y una primera caracterización de la misma se plantean en el presente artículo como un medio que permitirá a los estudiantes iniciar la elaboración de los conceptos base de la teoría electromagnética. El proceso se desarrolla en torno a tres problemáticas: los fenómenos de la electricidad por frotamiento (electricidad estática); la corriente eléctrica y su relación con la electricidad estática; y los fenómenos electromagnéticos.*

## ABSTRACT

*The student's lack of knowledge about a phenomenology which could be the object of study is one of the problems encountered in teaching the electromagnetic theory. The construction and a first approximation to a characterization of this phenomenology is used as an strategy to allow the student to start the elaboration of the basic electromagnetic's theory concepts. The process is carry out around three problems: the electrification by friction phenomena (static electricity), electric current and its relation with the static electricity, and the electromagnetic phenomena.*

## INTRODUCCION

Al contrario de lo que ocurre en el estudio de los fenómenos mecánicos en el que existe para el estudiante una referencia fenomenológica a partir de la cual le da sentido a los términos utilizados en la teoría, en el caso del electromagnetismo no existe, a pesar de todos los aparatos eléctricos que rodean a las personas. Los fenómenos percibidos en torno a éstos no posibilitan la construcción de los conceptos de la teoría electromagnética. La construcción de una fenomenología que se constituya en un objeto de estudio y permita mediante su análisis una primera elaboración de los conceptos de la teoría electromagnética se torna indispensable, si se está interesado en una enseñanza que tenga más sentido para los estudiantes. Su desconocimiento es quizás uno de los mayores obstáculos en la enseñanza del electromagnetismo.

El presente artículo resume de manera muy sucinta elementos conceptuales que guiaron el trabajo realizado en torno a este problema en el curso de Física III y de un curso de práctica docente del programa de Licenciatura de Física de la Universidad Pedagógica Nacional en el primer semestre de 1990. En el artículo se plantea un esbozo de estructuración de esta fenomenología en torno a tres problemáticas: los fenómenos

de la electricidad por frotamiento (electricidad estática); la corriente eléctrica y su relación con la electricidad estática; y los fenómenos electromagnéticos. Se explicita, además, la conceptualización que el estudiante podría desarrollar a través de su análisis.

Los fenómenos de la electricidad estática son desarrollados en algún detalle, teniendo en cuenta que la situación en este caso es más crítica dada la dificultad de producir tales fenómenos y considerando, además, que su análisis posibilita una primera construcción de conceptos tan importantes en la teoría electromagnética como lo son la carga y el potencial. La problemática involucrada en los otros dos temas es tratada muy sucintamente, señalándose aspectos que se consideran relevantes en la enseñanza del electromagnetismo.

### FENOMENOS ELECTROSTATICOS: CONSTRUCCION DE LOS CONCEPTOS DE CARGA Y POTENCIAL ELECTRICO

La introducción al análisis de la electricidad estática se organiza en torno a tres aspectos problemáticos, los cuales se constituyen en centros de construcción de nuevos fenómenos así como de desarrollo conceptual. El nivel de comprensión de los fenómenos eléctricos logrado, posibilita abordar con sentido la temática con la que los textos de física suelen iniciar el estudio de la electrostática.

El primer aspecto problemático tratado es el de la electrificación debida al frotamiento de los cuerpos, para lo cual se recurre a su efecto más evidente, el de atracción; su análisis permite una primera conceptualización de la "electricidad" (génesis del concepto de carga). El segundo se refiere a las condiciones del paso de electricidad; posibilita iniciar la elaboración del concepto de potencial eléctrico a través de un proceso de disociación. En el tercero, se centra

la atención en el electroscopio; a través de éste se encuentra una primera forma de medir el potencial eléctrico y de examinar el efecto de inducción electrostática; tal examen a la vez que posibilita iniciar la caracterización del potencial como una propiedad del espacio, permite establecer la existencia de dos tipos de electricidad (de cargas) y la conservación de la carga, incluido el carácter algebraico de la misma.

#### a) La electrificación de los cuerpos y el comportamiento sustancial de la "electricidad"

El efecto más conocido en torno a la electrificación de cuerpos es el que se efectúa debido al frotamiento (la atracción de papeletos por una peinilla que ha sido frotada, por ejemplo). En este tipo de efectos el fenómeno común es la atracción, pudiéndose tomarla como el indicador de que un cuerpo está electrificado. Una vez definido un indicador de la electrificación de un cuerpo se puede iniciar la exploración del comportamiento eléctrico de diferentes materiales (madera, vidrio, telas de diferentes clase, pieles, metales, plásticos, etc.). Se encuentra, así, que unos alcanzan el estado de electrificación fácilmente mientras que para otros parece imposible lograrlo; posibilitándose una primera clasificación de los materiales en: *eléctricos*, los que se dejan electrificar fácilmente, y *no eléctricos*, los que no lo hacen. Sin embargo, si se tiene en cuenta que no hay razón para suponer que la naturaleza de estas dos clases de materiales sea intrínsecamente diferente, es de esperar que si se modifican las condiciones de electrificación sea posible electrificar los cuerpos considerados como no eléctricos. El análisis de las condiciones en que se debe realizar este frotamiento induce a pensar que el estado de electrificación es debido a la presencia de "algo" -que denominaremos electricidad- que puede fluir en cierta clase de materiales (los metales y el cuerpo humano, entre otros). Se llega así a una segunda clasificación, más precisa, de los materiales respecto a su comportamiento eléctrico: *conductores*, permiten

que la electricidad fluya y requieren por lo tanto condiciones especiales para lograr su electrización, y *aisladores*, en los cuales la electricidad no puede fluir y, por lo tanto, se pueden electrizar fácilmente. Esta nueva conceptualización del fenómeno de electrización explica, además, la pérdida del estado de electrización de los cuerpos, y permite, también, visualizar que no hay conductores ni aisladores perfectos.

El análisis anterior permite concluir que la electricidad es "algo" que tiene un comportamiento análogo a una sustancia en el siguiente sentido: se puede pensar en la cantidad de electricidad contenida en un cuerpo, que ésta puede fluir de un cuerpo a otro, y que ese paso significa la disminución en uno y el aumento en el otro en la misma cantidad.

b) *El equilibrio electrostático y el potencial eléctrico (disociación entre carga y potencial)*

En este nivel de comprensión del fenómeno de electrización, la pregunta por las condiciones del paso de la electricidad se vuelve pertinente. En una primera aproximación se puede pensar que para que exista el equilibrio electrostático entre cuerpos (para que no pase electricidad de un cuerpo al otro) se requiere que éstos tengan la misma cantidad de electricidad, que denominaremos de ahora en adelante *carga*. La desigualdad de la carga implicaría, por ende, el paso del excedente de la carga del cuerpo más cargado al menos cargado; efecto que se puede evidenciar por el salto de una chispa. Al finalizar este proceso se esperaríamos que los cuerpos adquiriesen un nuevo estado de equilibrio electrostático.

En el caso en que los cuerpos cargados sean idénticos el análisis anterior resulta válido. Pero cuando se consideran cuerpos de la misma forma pero de dimensiones diferentes, la situación se vuelve problemática: ya no resulta aceptable pensar que dos cuerpos de la misma forma y con la misma carga pero de tamaños diferentes puedan es-

tar en equilibrio electrostático. Esto lleva a pensar que posiblemente sea la densidad superficial de carga el factor que caracteriza el equilibrio electrostático. Sin embargo, si se considera un conductor cargado aislado y de forma arbitraria, esta idea muestra sus limitaciones: por un lado, es de esperar que el conductor se encuentre en equilibrio; por otro, es fácil inferir que la densidad superficial de carga no tiene porqué ser igual en todas las partes del cuerpo; el fenómeno de puntas contribuye a afirmar esta idea. Se hace necesario, entonces, buscar otra variable que caracterice el equilibrio electrostático. A esta variable, que es diferente de la carga y de la densidad superficial y que define la condición de equilibrio electrostático, se le da el nombre de potencial eléctrico. Es de notar que en el uso que se está dando, el concepto de potencial se entiende como una propiedad relativa a los cuerpos. En el intento de caracterizar esta magnitud se encuentra en una primera instancia que ésta depende de factores geométricos del cuerpo -que están ligados al concepto de capacidad eléctrica- y de su carga. Esta primera idea de potencial exige ser desarrollada.

¿Qué mide el electroscopio?

En la profundización del concepto de potencial, el uso del electroscopio es de gran utilidad. El electroscopio es un aparato muy conocido y generalmente los textos de física lo plantean como un instrumento que se usa para indicar si un cuerpo está cargado o no; y también para mostrar cómo puede ser cargado por contacto o por inducción.

Sin embargo, vale la pena preguntarse si con el electroscopio estamos midiendo de alguna manera la carga del cuerpo u otra propiedad eléctrica del mismo. Consideremos, por ejemplo, un conductor que se pone en contacto con el electroscopio en la forma usual: el conductor y el electroscopio forman una superficie equipotencial (si los

conductores son del mismo material); luego, para que el electroscopio determine el potencial del cuerpo debe tener una capacitancia despreciable. Es, entonces, claro que el electroscopio no mide la carga del cuerpo; tampoco mide la densidad de carga del conductor: la indicación del electroscopio es la misma cuando se pone en contacto con partes diferentes de la superficie de un conductor de forma arbitraria que se encuentra cargado; partes, que sabemos están a un mismo potencial y tienen densidades de carga diferentes. En síntesis, argumentos de este tipo llevan a pensar que el electroscopio en estas condiciones mide el potencial del conductor. En el caso de un cuerpo no conductor, el electroscopio no da información en forma directa sobre las propiedades eléctricas del cuerpo.

El examen del efecto de inducción electrostática permite entrar a caracterizar el potencial como una propiedad no ya ligada a los cuerpos en sí, sino más bien al espacio.

#### La conservación de la carga y su carácter algebraico

Trabajar el efecto de inducción electrostática en el electroscopio permite, también, ver que cuando los cuerpos que se frotan entre sí se acercan a éste separadamente producen el mismo efecto; sin embargo, cuando se acercan simultáneamente se observa que los efectos se anulan. Se puede, así, inferir la existencia de dos tipos de cargas, que aparecen en las mismas cantidades pero de signo diferente (anulación de los efectos); siendo posible concluir, además, que no hay en este proceso creación de carga. La conservación de la carga incluyendo la suma algebraica de la misma se hace evidente. Es importante notar que la elaboración del concepto de carga no ha requerido en ningún momento hacer alusión a la estructura de la materia (electrones, protones, etc.); tampoco existe ningún elemento en los fenómenos tratados que nos permita hacerlo.

A partir de la construcción anterior se puede continuar con la temática con la cual los textos de física suelen iniciar el estudio de los fenómenos eléctricos: la fuerza entre cargas (la ley de Coulomb).

#### LA CORRIENTE ELECTRICA Y SU RELACION CON LA ELECTRICIDAD ESTATICA

El examen de esta problemática es de particular importancia ya que con ella se completa la estructura básica requerida para el estudio de los fenómenos electromagnéticos. La problemática se ha organizado en torno a cuatro aspectos: la producción de una corriente estacionaria; la relación entre la corriente eléctrica y la electricidad estática; la medida de la intensidad de la corriente; y, por último, a manera de conclusión, el concepto que se puede derivar de corriente eléctrica.

En lo que respecta al primer aspecto, se plantea como tema de análisis el funcionamiento de la pila voltaica. El desarrollo logrado hasta el momento en la conceptualización de los fenómenos eléctricos lleva a pensar que dos metales neutros siempre se encuentran al mismo potencial; esperándose, de esta manera, que por lo menos uno de los bornes de la pila esté cargado, dado que existe una diferencia de potencial entre ellos; se considera que los procesos químicos en el electrolito originan la carga de los bornes. El que esto no ocurra, significa para el estudiante redefinir las condiciones de equilibrio estático teniendo en cuenta el Efecto Volta: Si dos metales neutros de diferente clase se ponen en contacto, se produce un paso de carga hasta que se establece una diferencia de potencial entre ellos característica de los dos metales, la cual es dependiente de la temperatura de los mismos. Este efecto se torna así en objeto de estudio.

Una vez comprendido es posible reinterpretar el funcionamiento de la pila (el circuito

formado por dos metales y un electrolito). Al conectar los bornes de la batería por medio de un conductor, circula a través de él una carga, tendiendo así a establecer un estado de equilibrio electrostático entre los mismos; es decir, tendiendo a establecer la diferencia de potencial característica de los dos metales que componen los bornes. El electrolito, entre tanto, tiende a reducir esta diferencia de potencial. Se establece así una corriente estacionaria.

Si bien la conceptualización desarrollada en torno a la corriente deriva, en parte, de la lograda en el estudio de los fenómenos electrostáticos, se hace necesario mostrar empíricamente que la corriente voltaica es de la misma naturaleza que la electricidad estática. El examen de los efectos de estos dos tipos de electricidad permiten dar pruebas empíricas de este hecho: efectos fisiológicos, producción de calor (efecto joule), disociación electrolítica, etc. A este respecto los experimentos de Faraday dan elementos. Por otra parte, el fenómeno de la electrólisis se puede constituir en un buen medio para dar un primera medida de la corriente, derivando las leyes de Faraday. Es importante notar que en este contexto conceptual el uso del amperímetro no tendría sentido.

Hasta aquí, ha sido posible ver que en el caso de los electrolitos la corriente significa transporte de materia, mientras que en el de los conductores metálicos no. Esto lleva a pensar la corriente eléctrica de manera local, como una señal que se transmite punto a punto, visión que puede contribuir a una concepción de campos.

## LOS FENOMENOS ELECTROMAGNETICOS Y LA CONCEPCION DE CAMPOS

Siendo el objeto de análisis de la teoría electromagnética el campo electromagnético, el profesor se ve abocado a un gran obstáculo: la concepción "mecanicista" de

los estudiantes que los hace centrar la atención en los cuerpos y en las acciones entre ellos. En lo que sigue se plantean elementos de una estrategia que busca permitir a los estudiantes comenzar a ver que el espacio entre los cuerpos juega un papel esencial en la acción entre éstos. La estrategia se desarrolla en torno a tres aspectos: la visualización de la acción en el espacio y la eliminación de las fuentes, y la necesidad del campo.

Con la visualización de la acción en el espacio se busca que el estudiante centre su atención en la representación espacial de la acción. Tal proceso se lleva a cabo caracterizando las acciones en el efecto Oersted, y en la interacción entre imanes y entre corrientes. Cuando se piensa en cómo son las acciones debidas a la interacción entre un conductor fijo por el que circula una corriente y una brújula (imán), se las puede caracterizar con lo que hemos denominado "la transversalidad de la acción"; que se traduce en una "acción circular" en el espacio que rodea al conductor. Tal efecto de circularidad o transversalidad se presenta también cuando el conductor es móvil y el imán fijo. Entre tanto, las acciones entre imanes y entre corrientes paralelas son de atracción y de repulsión. El detenerse en las acciones permite, así, la eliminación de las fuentes. A partir de ellas ya no es posible distinguir entre lo eléctrico y lo magnético: la acción sobre una brújula puede proceder ya sea de un imán o de un conductor por el que circula corriente; si es uno o el otro, o incluso de donde proviene, deja de importar.

Si, una vez logrado este nivel de conceptualización, se le presenta al estudiante el fenómeno de la variación de la capacidad eléctrica al introducir un dieléctrico entre las placas de un condensador sometido a una diferencia de potencial fija, y el fenómeno de inducción; estaría en mejores condiciones para ver estos efectos como consecuencia de procesos que se dan en el espacio. El hecho de que la carga de las placas

del condensador sometido a una diferencia de potencial fija, varíe al introducir un dieléctrico puede ser visto como un efecto de la variación de las características espacio entre las placas (propiedades eléctricas diferentes) y como una manifestación de que la acción se transmite punto a punto; igualmente podrá asumir el vacío como cualquier material dieléctrico o viceversa. Por otro lado, con la idea de que el espacio interviniente juega un papel fundamental, es posible esperar que una perturbación (un cambio) en un lugar en el espacio signifique un cambio en otro lugar al cabo de un tiempo, como es el caso del fenómeno de la inducción: la variación en un lugar del espacio -debida, por ejemplo, a un cambio en la corriente- debe esperarse que se propague a otros puntos del espacio y que sea detectable a través de un cambio: variación en la corriente en un conductor ubicado en un punto dado; el conductor sería un simple detector de la perturbación.

El logro de este nivel de comprensión de los fenómenos electromagnéticos le permitirá al estudiante un acceso con más significación y sentido a la teoría electromagnética clásica.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- El trabajo se llevó a cabo bajo la dirección de los profesores F. Malagón y M. M. Ayala y en la elaboración de la propuesta y en su desarrollo del trabajo contribuyeron de manera importante los estudiantes de práctica docente: O. L. Romero, J. Romero, P. Lugo, I. Garzón, L. M. Garzón y M. Castillo.
- Los experimentos de Volta con el electroscopio condensador permiten el análisis de tal efecto. Véase, por ejemplo: J. Langlebert. Física. Librería de la Vda. de C. Bouret, México, 1909, pág. 330-333.

- M. FARADAY, *Experimental Research in Electricity*, Serie III.