

# LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL EN ELECTROSTÁTICA

**APORTES HISTÓRICOS PARA LA DIDÁCTICA DE LA FÍSICA**

• EDWIN GERMÁN GARCÍA ARTEAGA •



Universidad  
del Valle

Programa  Editorial

**E**l presente trata los problemas de la formación en física a nivel universitario para futuros docentes. Desde un estudio de caso relacionado con la electrostática se pone en evidencia que la enseñanza descontextualizada de los contenidos de la física, la ausencia de la actividad experimental, el razonamiento lógico-matemático reducido a la memorización de fórmulas y ecuaciones, y la apropiación de leyes y teorías sin sentido histórico son parte de los problemas identificados.

Como alternativa a dichos problemas, se presenta un estudio histórico-crítico de la electrostática, en torno a los problemas fundamentales que tuvieron los científicos en la construcción de esta rama de la física y que resultan significativos en la enseñanza actual, desde los estudios de William Gilbert sobre la electricidad y el magnetismo en el s. XVI hasta los aportes experimentales de Faraday y Maxwell en el s. XIX; desde la perspectiva de campos, pasando por los trabajos experimentales de Stephen Gray, Charles du Fay y Benjamín Franklin, entre otros. Finalmente se hace una propuesta alternativa para enseñar la electrostática desde un enfoque constructivista, haciendo énfasis en el sentido histórico y experimental que acompaña la física.



LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL  
EN ELECTROSTÁTICA  
APORTES HISTÓRICOS PARA LA DIDÁCTICA DE LA FÍSICA

• EDWIN GERMÁN GARCÍA ARTEAGA •

E&P

Colección Educación y Pedagogía

García Arteaga, Edwin Germán

La actividad experimental en electrostática: aportes históricos para la didáctica de la física / Edwin Germán Gracia Arteaga. -- Bogotá : Programa Editorial Universidad del Valle, 2018.

232 páginas ; 24 cm. -- (Colección educación y pedagogía.)

Incluye índice de contenido

1. Física - Enseñanza - Metodología 2. Electrostática - Historia 3. Campos eléctricos I. Tít. II. Serie.

530.7 cd 21 ed.

A1598655

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

## **Universidad del Valle**

### **Programa Editorial**

Título: La actividad experimental en electrostática.

Aportes históricos para la didáctica de la física

Autor: Edwin Germán García Arteaga

ISBN: 978-958-765-784-5

ISBN PDF: 978-958-765-785-2

Colección: Educación y Pedagogía

### **Primera edición**

© Universidad del Valle

© Edwin Germán García Arteaga

Diseño de carátula y diagramación: Hugo H. Ordóñez Nievas

**Libro publicado con recursos del proyecto de inversión 36205517**

---

Este libro, o parte de él, no puede ser reproducido por ningún medio sin autorización escrita de la Universidad del Valle.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión del autor y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad del Valle, ni genera responsabilidad frente a terceros. El autor es el responsable del respeto a los derechos de autor y del material contenido en la publicación, razón por la cual la Universidad no puede asumir ninguna responsabilidad en caso de omisiones o errores.

Cali, Colombia, julio de 2018

LA ACTIVIDAD EXPERIMENTAL  
EN ELECTROSTÁTICA  
**APORTES HISTÓRICOS PARA LA DIDÁCTICA DE LA FÍSICA**

**E&P**

Colección Educación y Pedagogía

## **EDWIN GERMAN GARCÍA ARTEAGA**

Doctor y Magíster en Educación de la Universidad Autónoma de Barcelona, Magíster en Docencia en la Física y Licenciado en Física de la Universidad Pedagógica Nacional. Profesor titular e investigador adscrito al área de Educación en Ciencias y Tecnologías del Instituto de Educación y Pedagogía de la Universidad del Valle, miembro de la Asociación Colombiana de Física, Asociación de Profesores en la enseñanza de la Física. Interviene como investigador del Grupo de Investigación Ciencia, Educación y Diversidad. Ha escrito un importante número de libros y artículos, dirigido numerosos proyectos de investigación, tesis de pregrado, maestría y doctorado en el campo de la didáctica de las ciencias en diferentes líneas de investigación.

*Si se considera la historia algo más que un depósito de anécdotas o cronología, puede producir una transformación decisiva en la imagen que poseemos actualmente de la ciencia*

T. S. KUHN



## CONTENIDO

### INTRODUCCIÓN

13

#### CAPÍTULO 1

### HISTORIA, EPISTEMOLOGÍA Y ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

27

LA NATURALEZA DE LA CIENCIA . . . . .	27
La naturaleza “positiva” de la ciencia . . . . .	29
La naturaleza cultural de la actividad científica . . . . .	35
La historia de las ciencias . . . . .	48
Perspectiva sociocultural de la HC . . . . .	56

#### CAPÍTULO 2

### HISTORIA DE LA ELECTROSTÁTICA

61

LOS ESTUDIOS HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICOS . . . . .	61
Los episodios históricos . . . . .	63
IMPORTANCIA HISTÓRICA DE LA PERSPECTIVA DE CAMPOS . . . . .	64
SELECCIÓN DE EPISODIOS HISTÓRICOS EN ELECTROSTÁTICA . . . . .	67
El comportamiento de los materiales . . . . .	67
Evidencia de efecto sensible . . . . .	71
Producción y acumulación de electricidad . . . . .	73
La electricidad dual: atracción y repulsión eléctrica . . . . .	84
Inducción y polarización . . . . .	90
Conservación y cuantificación . . . . .	98

**CAPÍTULO 3**  
**DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES**

107

LOS ENFOQUES CULTURALES EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS . . .	107
Los modos de observar la realidad . . . . .	108
Lenguaje, comunicación y enseñanza . . . . .	110
La construcción significativa de la experiencia . . . . .	111
RETÓRICA DE LOS TEXTOS . . . . .	113
Retórica en los libros de texto . . . . .	113
Retórica de textos originales . . . . .	116
Retórica y enseñanza de la física . . . . .	118
EL SISTEMA DIDÁCTICO . . . . .	121
El problema de la enseñanza de la física . . . . .	121
El problema del aprendizaje . . . . .	121
El problema de los contenidos. . . . .	123
LA ENSEÑANZA DEL ELECTROMAGNETISMO. . . . .	126
Dificultades en la enseñanza del electromagnetismo . . . . .	126
Propuestas alternativas . . . . .	127

**CAPÍTULO 4**  
**RELACIONES ENTRE LOS EPISODIOS HISTÓRICOS,**  
**LIBROS DE TEXTOS Y EXPLICACIONES DE LOS ESTUDIANTES**

137

ANÁLISIS DE LOS TEXTOS . . . . .	137
Instrumentos . . . . .	137
Análisis de libros de texto . . . . .	140
Sobre explicaciones de los libros texto . . . . .	144
Macroestructura . . . . .	145
Microestructura . . . . .	146
Libro 2. . . . .	148
Macroestructura . . . . .	149
Microestructura . . . . .	150
Libro 3. . . . .	153
Macroestructura . . . . .	154
Microestructura . . . . .	154
Dificultades en la presentación de los textos . . . . .	159

EXPLICACIONES DE LOS ESTUDIANTES . . . . .	161
Explicaciones sobre los fenómenos electrostáticos . . . . .	161
Sobre las explicaciones de los estudiantes . . . . .	174
EPISODIOS HISTÓRICOS . . . . .	182
Sobre la retórica de escritos científicos . . . . .	182

**CAPÍTULO 5**  
**ENSEÑANZA DE LA ELECTROSTÁTICA**  
**EN LA PERSPECTIVA DE LA TEORÍA DE CAMPOS**  
**187**

PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA ELECTROSTÁTICA . . . . .	187
Los Objetivos . . . . .	188
Los procesos epistemológicos . . . . .	189
Los criterios . . . . .	190
Núcleos de actividades . . . . .	191
SECUENCIA DE ACTIVIDADES . . . . .	191
Comportamiento de los materiales debido a la frotación. . . . .	191
Comunicación de la electrificación y formas de comunicación . . . . .	196
Formas de comunicación de la electrificación:	
inducción y conducción . . . . .	201
Efectos mecánicos entre cuerpos electrificados	
y clases de electrificación . . . . .	204
La acción inductiva electrostática . . . . .	208
Ampliación del modelo: representación de la tensión del medio . . . . .	210
Conservación y cuantificación de la electrificación . . . . .	211

**BIBLIOGRAFIA**  
**217**



# INTRODUCCIÓN

## LA SITUACIÓN ACTUAL EN LA FORMACIÓN DE DOCENTES DE CIENCIAS NATURALES

La preocupación de los investigadores en didáctica de las ciencias ha estado orientada, entre otros aspectos, a la transformación de las relaciones entre enseñanza y aprendizaje en los distintos niveles del sistema educativo, aunque con mayor tendencia en la educación básica y media. A nivel de la formación inicial docente, son pocos los estudios que se han hecho sobre la relación entre la formación disciplinar y la formación pedagógica (Campanario, 2002). Particularmente en física, en muchas universidades se suele considerar que la formación disciplinar es competencia directa de las facultades de ciencias y que las facultades de Educación deben ocuparse únicamente de la formación didáctica y pedagógica. El problema se presenta cuando se evidencia que estudiantes en formación docente, e incluso docentes en ejercicio, presentan dificultades conceptuales con la física que aprenden, dificultad que tiene consecuencias directas con la enseñanza de la física que van a impartir posteriormente en el ejercicio de su carrera profesional.

Una situación que se presenta actualmente en los programas de formación docente en ciencias naturales en Colombia<sup>1</sup>, es la tensión que existe entre la formación estrictamente disciplinar por un lado y la formación pedagógica por el otro. Ambas parecen excluirse mutuamente. Hasta hace unas décadas la discusión hacia énfasis en que era más importante el contenido disciplinar, ya que, para algunos autores la formación pedagógica se puede obtener después, ya que un conocimiento adecuado de lo que ha de ser enseñado es garantía de una buena enseñanza; se solía decir que: “quien sabe física, sabe enseñar física”. Pero las investigaciones posteriores demostraron

---

<sup>1</sup> Aunque también en otros programas de formación de las universidades, pero más evidente en aquellas que tienen facultad de Ciencias y facultad de Educación.

que esto no es del todo cierto y que era necesario hacer énfasis en los problemas de la enseñanza ya que no basta con saber, se requiere conocer la didáctica necesaria para una buena enseñanza, pero esto tampoco ha dado resultados favorables si no se comprende la disciplina. Esta tensión entre lo disciplinar y lo pedagógico resulta conflictiva en los procesos de formación a tal punto que llega a generar serios problemas de identidad profesional en el futuro docente (Ayala, 2004)

La distinción en los procesos de formación de profesores entre el campo científico por un lado y los campos pedagógico y didáctico por el otro, sugieren la poca conectividad entre ellos.

El campo científico se refiere al conocimiento estrictamente disciplinar para el aprendizaje de los contenidos de las ciencias naturales, cursos que se suelen ofrecer por parte de las facultades de Ciencias y dictado por profesores de dicha facultad: físicos, químicos o biólogos. Por su parte lo pedagógico, lo didáctico y lo socio ambiental es ofrecido por la facultad de Educación por parte de profesores con formación pedagógica. Existen incluso electivas; llamadas profesionales y complementarias, que son opcionales por parte de los estudiantes. Esta separación entre los contenidos de las ciencias y los contenidos de la pedagogía y la didáctica han terminado por afectar la formación del docente.

### **TENSIÓN DISCIPLINA VS. PEDAGOGÍA**

Para determinar los motivos que generan la tensión entre la formación disciplinar por un lado y la formación pedagógica por otro, es necesario revisar estos dos conceptos de forma independiente y su incidencia en la formación docente.

Las facultades de ciencias, encargadas de la formación disciplinar en ciencias naturales, seleccionan los contenidos que deben ser enseñados, incluyendo los cursos fundamentales o generales. Al revisar los programas de estos cursos se encuentra que tienen el mismo contenido sin importar si se ofrece a biólogos, físicos, ingenieros o docentes. Es claro que la formación disciplinar es importante, pero la pregunta que nos hacemos, junto con J. S. Ridgen (1986) es; ¿Acaso la formación en ciencias que necesita un futuro docente debe ser la misma que un estudiante de física, química o ingeniería? Al respecto Ridgen, en un artículo publicado en el editorial del *American Journal of Physics* en agosto de 1986, llama la atención en que: “Un profesor de física requiere una sólida formación en esta disciplina, pero decididamente diferente a la que se le da a un físico, y no porque sea de menor calidad sino porque ha de formarse para desarrollar un trabajo de intervención

cultural” Y más adelante afirma que: “el problema de la educación son los procesos cognitivos, que no es la preocupación central de los físicos”.

El artículo sugiere que la formación disciplinar del físico y del licenciado en física deben ser diferentes, ya que sus campos profesionales son también diferentes.

Para establecer con criterio la formación que requiere un docente en el campo de las Ciencias Naturales es necesario preguntarnos ¿Qué se espera de un Licenciado en Ciencias Naturales? y ¿Para qué tipo de sociedad pretendemos formarlo? En el informe titulado *Ciencia y Tecnología para una sociedad abierta* presentado por el departamento de Ciencia y Tecnología de Colombia COLCIENCIAS (Bogotá, 1990) se hace especial énfasis en: “Lograr que la ciencia se arraigue en nuestra cultura. Una cultura científica asumida por amplios sectores de la población es pues, condición de posibilidad de actividad científica en nuestro país”

Gran parte de esta responsabilidad de llevar la ciencia a la población la tienen los profesores de ciencias. Para adquirir una cultura científica es necesario una formación disciplinar que tenga en cuenta las problemáticas y necesidades propias de la sociedad en cuanto a ciencia y tecnología se refiere, de tal manera que sean objeto de estudio, debate y apropiación por parte de los futuros docentes.

En el mismo informe, en el aparte denominado Estructura Científica, Desarrollo Tecnológico y Entorno Social del Departamento de Planeación Nacional: Misión de Ciencia y Tecnología (Bogotá, 1990) se sugiere: “cambiar la relación que los individuos y colectividades mantienen con el conocimiento”.

El contexto actual de globalización e internacionalización de la economía, exige por parte de los países emergentes una reorientación de las políticas en cuanto a ciencia y tecnología se refiere. Acercar más la ciencia y la tecnología a la cultura de base es importante para apropiarse conocimientos que se puedan revertir en mejor calidad de vida. Cambiar la relación con el conocimiento implica cambiar costumbres arraigadas en la apropiación misma de los contenidos de las ciencias por parte de los futuros docentes. Deben ser contenidos que tengan una importancia desde el punto de vista social y cultural en el desarrollo de los pueblos. A este respecto es importante tener presente las palabras de Guidoni, Arca y Mazzoli (1990) en su libro *Enseñar Ciencias*, que: “nada se puede transferir a una cultura sin que sea transformado por ella”. Esto es, para el caso de los profesores de ciencias, que puedan apropiarse las problemáticas fundamentales del conocimiento científico y de la actividad científica para llevarlos a la comunidad educativa y fomentar su transformación como mediador cultural que es entre estos dos contextos.

Es necesario entonces, reorientar la formación del maestro hacia una visión disciplinar que le permita diseñar procesos de intervención y transformación social a través del conocimiento científico. Pero ello no es suficiente si solamente se atiende el conocimiento a partir de sus contenidos internos programáticos, expresados en forma de conceptos, leyes, teoría y modelos de pensamiento; es necesario avanzar –como se hace en otros países– hacia el conocimiento que implique los factores de intervención y transformación, los estilos de investigación y criterios de validación que hay en los procesos de construcción de conocimiento científico. Estos nuevos enfoques poco a poco han venido haciendo parte de los programas de formación docente y lo diferencian claramente del conocimiento de la disciplina. Retomando aportes fundamentalmente de la historia y filosofía de las ciencias, es posible pensar la ciencia como una actividad humana y cultural, más que el producto de la actividad misma. En este sentido, entonces es necesario y urgente preparar al futuro docente en una formación integral que tenga en cuenta estos aspectos y lo fortalezca en el conocimiento *de* y *sobre* la disciplina, como lo sugieren Duschl (1997) y Duit (2006).

Ahora bien, como esta orientación no suele hacer parte de los programas que ofrecen las facultades de ciencias, ya que no es objeto de su interés, entonces corresponde a la didáctica de la ciencia, avanzar en estrategias que posibiliten la inclusión de los aspectos culturales de la actividad científica en la construcción del conocimiento científico. Establecer criterios de selección de contenidos que establezcan relación entre ellas, ya que encontramos que no es posible considerar solamente el conocimiento *sobre* la disciplina sin que se afecte el conocimiento *de* la disciplina, las dos se necesitan y se complementan.

### **UN PAPEL PARA LA HISTORIA EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**

La historia y filosofía de la ciencia en la didáctica de las ciencias se hace cada vez más evidente, no solamente como recurso, sino como una forma de organizar el conocimiento, por lo menos en lo que a programas de formación de docentes se refiere. Los estudiantes en formación inicial docente adquieren una formación y una manera de aprender las ciencias, y aprender física en particular, que les sirve para resolver ejercicios y problemas de los libros de texto, pero evidencian serias dificultades al momento de explicar situaciones relacionadas con los fenómenos estudiados, dificultades que ponen en evidencia la carencia de significados y sus aplicaciones, como un desconocimiento del sentido histórico y problemático del objeto de estudio.

Los libros de texto que son utilizados como recurso fundamental en la enseñanza de la física general no parecen tener en sus contenidos modificaciones significativas en esta dirección, pues suelen presentar los contenidos de forma lineal y continua, esto es, iniciar con cinemática y dinámica y terminar con física moderna y relatividad.

Es por eso que el objetivo del presente trabajo de investigación ha sido identificar y revisar en los textos de física general la estructura retórica presente en los contenidos relacionados con la electrostática, considerando los aportes de la historia y filosofía de la ciencia, particularmente en lo que tiene que ver con las prácticas experimentales; establecer relaciones con las explicaciones de los estudiantes y poner en evidencia la necesidad de avanzar en propuestas alternativas de organización de los contenidos en la enseñanza de la física.

Este libro, resultado del proyecto, se inscribe en el marco general de la problemática relacionada con la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, en particular la física a nivel universitario. Centra la atención en los tres actores fundamentales del sistema didáctico: docentes, estudiantes y contenido. Se hace un estudio sobre las explicaciones de los estudiantes sobre fenómenos relacionados con electrostática, evidenciando la carencia de significados, también se hace un estudio de la forma como los libros de texto universitarios presentan la electrostática en sus páginas desde un análisis del contenido, evidenciando una retórica de transmisión y yuxtaposición de contenidos, alejados del sentido historicista del conocimiento científico. Finalmente y como resultado de los estudios anteriores se hace una propuesta de enseñanza de la electrostática a los docentes, basada en estudios históricos, experimentales y problemáticos.

### CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

Las fases en las que se realizó el proceso no son continuas, son simultáneas: por una parte, se reconoce la importancia del análisis de la estructura retórica de los libros de texto a través de redes sistémicas y de micro y macro estructuras porque permiten de manera consistente identificar las dificultades y vacíos evidenciadas en dichos libros. Segundo, el uso de cuestionarios con preguntas abiertas y cerradas, de uso frecuente en la didáctica de las ciencias, porque permite identificar y hacer seguimiento a las formas de explicar de los estudiantes. Es necesario resaltar que las preguntas que orientaron los cuestionarios no son diseñadas para indagar “qué sabe” el estudiante sino “cómo explica” lo que sabe. En este sentido se buscan *modelos* explicativos de los estudiantes que puedan asociarse con visiones históricas y con las formas como los libros de texto presentan los contenidos.

La segunda fase recoge una manera particular de hacer uso de la historia de la ciencia para la didáctica en la que es necesario para el investigador involucrarse en la actividad misma, esto implica tener dos funciones, por una parte, la función externa de seleccionar y depurar la información necesaria y suficiente y por otra adentrarse en la problemática propia de la física en la organización y construcción de la experiencia como tal. Podríamos decir que el investigador vive el proceso mismo que posteriormente marca la intencionalidad de la propuesta didáctica.

La tercera fase es la culminación del proceso con la elaboración de la propuesta alterna. La manera de plasmar la intención didáctica va de la mano con las orientaciones de una teoría de contenidos que la llene de significado y marque la ruta o forma de proceder. Para nuestro caso dicha ruta posibilitó una manera de organizar y presentar los contenidos de introducción al electromagnetismo, consecuente con la intencionalidad didáctica que la orientó.

El libro es el resultado de una investigación cualitativa de carácter interpretativo, en la que se consideraron varios tipos de recursos físicos y humanos: documentos y textos científicos originales, documentos de historiadores de filósofos de las ciencias y de didactas de las ciencias tales como análisis histórico-crítico de textos y documentos de los científicos que aportaron al desarrollo del fenómeno eléctrico en la perspectiva de campos, análisis de la estructura retórica de los textos de física general, particularmente la manera como presentan los contenidos de la teoría de campos, análisis de las formas de explicación de los estudiantes en formación inicial docente, esto es, si consideran o no aspectos fundamentales de la teoría de campos, la re-contextualización didáctica de las prácticas experimentales y saberes históricos que recoge el análisis histórico-filosófico y aportar elementos para una didáctica alterna de presentación de contenidos a nivel de la física general en la perspectiva de la teoría de campos.

### **FASE DE ESTUDIOS HISTÓRICOS**

A diferencia de otras posturas que hacen uso de la historia de la ciencia para recrear, relatar o mostrar la evolución de un concepto, aquí se volvió relevante la búsqueda de episodios históricos con el interés de problematizar el conocimiento. La distinción entre lo eléctrico y lo magnético no tendría sentido si no es porque se hace necesario analizar el comportamiento de los materiales –triboelectricidad– ya que no es considerado ni dimensionado por los libros de texto y porque los estudiantes presentan dificultades respecto a este concepto. Además, porque en la perspectiva de campos es importante considerar el comportamiento de los materiales ya que más

adelante permitirá hacer referencia al comportamiento del medio, fundamental para comprender el electromagnetismo.

Los episodios históricos permiten hacer análisis más cercanos de los instrumentos y aparatos utilizados por los científicos con el fin de construir una experiencia que sea significativa. De una parte, se aprecian las dificultades que implica en los estudiantes la visión teórica en la enseñanza de fenómenos como conducción e inducción eléctrica, la cual termina por reducirse a un aprendizaje memorístico, de fórmulas y definiciones cargadas de información abstracta. Y por otra parte se muestran las fortalezas de la práctica científica donde se abre un panorama de posibilidades de exploración experimental y conceptual en la que los aparatos e instrumentos se hacen relevantes en la construcción del conocimiento. El Versorium de Gilbert, o el electroscopio de Faraday, utilizados en los textos para *evidenciar carga eléctrica*, son estudiados para dar cuenta de las fuerzas de atracción, de la capacidad de los cuerpos de manifestar la electrificación y para comprender que el comportamiento eléctrico se da entre cuerpos electrificados. La experimentación supera así el papel subsidiario de demostración de la teoría y se establece como forma genuina de organizar el fenómeno eléctrico y donde el estudiante asume un papel activo en la construcción de explicaciones sobre la electricidad estática de forma que estas le permitan hacer comprensible y transformable el mundo que le rodea.

### RETÓRICA DE LOS TEXTOS

Estudiar los textos se ha convertido en una prioridad para la didáctica de las ciencias. Los libros de texto analizados aquí, se caracterizan por presentar una física de corte expositivo y dogmático al presentar las leyes y teorías relacionadas con la electrostática como definiciones y afirmaciones, con un discurso transmisionista transmisordel conocimiento y con marcado énfasis matemático, sin dejar posibilidad al análisis, interpretación y explicación de los fenómenos electrostáticos. No se reconoce en ellos de forma explícita y diferenciada la teoría de campos de la teoría de acción a distancia. Tampoco se reconoce el papel del experimento en la constitución del conocimiento científico, pues este es esencialmente demostrativo y subsidiario de los modelos explicativos presentes. Se destaca, en este sentido, la influencia de la visión positivista del conocimiento.

El uso de la historia para mostrar el desarrollo de la electricidad es escaso. Algunos comentarios aislados sobre aportes históricos, se hacen con énfasis en descripciones y narraciones históricas, no se encuentra en ellos, un uso de la historia en la construcción de la teoría de campos.

Con relación a la presentación de la electrostática, como aspecto fundamental de introducción al electromagnetismo, no es considerada en la magnitud que corresponde. Solamente un libro hace alusión a la triboelectricidad. Sin entrar en detalles y consideraciones, los otros libros hacen más énfasis en las formulaciones matemáticas de la fuerza eléctrica y la ley de Coulomb. Conservan una secuencia similar en la presentación de los contenidos, a saber: parten de efectos de frotación de los cuerpos para definir carga, ley de Coulomb, conservación de carga, fuerza eléctrica, campo eléctrico, cuantización y potencial eléctrico.

Existe una yuxtaposición en las formas de explicar ya que se hace alusión a la mecánica en torno a fuerzas de acción a distancia y la ley coulombiana y luego se hace referencia a campo eléctrico y líneas de fuerza, así como elementos de física atómica y mecánica cuántica, sin informar o aclarar que son visiones de mundo epistemológicamente contrarias. Sin embargo, se espera que los estudiantes avancen en la resolución matemática de problemas más que en su comprensión conceptual. Hay que destacar que la intención de los autores es clara y precisa, están dirigidos a estudiantes de ciencias e ingeniería en aprendizaje de la física a partir del desarrollo de habilidades en la resolución de problemas.

Existen evidentes problemas conceptuales al caracterizar el campo eléctrico, por ejemplo, al considerar las líneas de campo como líneas imaginarias, desconociendo que para Faraday el campo tiene existencia ontológica y las líneas de campo son reales. Cuando se hace referencia al campo como la acción de una carga eléctrica sobre el medio que la rodea, cuando en el modelo de Faraday y Maxwell el campo es una acción del espacio mismo y no reside en los cuerpos. Al considerar la transferencia de electrones como fluido al pasar del vidrio a la seda, o como dos fluidos cuando argumentan que los protones portan carga positiva y eventualmente también se pueden mover, cuando se asume la ley del inverso cuadrado de la distancia como ley general sin considerar que la ley no se cumple para distancias muy grandes. También en afirmaciones como “la interacción electrostática entre dos partículas cargadas es proporcional a sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas y su dirección es según la recta que las une” donde no hay más opción que pensar mecánicamente el problema, pero con la dificultad para dar cuenta de fenómenos inductivos en línea curva.

Existe una clara relación entre las explicaciones de los estudiantes y la presentación de los libros de texto con los que estudian. Los textos seleccionados corresponden a aquellos con los que el grupo de estudiantes elegido estudia y hace sus actividades. Ambos; estudiantes y textos,

recurren a explicaciones utilizando modelos históricamente superados como las teorías de fluidos y el modelo mecanicista de acción a distancia. Tanto en los estudiantes como en los textos se notan enfoques correspondientes al modelo estándar de partículas, donde las partículas poseen carga eléctrica y está concentrada en cargas puntuales. Existe en los estudiantes un desconocimiento de la teoría de campos y en los libros una ausencia de la perspectiva de Faraday en torno a la visión epistemológica del campo, haciendo énfasis fundamentalmente en el aspecto del campo como representación matemática del medio. A pesar de que los libros analizados hacen referencia a la cuantización, ésta es asumida como un aspecto de la discretización de la carga desde la física atómica o la mecánica cuántica y consideran someramente los experimentos de Millikan. En los estudiantes la cuantificación no alcanza ni siquiera a ser un problema percibido experimentalmente.

Es posible entonces reorientar el papel que se le está dando a la experimentación y considerar la riqueza conceptual que allí se esconde. Saber física no es solamente saber de leyes y teorías, es también el saber experimental, es darle importancia al diseño y construcción de experimentos cualitativos y cuantitativos cuya riqueza está en llenar de sentido un conocimiento, así como también el diseño y elaboración de aparatos e instrumentos. Al final, todo esto revierte en los libros de texto que constituyen una forma de anclar materialmente los conocimientos. Por tanto, es importante que éstos reflejen la importancia de los experimentos, su relación no subsidiaria de la teoría y, en último término, contribuyan al equilibrio y complementariedad entre teoría y práctica (García y Estany, 2010).

### EXPLICACIONES DE LOS ESTUDIANTES

A partir del análisis realizado a las explicaciones de los estudiantes se encontró que efectivamente presentan dificultades conceptuales sobre la electrificación de los cuerpos, dificultades que se hacen evidentes en los siguientes aspectos:

- Similitud con visiones históricas que han sido modificadas
- Utilización de lenguaje no significativo
- Realismo ingenuo de la carga eléctrica

Con relación a la similitud con las visiones históricas encontramos inicialmente algunas explicaciones de los estudiantes basados en la perspectiva sustancialista. Recordemos que existen históricamente tres maneras de manifestar el substancialismo en los fenómenos eléctricos: una es la sustancia

“vapor” o “atmósfera” que sale del cuerpo electrificado, se dirige al cuerpo neutro liviano y lo atrapa, atrayéndolo hacia sí, otra es la electrificación como un fluido similar al calórico que pasa de un cuerpo electrificado a otro que no lo está y la tercera, la electrificación como dos fluidos con cargas contrarias que se intercambian de posición entre los cuerpos frotados. Estas tres formas están presentes en las explicaciones de los estudiantes. Por ejemplo, cuando argumentan aumento de carga por el movimiento o transferencia de los electrones, cuando los electrones de signos contrarios se desplazan y anulan o aniquilan entre si y cuando dicen que regiones no frotadas resultan con carga por la influencia de la región frotada. Es importante anotar cómo para algunos no existe límite en el flujo de electrones, ya que cuanto más se frota un cuerpo, más electrones libera y entonces la carga eléctrica puede aumentar y aumentar...

La utilización de un lenguaje no adecuado al contexto de la explicación (descontextualizado) es otro aspecto de evidencia de las dificultades en los estudiantes. Expresiones como “campo magnético” “se carga electronegativamente” o “partículas captadas del exterior” “la causa es el calor” para hacer referencia a la electrificación se observan con frecuencia en sus explicaciones. La información a la que con frecuencia acceden por parte de profesores, libros de texto y otros medios hace que los estudiantes no utilicen con claridad los conceptos aprendidos.

Por último, se ha encontrado la asociación de la fuerza eléctrica con la visión mecanicista, particularmente la newtoniana. La carga es un poder activo que reside en los cuerpos y se manifiesta cuando el cuerpo es frotado, dicho poder actúa a distancia y aumenta con la frotación; en expresiones como “mayor frotación entonces mayor activación” se aprecia como el poder de la carga no tiene límite en principio.

Estas dificultades evidenciadas en los estudiantes permiten asumir que a pesar de haber pasado por los cursos de introducción a la física no reconocen ni tienen presente la noción de campo en sus explicaciones, que recurren a la física de partículas desde modelos similares a los que han sido replanteados históricamente, particularmente las teorías de fluidos y la utilización ingenua del modelo newtoniano de acción a distancia con fuerzas residentes en los cuerpos.

Con las dificultades detectadas el estudiante no posee elementos conceptuales para abordar la teoría de campos, ni explicar satisfactoriamente la inducción y polarización eléctrica como acción del medio, como tampoco avanzar en la construcción significativa de las ecuaciones de Maxwell.

## LA TEORÍA DE CAMPOS Y LOS LIBROS DE TEXTO

Al revisar cuidadosamente la presentación que hacen los textos analizados sobre los conceptos fundamentales implicados en la construcción de la teoría de campos, esto es carga eléctrica, conducción, inducción, polarización, conservación y cuantificación, se encuentra que no se corresponde con la visión que históricamente se desarrolló de la teoría de campos, particularmente la concebida por Faraday y defendida por Maxwell, en los siguientes aspectos:

1. Para la teoría de campos es fundamental el comportamiento del medio, la fuerza no reside en los cuerpos electrificados sino en el medio mismo. Los libros de texto analizados responden al modelo matemático de campo, mezclando teóricamente los modelos de acción a distancia con los modelos de campos.
2. La inducción eléctrica es para Faraday el eje organizador de la teoría de campos, el poder de acción del medio es inductivo, la polarización y la conducción eléctrica son manifestaciones de dicho poder. Los dieléctricos se diferencian de los conductores en la capacidad de sostener la acción inductiva. Mientras que los dieléctricos la soportan, los conductores no lo hacen. En los textos analizados no se registra esta importante consideración de la teoría de campos.
3. Los fenómenos de atracción y repulsión son explicados a partir del comportamiento del medio, pues cuando las acciones que soportan las partes polarizadas no soporten una u otra condición, ya sea de resistencia o de tensión se presenta atracción o repulsión. Los textos analizados utilizan estos fenómenos únicamente para dar cuenta de la existencia de carga eléctrica y la existencia de dos tipos de electricidad a partir del modelo de acción a distancia.
4. La teoría de campos tiene una base genuinamente experimental, la experimentación está sobre la base de la organización fenomenológica de campos. En los textos analizados la experimentación es escasa y meramente demostrativa.
5. La teoría de campos se construye en oposición al modelo de acción a distancia, los fenómenos considerados y la experimentación registrada, particularmente la inducción eléctrica, contrastan con las explicaciones mecanicistas. Los libros de texto por una parte yuxtaponen el modelo de acción a distancia para explicar fuerzas eléctricas y el de campos para explicar potencial eléctrico y energía eléctrica. Por otra parte, acomodan los pocos experimentos al modelo que se corresponda y finalmente presentan de forma artificiosa la formulación