

REPÚBLICA DE COLOMBIA  
UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA

LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE CORRIENTE ELÉCTRICA DESDE  
UN ENFOQUE HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICO

Tesis para obtener el título de Licenciado en Matemáticas y Física

JADER ALFREDO CANO VÁSQUEZ  
JUAN DIEGO GÓMEZ TORO  
IVÁN LEONARDO CELY RUEDA

ASESOR: ÓSCAR MENESES CARDONA

MEDELLÍN  
2009

**PÁGINA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Medellín

Fecha

---

## DEDICATORIA

Dedicamos con mucho amor e infinita gratitud la presente investigación a todos y cada uno de los miembros de nuestras familias, que nos han acompañado incondicionalmente durante todo este largo y productivo proceso que ha significado profesionalizarnos. Particularmente, a nuestros padres, que con su ejemplo y esfuerzo constante se han convertido en paradigma para nuestras vidas. A nuestros hermanos, que con su compañía nos dan ánimo, para no desfallecer. A nuestros hijos, alicientes permanentes para nuestra continua búsqueda de la profesionalización. A todos ellos *infinitas gracias.*

*Jader Alfredo Cano Vásquez*

*Juan Diego Gómez Toro*

*Iván Leonardo Cely Rueda*

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera especial el continuo acompañamiento de nuestro maestro y asesor Óscar Meneses Cardona, quien nos señaló el camino y el amor que profesamos por la física. Sin su permanente consejo, nuestra formación como licenciados adolecería de la pasión, el conocimiento disciplinar y la intención de retribuir a la sociedad los beneficios que la Universidad de Antioquia nos ha permitido disfrutar.

También queremos agradecer a los maestros que nos leyeron, nos refutaron, nos señalaron aciertos y errores o sostuvieron una constructiva conversación con nosotros. En cualquiera de los casos, su cercanía y palabras ya eran acicate para nuestro trabajo: La Doctora Fanny Angulo Delgado, el Doctor Ángel Romero Chacón, el Doctor Ricardo Gómez Yépes, el Magister Yirsén Aguilar Mosquera, el Magister Juan Carlos Castrillón, el Magister Orlando Quintero y el Licenciado John Freddy Zapata Blandón. A todos ellos y a los que no mencionamos por olvido involuntario, muchas gracias.

Finalmente, recordamos y agradecemos a los estudiantes del espacio de conceptualización Física de los Campos 2008-02, que permitieron con su disposición y actitud que nuestra práctica profesional y nuestra investigación marcara pautas investigativas y pedagógicas innovadoras. En general a la Facultad de Educación de la Universidad, y al profesor Luis Carlos Yépes, en particular, quienes avalaron y confiaron en este proyecto investigativo.

A todos ellos, infinitas gracias.

*Jader Alfredo Cano Vásquez*

*Juan Diego Gómez Toro*

*Iván Leonardo Cely Rueda*

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE ACEPTACIÓN .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
LISTA DE FIGURAS Y TABLAS .....	VII
1. RESUMEN .....	IX
2. INTRODUCCIÓN .....	11
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
3.1. ANTECEDENTES.....	13
3.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	14
4. OBJETIVOS .....	15
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
5. JUSTIFICACIÓN .....	16
6. MARCO TEÓRICO.....	18
6.1. REFERENTE EPISTEMOLÓGICO-DIDÁCTICO.....	18
6.1.1. La propuesta argumentativa de Toulmin .....	18
6.1.2. Modelos en la enseñanza de las ciencias .....	22
6.2. REFERENTE DISCIPLINAR.....	28
6.2.1. La corriente eléctrica desde un contexto histórico.....	28
6.2.2. La corriente eléctrica desde Michael Faraday .....	30
6.2.3. La corriente eléctrica desde James Clerk Maxwell.....	33
6.2.4. Modelo de corriente eléctrica como perturbación .....	38
6.3. MARCO METODOLÓGICO.....	41
7. METODOLOGÍA.....	46
7.1. RUTA METODOLÓGICA.....	46
7.1.1. Identificación .....	46

7.1.2.	Diseño .....	52
7.1.3.	Cierre.....	55
7.2.1.	Actividad de indagación.....	57
7.2.2.	Actividad de conceptualización.....	63
7.2.3.	Actividad experimental .....	68
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	75
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	78
10.	ANEXOS .....	84
10.1.	ANEXO 1. CARTA DE ACEPTACIÓN.....	84
10.2.	ANEXO 2. ACTIVIDAD DE INDAGACIÓN (1).....	85
10.3.	ANEXO 3. ACTIVIDAD DE INDAGACIÓN (2).....	87
10.4.	ANEXO 4. ACTIVIDAD DE CONCEPTUALIZACIÓN .....	88
10.5.	ANEXO 5. ACTIVIDAD EXPERIMENTAL .....	89
10.6.	ANEXO 6. PROGRAMA DE FÍSICA DE LOS CAMPOS .....	90

## LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 6. 1: Esquema de un argumento según Toulmin (1993).....	21
Figura 6. 2: Experimento de inducción electromagnética de Faraday. ....	32
Figura 6. 3: Modelo del éter utilizado por Maxwell en su escrito “On Physical Lines of Force”. ....	35
Figura 6. 4: Péndulo de Newton para ilustrar el movimiento de los electrones en relación con la transferencia de energía. ....	38
Figura 6. 5: Movimiento de los electrones en la banda de conducción, y de huecos en la banda de valencia de un semiconductor, bajo la acción de un campo eléctrico aplicado E. ....	40
Figura 7. 1: Modelo de corriente eléctrica como un fluido material. ....	50
Figura 7. 2: Modelo de corriente eléctrica como un movimiento de electrones a grandes distancias. ....	51
Figura 7. 3: Esquema argumentativo para el análisis de la información obtenida. ....	56
Figura 7. 4: Esquema argumentativo para el análisis de la primera pregunta de la actividad de indagación.....	57
Figura 7. 5: Esquema argumentativo para el análisis de la segunda pregunta de la actividad de indagación.....	58
Figura 7. 6: Esquema argumentativo para el análisis de la tercera pregunta de la actividad de indagación.....	59
Figura 7. 7: Esquema argumentativo para el análisis de la cuarta pregunta de la actividad de indagación.....	60
Figura 7. 8: Esquema argumentativo para el análisis de la primera situación de la actividad de conceptualización.....	63
Figura 7. 9: Esquema argumentativo para el análisis de la segunda situación de la actividad de conceptualización.....	64

Figura 7. 10: Movimiento de los electrones libres en el interior de un conductor, (a) antes de establecer un campo eléctrico y (b) después de establecer un campo eléctrico. ....	65
Figura 7. 11: Esquema argumentativo para el análisis de la primera pregunta de la actividad experimental. ....	69
Figura 7. 12: Esquema argumentativo para el análisis de la segunda pregunta de la actividad experimental. ....	71
Figura 7. 13: Esquema argumentativo para el análisis de tercera pregunta de la actividad experimental. ....	72
Figura 7. 14: Esquema argumentativo para el análisis de cuarta pregunta de la actividad experimental. ....	73
Figura 7. 15: Esquema argumentativo para el análisis de la quinta pregunta de la actividad experimental. ....	74
Tabla 7. 1.....	49
Tabla 7. 2.....	62



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
LICENCIATURA EN MATEMÁTICAS Y FÍSICA

LA ENSEÑANZA DEL CONCEPTO DE CORRIENTE ELÉCTRICA DESDE  
UN ENFOQUE HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICO

Autores: Jader Alfredo Cano Vásquez, Juan Diego Gómez Toro e Iván  
Leonardo Cely Rueda.  
Asesor: Óscar Meneses Cardona.  
Fecha: Agosto del 2009.

## 1. RESUMEN

Acorde con las nuevas tendencias en la enseñanza de las ciencias, en la presente investigación monográfica se propone el diseño y la aplicación de actividades de aprendizaje encaminadas a generar espacios de discusión y contrastación de ideas entre los estudiantes, para modificar los modelos de corriente eléctrica que utilizan. Estos procesos se enmarcan, tal y como afirma Aguilar (2006), en un modo particular de orientar la manera de observar, pensar y significar los fenómenos físicos para su enseñanza desde la historia y epistemología.

En este sentido, algunos referentes teóricos que permiten avanzar en dichas estrategias son: La propuesta argumentativa de Toulmin<sup>1</sup>, la visión de historia de Carr<sup>2</sup> y la apropiación de los aspectos disciplinares y modelos explicativos sobre la corriente eléctrica descritos por Michael Faraday, James Maxwell, André Ampère, entre otros. Igualmente, la propuesta se fundamenta en los aportes sobre la enseñanza de las ciencias de algunos autores como: Marco Moreira, Daniel Gil Pérez, Mario Quintanilla, Agustín Adúriz Bravo, Hodson Derek; que nos han permitido ampliar las ideas y concepciones sobre el asunto primordial que nos convoca: La alfabetización científica.

**Palabras clave:** Historia, epistemología, argumentación, modelos, estudio de caso, corriente eléctrica.

---

<sup>1</sup> Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza.

<sup>2</sup> Carr, E. (1991). *¿Qué es la historia?* Barcelona: Editorial Ariel S.A.

## **ABSTRACT**

According to new tendencies in the teaching of the sciences, in the present monographic investigation to be proposed the design and application of activities of learning directed to generate spaces of discussion and contrastation of ideas among the students, to modify the models of electrical current they use. These processes take place, as Aguilar says (2006), in a particular way to lead the way of observing, thinking and meaning the physics phenomenon for its teaching from history and epistemology.

In this sense, some theoretical models which are allowed to get ahead in these strategies are: The argumentative proposal of Toulmin, the vision of history of Carr and the appropriation of the discipline aspects and explanatory models on the electrical current described by Michael Faraday, James Maxwell and Ampère, among others. In the same way, the proposal is based on the contributions in the teaching of the sciences of some authors as: Marco Moreira, Daniel Gil Pérez, Mario Quintanilla, Agustín Adúriz Bravo, Hodson Derek; whose have given us to expand the ideas and conceptions about the basic facts that call for us: The scientific literacy.

**Keywords:** History, epistemology, argumentation, models, case study, electric current.

## 2. INTRODUCCIÓN

Una de las mayores dificultades que se presenta en el aprendizaje de las ciencias y en particular de la física, es el poco tiempo que se dedica a reflexiones de tipo histórico, epistemológico y conceptual en el aula. En las últimas décadas diversas investigaciones (Bravo, 2005; Quintanilla, 2005; Rodríguez y Romero, 1999; entre otras) han insistido en señalar que la perspectiva del análisis histórico sobre las ciencias se halla ausente de la educación científica en diferentes contextos culturales, académicos e institucionales. Igualmente, estos autores concluyen que a nivel universitario se ignora de manera intencionada el devenir histórico del conocimiento científico, o simplemente se destacan algunos acontecimientos relevantes que, debido a la tradición o a los énfasis clásicos de determinados contenidos, así lo permiten.

Como consecuencia de lo anterior, se identifica tal y como afirma Quintanilla (2006) que estudiantes y profesores, poseen una visión deformada de la naturaleza de las ciencias, su objeto y método de estudio, de cómo se construyen y evolucionan los conocimientos científicos, además ignoran sus repercusiones sociales, lo que en algunas ocasiones, produce una actitud de rechazo hacia las materias científicas, sobre todo cuando se procura solamente axiomatizar de manera reduccionista el lenguaje científico.

La presente investigación, está orientada al aprendizaje y la enseñanza del concepto de corriente eléctrica, y en ella se consideran las concepciones previas que tienen los estudiantes sobre muchos de los fenómenos que se estudian en el aula y, que la mayoría de las veces están en desacuerdo con las ideas científicamente reconocidas. En este sentido,

Pozo (2000) afirma que las dificultades de aprendizaje que encuentran los estudiantes, están determinadas por la forma en que organiza su conocimiento a partir de sus propias teorías implícitas. “Siendo así, hemos de adoptar una postura diferente sobre cómo enseñar y aprender las ciencias. Debería ser una postura basada en explorar, desarrollar y modificar dichas ideas en lugar de intentar desplazarlas o reemplazarlas” (Hodson, 1994, p. 306).

Considerando los elementos antes expuestos, el trabajo se estructura inicialmente justificando la importancia de introducir procesos de argumentación en el aula, desde la propuesta epistemológica de Toulmin (2003) y la teoría de modelos en la enseñanza de las ciencias expuesta por Greca y Moreira (1998). En un segundo momento, se desarrollan los aspectos teóricos atinentes a los modelos de corriente eléctrica considerados en diferentes contextos históricos y se exponen los aspectos referentes al marco metodológico.

Finalmente, se describe la metodología adoptada para llevar a cabo la investigación, mediante una ruta metodológica –que comprende las fases de identificación, diseño y cierre– y el análisis de los resultados obtenidos en las actividades de indagación, conceptualización y experimentación, para elaborar a partir de ello, las respectivas conclusiones y recomendaciones.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 3.1. ANTECEDENTES

En el estudio de los fenómenos electromagnéticos, los estudiantes de secundaria y de diferentes niveles universitarios presentan dificultades para comprender el concepto de la corriente eléctrica. Numerosas investigaciones (Ángel y Clavijo, 2006; Carrascosa, 2005; Closset, 1983; Driver, 1994; Duit, 1993; Furió y Guisasola, 1998; Manrique y Favieres, 1988; Mc Dermot y Van Zee, 1984; Osborne, 1981; Shipstone 1984; Varela, Hierrizuelo y Montero, 1991; entre otras) se han planteado con el propósito de identificar las concepciones alternativas<sup>3</sup> que prevalecen en los estudiantes sobre este concepto y se afirma que “raramente la exposición de las ideas científicas ‘correctas’ hace abandonar a los alumnos sus ideas previas, las cuales suelen permanecer inalteradas después de largos períodos de enseñanza, e incluso conviven con las ideas científicas” (Bohigas y Periago, 2005, p. 3).

Entre las concepciones encontradas en dichas investigaciones, Pozo y Gómez (2004) describen que se presentan dificultades para distinguir y utilizar algunos términos como: Diferencia de potencial, voltaje, corriente, energía, potencia, etc.; los términos electricidad, voltaje y corriente eléctrica son utilizados como sinónimos y se asume esta última, como un fluido material que se almacena en una pila y se consume en el bombillo. Las pilas, se conciben como almacenes de fluido (energía, carga eléctrica, voltaje, electricidad, corriente, etc.) que es necesario transportar hasta el bombillo.

---

<sup>3</sup> Este término, hace referencia a las ideas erróneas o errores conceptuales de los estudiantes, concepciones pre-científicas o pre-concepciones, razonamiento de sentido común, modelos personales de la realidad (Abimbola, 1988), constructos personales (Furió, 1996), misconceptions (Brown, 1992) y demás sinónimos que se puedan relacionar en esta línea de investigación.

En esta misma línea de investigación, Ángel y Clavijo (2006), afirman que los estudiantes de nivel universitario no relacionan los efectos del campo eléctrico en la generación de corriente, considerando indispensable colocar una fuente que se encarga de la movilidad de las cargas.

### **3.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

A partir de las dificultades descritas, los resultados obtenidos mediante la aplicación de la actividad de indagación y la caracterización de los modelos expresados por los estudiantes, se formula la siguiente pregunta que orientará el proceso de investigación: ¿Cuáles estrategias construir, para que los docentes en formación, del espacio de conceptualización Física de los Campos de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia, modifiquen sus modelos sobre la corriente eléctrica?

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar estrategias de enseñanza encaminadas a generar espacios dinámicos de elaboración, contrastación y argumentación de ideas, que permitan modificar la modelización que los estudiantes realizan del concepto de corriente eléctrica.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar los diferentes modelos que expliquen el concepto de corriente eléctrica, en obras originales de la literatura científica.
- Identificar y categorizar los modelos de corriente eléctrica que expresan los estudiantes, mediante actividades de indagación.
- Diseñar actividades de aprendizaje basadas en el enfoque argumentativo de Toulmin, que promuevan la modificación de dichos modelos.
- Interpretar y procesar la información obtenida durante las observaciones y la intervención en el espacio de conceptualización Física de los Campos.

## 5. JUSTIFICACIÓN

Las investigaciones revisadas (Carlton, 1999; Carrascosa, 2005; Furió y Guisasola, 1998; entre otras), el análisis de las observaciones referentes a la fase preliminar de la investigación consignadas en el diario pedagógico y el análisis de las actividades aplicadas en el proceso de indagación, muestran que las ideas de los estudiantes sobre el concepto de corriente eléctrica, no se corresponden con las ideas científicamente reconocidas en la actualidad. Al describir sus propios modelos, los estudiantes ignoran consideraciones teóricas importantes, tales como, la constitución atómica de un conductor al referirse a la corriente como un “fluido material”, el establecimiento de un campo eléctrico para generarla y el establecimiento de relaciones cualitativas y cuantitativas entre la corriente, el voltaje, la resistencia y otras variables.

Como consecuencia de lo anterior, se identifica la necesidad de crear estrategias de enseñanza que permitan ampliar y mejorar los modelos de corriente eléctrica que utilizan los estudiantes, para que éstos sean coherentes con el modelo científico, pues de acuerdo con Greca y Moreira (1998a), las formas características de orientar los procesos de enseñanza y aprendizaje en las clases de física, no contribuyen a este proceso, debido a que no se generan espacios para dichas elaboraciones y el modelo presentado por el profesor, debe aceptarse y la mayoría de las veces memorizarse porque no se comprende. Desde esta perspectiva, Segura (2008) afirma que existe un distanciamiento entre la realidad a la que se refiere la física que se enseña y la realidad en que vivimos:

*Nos encontramos con clases inmersas en la neutralidad, estudiando fenómenos que no existen, resolviendo ejercicios distantes de nuestro mundo de la experiencia (...)*



*Posiblemente esta es una de las razones por las cuales los estudiantes y muchas veces los maestros consideran que lo que se aprende en clase es inútil". (p. 7)*

Una posible alternativa para la generación de espacios que involucren a los estudiantes en la construcción de dichos modelos, consiste en diseñar y plantear actividades con situaciones abiertas, para identificar algunas concepciones previas y orientar a partir de éstas, los procesos de aprendizaje que implican el desarrollo de habilidades argumentativas en relación con la propuesta epistemológica de Toulmin (2003); pues de acuerdo con Sandoval (2002), las intervenciones argumentativas ponen en juego conocimientos previos y los relacionan en formas variadas, modificando variables y situaciones para articular razones que convengan.

Adicionalmente, al considerar situaciones cotidianas relacionadas con la corriente eléctrica, se identifican diversos asuntos sociales en los cuales interviene: La industria, el hogar, la economía, la tecnología entre otros; y el conocimiento de los modelos actualmente reconocidos por la comunidad científica, contribuye a que los estudiantes tomen decisiones informadas y responsables frente a estos asuntos, haciendo "más explícita la naturaleza sociocultural y comprometida del conocimiento científico y, por lo tanto, la mutua relación ciencia y sociedad" (Henaó y Stipcich, 2008, p. 57), mejorando además, la actitud de los estudiantes hacia el conocimiento científico.

Lo que se espera entonces, es que a medida que los estudiantes se vean inmersos en actividades planificadas bajo esta perspectiva, desarrollen también formas de pensar que incluyan por lo menos los principales elementos expresados en los modelos científicos y que puedan ser utilizadas en otras situaciones, relacionadas o no con las ciencias.

## 6. MARCO TEÓRICO

### 6.1. REFERENTE EPISTEMOLÓGICO-DIDÁCTICO

#### 6.1.1. La propuesta argumentativa de Toulmin

En su libro *La comprensión humana I, el uso colectivo y la evolución de los conceptos*, Toulmin (1977) aborda el problema de la autoridad intelectual y los problemas epistemológicos actuales, haciendo una clara diferenciación entre las concepciones filosóficas de los siglos XVII y XVIII y las actuales, aseverando que en las dos últimas centurias las ciencias naturales rompen drásticamente con la mirada teológica de la vida y en consecuencia, las famosas “leyes naturales” pasan a ser una hipótesis para el trabajo científico, en lugar de una verdad revelada por un creador.

Desde allí, se abre el camino para el planteamiento de una posición epistemológica contemporánea, fundamentada en las interacciones en desarrollo entre el hombre, sus conceptos y el mundo en que vive, considerando el devenir de las ciencias como un “proceso plural, dinámico y comunal de interacción de teorías explicativas, en el cual la argumentación, como externalización de razonamientos sustantivos, se constituye en la expresión de una racionalidad local y contingente que permite dichos cambios” (Toulmin, 2003, citado en Henao y Stipcich, 2008).

Cabe entonces preguntar, qué importancia debe darse a la argumentación en la enseñanza de las ciencias, dada su trascendencia en la construcción del conocimiento científico. En este sentido, Henao y Stipcich (2008) plantean que la argumentación es una importante tarea de orden epistémico y un proceso discursivo, que permite involucrar a los estudiantes

en estrategias heurísticas para aprender a razonar, al tiempo que sus argumentos, como externalización del razonamiento, permiten la evaluación y el mejoramiento permanente de los mismos.

Pero ¿qué es un argumento? Y ¿Cómo se puede evaluar la validez y solidez de un argumento? A este respecto, Toulmin (2003) en su libro *los usos de la argumentación* deja sentada una clara estructura o modelo general, que permite evaluar la validez de un argumento dependiendo del campo al que pertenezca. Así, desde la postura Toulminiana puede entenderse un argumento como un proceso racional que se lleva a cabo para justificar o fundamentar una afirmación que se hace. Este autor reconoce que aunque no todos los argumentos se elaboran para la defensa de una afirmación, es ésta la función primaria de los argumentos y que el resto de los usos, las restantes funciones respecto al uso justificatorio primario son insignificantes.

De acuerdo con lo anterior, Reygadas y Haidar (2001) plantean que además de existir una función sobre la defensa de una justificación, existe una evaluación discursiva en este proceso: Cuando se elaboran argumentos, se justifican y examinan razones, se evalúa su fuerza, dejando de lado un punto de vista erróneo, para intentar encontrar un argumento más fuerte. De este modo, las teorías científicas se justifican con argumentos, evaluando y construyendo un contra-discurso para refutar el discurso inicial.

Adicionalmente, al resolver cuestiones que tienen que ver con la validez de los argumentos y la solidez de las conclusiones, se dan por sentados ciertos procedimientos fundamentales. Toulmin (1993), plantea que los argumentos no sólo deben poseer una estructura determinada, sino que además deben ser expuestos y presentados siguiendo una secuencia de

etapas conforme a ciertas normas básicas de procedimiento. Según Sardá y Sanmartí (2000), el modelo propuesto por Toulmin se basa en un esquema de argumentación, que contiene los siguientes aspectos:

Datos (D): Son los hechos y fenómenos que constituyen la afirmación sobre la cual se construye el texto argumentativo. En el contexto escolar, existen dos tipos de datos: Los suministrados (por ejemplo, por algún estudio sobre el tema, por el profesorado o por el libro de texto) y los obtenidos, bien sea de forma empírica (por ejemplo, las procedentes de un experimento de laboratorio), bien sean datos hipotéticos.

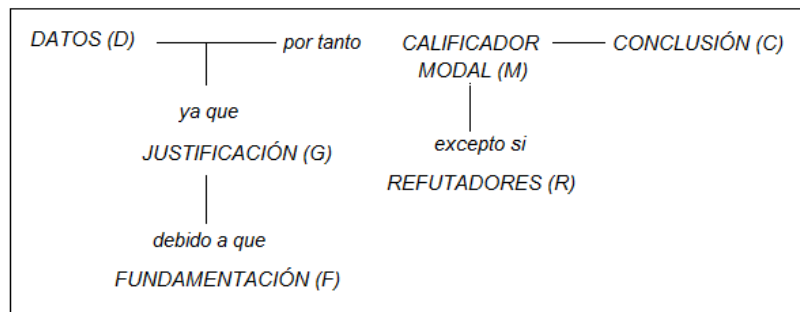
Conclusión (C): Es el valor final que se quiere asumir a partir de la tesis inicial y según las condiciones que incluyen los diferentes argumentos.

Justificación (G): Son razones (reglas, principios, etc) que se proponen para justificar las conexiones entre los datos y la conclusión. Se debe referir a un campo de conocimiento específico, en este caso de las ciencias y la tecnología, porque es este marco el que valida el contenido de la razón.

Fundamentación (F): Es el conocimiento básico de carácter teórico necesario para aceptar la autoridad de la justificación. Lógicamente, también se debe referir a un campo de conocimiento específico.

Calificadores modales (Q): Aportan un comentario implícito de la justificación; de hecho, son la fuerza que la justificación confiere a la argumentación.

Refutadores (R): También aportan un comentario implícito de la justificación, pero señalan las circunstancias en que las justificaciones no son ciertas.



**Figura 6. 1: Esquema de un argumento según Toulmin (1993).**

De acuerdo con lo anterior, es necesario distinguir entre la justificación y la argumentación, entendiendo que en conjunto se trata de dar razones o argumentos, pero que la justificación sólo legitima la conexión entre la afirmación inicial y la conclusión. En cambio, estas razones se construyen de forma retórica con relación a otros aspectos que dan más fuerza y criterios para la validación del conjunto de la argumentación, de esta forma, “en una argumentación, a partir de unos datos obtenidos o de unos fenómenos observados, justificados de forma relevante en función de razones fundamentadas en el conocimiento científico aceptado, se puede establecer una afirmación o conclusión” (Sardá y Sanmartí et al., 2000, p. 408).

De otro lado, es importante destacar el “llamado a tomar distancia de la lógica formal y de la búsqueda de validez universal, para indagar por los asuntos relacionados con lo relevante, pertinente o atinente al caso” (Toulmin, 2003, citado en Henao y Stipcich et al., 2008), pues como se mencionó anteriormente, la construcción y evaluación de un argumento

depende del campo argumentativo al que pertenezcan, esto es, depende de la naturaleza del caso, precisamente, que tipo de hechos apuntemos y qué tipo de argumentos elaboremos.

Por último, la propuesta planteada por Toulmin (1979) para la educación en ciencias, enfatiza tal y como afirman Henao y Stipcich et al. (2008) que los procesos de enseñanza en las ciencias deben estar dirigidos, no tanto a la exactitud con que se manejan los conceptos, sino a las actitudes críticas que asumen los estudiantes para juzgar aún los conceptos expuestos por sus profesores. En este sentido, es importante enseñar actitudes críticas y propositivas, es decir, es fundamental la enseñanza explícita de procesos de razonamiento y argumentación.

### **6.1.2. Modelos en la enseñanza de las ciencias**

En esta misma línea de investigación en la enseñanza de las ciencias, que propende por una formación desde la argumentación y que tiene como fundamentos explorar, desarrollar y modificar las ideas o los conocimientos previos de los estudiantes, se encuentra la propuesta teórica sobre la elaboración de modelos, desarrollada por Greca y Moreira (1998a, 1998b, 2002), Johnson-Laird (1983), Justi (2006), entre otros autores, y antes de describir sus aspectos centrales, se explican algunos conceptos que articulan dicha propuesta: Modelos, modelos mentales y modelos conceptuales; para comprender su articulación desde la enseñanza.

#### **Concepto de modelo**

Según Gilbert y otros (2000), el punto de vista más aceptado consiste en asumir un modelo como una representación de una idea, objeto,

acontecimiento, proceso o sistema, creado con un objetivo específico. De acuerdo con esto, existen diferentes formas de representar un modelo desde la enseñanza de la física: Mediante gráficos, maquetas, simulaciones, analogías, expresiones matemáticas, argumentos (verbales o escritos), entre otras. Este tipo de representaciones pueden ser utilizadas, tal y como afirma Justi et al. (2006) para:

*Simplificar fenómenos complejos (Rouse y Morris, 1986); ayudar en la visualización de entidades abstractas (Bent, 1984; Francoeur, 1997); servir de apoyo en la interpretación de resultados experimentales (Tomasi, 1988; Vosniadou, 1999); servir también de ayuda en la elaboración de explicaciones (Erduran, 1998; Vosniadou, 1999) y en la propuesta de previsiones (Mainzer, 1999; Vosniadou, 1999). (p. 175)*

Bajo estas consideraciones, se identifica la importancia de considerar los procesos argumentativos en el aula de clase, pues de acuerdo con Romero y Rodríguez (2003), los modelos representan el núcleo del conocimiento científico y, nuestro conocimiento de lo que llamamos mundo exterior, depende de nuestra habilidad para construir modelos de él.

### **Modelos mentales**

Moreira y otros (2002), expresan que para entender un sistema físico o un fenómeno natural, es necesario tener un modelo mental del sistema que le permita a la persona que lo construye explicarlo y hacer previsiones con respecto a él, de esta forma, los modelos mentales son representaciones que se elaboran para intentar comprender, explicar y predecir los sistemas físicos.

Igualmente, desde la teoría de modelos expuesta por Johnson-Laird (1983) y retomada por Greca y Moreira (1998a), se expresa que los modelos mentales son representaciones analógicas de la realidad y constituyen el

conocimiento previo, con el cual, los estudiantes llegan al aula de clase. Estos modelos expresados son particulares, incompletos, cualitativos, inconsistentes con los modelos científicamente consensuados y no precisan ser consistentes entre ellos; aunque, pueden ser básicamente funcionales desde la cotidianidad.

### **Modelos conceptuales**

Siguiendo estas descripciones, Greca y Moreira et al. (1998a) señalan que un modelo conceptual, se puede entender como una representación externa, creada por investigadores, profesores, ingenieros, etc., para facilitar la comprensión o la enseñanza de sistemas o estados de cosas del mundo. Así mismo, Moreira (1997) concibe estos modelos como representaciones simplificadas, precisas y completas, de objetos, fenómenos o situaciones reales, consistentes con el conocimiento científicamente compartido, que pueden materializarse tanto en la forma de formulaciones matemáticas, analogías o en artefactos materiales.

### **Implicaciones de la teoría de modelos en la enseñanza de las ciencias**

De acuerdo con lo expresado, los modelos mentales elaborados por los estudiantes son incompletos y van siendo ampliados y/o modificados a medida que se generan espacios para tal propósito, considerando que este proceso no es el producto de la transmisión de significados, sino una consecuencia de la evolución cognitiva que resulta de la interacción entre los modelos mentales del estudiante y los modelos conceptuales según afirman Oliva y Aragón (2006).



En dicho proceso, los estudiantes elaboran representaciones mentales (modelos mentales), para comprender los fenómenos físicos y constituirse así, en el conocimiento previo con el cual llegan al aula de clase. Allí le son presentados los modelos conceptuales, a partir de los cuales tienen varias posibilidades. Según Moreira et al. (1998a), una de estas posibilidades es intentar interpretar dichos modelos conceptuales de acuerdo al conocimiento que tienen, generando “modelos híbridos”, otra es memorizarlos con el único propósito de aprobar las evaluaciones, una tercera, y al parecer la más remota pero al mismo tiempo la ideal, es formar modelos mentales consistentes con las explicaciones científicamente consensuadas.

Respecto a esto último, no es posible suponer que los estudiantes puedan construir modelos mentales que sean copias de los modelos conceptuales que le son presentados, ni mucho menos, deberá tenerse por objetivo, lograr que los estudiantes piensen y procedan como científicos. Por el contrario, es importante darle la posibilidad a los estudiantes de comprender aspectos esenciales de la naturaleza del conocimiento científico, “de pensar sobre los propósitos de *las ciencias* (cursivas nuestras), de poder formular preguntas más críticas y atinadas, de proponer explicaciones y previsiones, y de evaluar el modelo propuesto para obtener informaciones que puedan ayudar en la reformulación del mismo” (Justi et al., 2006, p. 178).

Se trata pues, de tener presente tal y como afirman Greca y Moreira (1998b), que la capacidad de comprender una teoría científica, estará determinada por la capacidad del estudiante para formar modelos, que incluyan las relaciones fundamentales de la teoría y de los cuales sea posible extraer explicaciones y predicciones, que estén de acuerdo con las concepciones científicamente compartidas.

Por otra parte, Hodson (1994) plantea que la enseñanza de las ciencias debe tener como objetivo poner al estudiante en condición de aprender ciencias, aprender sobre las ciencias y aprender a hacer ciencias. Con base en esto, Justi et al. (2006) propone los siguientes argumentos que justifican el papel que los modelos deben desempeñar en la enseñanza de las ciencias:

- Aprender ciencias, los estudiantes deben tener conocimientos sobre la naturaleza, ámbito de aplicación y limitaciones de los principales modelos científicos (ya sean estos consensuados, es decir, aceptados actualmente por la comunidad científica, o bien aquéllos que hayan sido aceptados en un determinado contexto).
- Aprender sobre ciencias, los estudiantes deben comprender adecuadamente la naturaleza de los modelos y ser capaces de evaluar el papel de los mismos en el desarrollo y difusión de los resultados de la indagación científica.
- Aprender a hacer ciencias, los estudiantes deben ser capaces de crear, expresar, comprobar y justificar sus propios modelos.

Lo anterior significa, según Justi y Gilbert (2003), que la construcción de modelos es una actividad con mucho potencial para implicar a los estudiantes en hacer ciencias, pensar sobre las ciencias y desarrollar pensamiento científico y crítico. De esta forma, las ciencias dejarían de ser algo que se lee en los libros, para transformarse en una actividad mediante la cual los fenómenos se estudian de forma activa, en una atmósfera de cooperación participativa, con más tiempo y recursos compatibles.

Igualmente, la enseñanza orientada a partir de la construcción de modelos, debe posibilitar, siguiendo a esta autora, que los estudiantes identifiquen los alcances y limitaciones de sus modelos construidos, desarrollen formas de pensar, expresar y explicar los fenómenos físicos, y participen en discusiones que permitan un acercamiento a su naturaleza e historia. Esto implica, según Henao y Stipcich et al. (2008), hacer de las clases de ciencias un espacio para formar en la autonomía intelectual, es decir, un espacio para preguntar, discutir, criticar y disentir; el lugar en el cual los estudiantes además de expresar y argumentar sus ideas en forma adecuada, hagan uso de los discursos y de los modelos explicativos de las disciplinas científicas.

## 6.2. REFERENTE DISCIPLINAR

### 6.2.1. La corriente eléctrica desde un contexto histórico

Las explicaciones sobre la naturaleza de los fenómenos eléctricos se han estudiado desde la antigüedad y han tenido diversas connotaciones en diferentes contextos históricos. A finales del siglo XVII por ejemplo, “se admitía aún la existencia de todo tipo de fluidos como el calórico y era el comienzo del gran auge de la electricidad (...) Sin embargo, no se conocía el fenómeno de la corriente eléctrica” (M. T. Martín y M. Martín, 2001, p. 4). Cuando Alessandro Volta (1745-1827), logra crear la pila y establecer mediante ella corrientes eléctricas estables, se empiezan a estudiar los fenómenos que en la actualidad se describen desde la electrodinámica y las propiedades electrolíticas, térmicas y magnéticas de la corriente eléctrica.

Hacia el año 1802, el físico italiano Giuseppe Domenico Romagnosi había observado pequeños movimientos en una brújula, estableciendo una corriente eléctrica con la ayuda de la pila voltaica. Sus observaciones pasaron desapercibidas y fueron retomadas más tarde por el profesor Hans Christian Oersted (1777-1851) sin éxito. De acuerdo con Papp (1993b), a finales de 1857 Christopher Hansteen (discípulo de Oersted en la universidad de Copenhague) envía una carta a Michael Faraday (1791-1867), relatando lo siguiente:

*El profesor solía siempre colocar el alambre conductor de su pila en ángulo recto sobre la aguja magnética, sin notar movimientos perceptibles. Esta vez, al término de su clase, en la que utilizaba una fuerte pila para otras demostraciones, nos dijo: “ensayemos colocar el alambre conductor paralelo a la aguja magnética”. Hecho esto, quedó perplejo al ver la aguja oscilar con fuerza, colocándose casi en ángulo recto con el meridiano magnético. “Invirtamos –dijo luego– la dirección de la corriente”, y entonces la aguja se desvió en la dirección opuesta. (p. 115)*

A través de algunos experimentos desarrollados por Oersted y su posterior divulgación a las sociedades científicas europeas de la época, comenzaron a identificarse posibles relaciones entre los fenómenos eléctricos y magnéticos. Por ejemplo, “François Arago (1786-1853) comprueba que la corriente no solo desvía la aguja magnética, sino que imanta también el acero. El efecto se intensifica si se repliega el alambre conductor en espiral, y se introduce en la bobina así formada una varilla” (Papp et al., 1993b, p. 117).

Mediante algunas demostraciones experimentales realizadas por Oersted fue posible explicar, tal y como afirma Holton (1976), que si una corriente puede ejercer una fuerza sobre un imán, es de esperarse de acuerdo con la tercera ley de Newton, que el imán ejerza también una fuerza sobre la corriente y de algún modo pueda producirla. Además, se puede hacer de un modo más barato que con la pila de Volta (la cual consumía grandes cantidades de metales caros para producir sólo pequeñas cantidades de corriente eléctrica).

Pero además de la relación entre los fenómenos eléctricos y magnéticos, los primeros trabajos realizados por Thompson sobre la electricidad, se orientaban a partir de analogías matemáticas entre los fenómenos térmicos y eléctricos. En ese período, tal y como afirma Harman (1982), se exploraron diversas analogías físicas y matemáticas entre las leyes del calor y de la electricidad, y a partir de la obra de Fourier sobre el flujo de calor, Georg Simon Ohm (1787-1854) describió un análisis similar mediante el flujo de electricidad, estableciendo analogías entre la tensión de la corriente y la temperatura y la cantidad de electricidad y el calor.

Por su parte, Hendrik Lorentz (1853-1928) admitía la existencia, en todos los cuerpos, de partículas eléctricas con carga negativa, semejantes entre ellas y de masa muy pequeña, a partir de lo cual, también se identificaba que los electrones ligados al átomo no eran los únicos que constituían la materia, sino que además de estos, existen electrones débilmente ligados al átomo (electrones libres) cuyo movimiento es aleatorio. De este modo, Papp et al. (1993c) afirma que:

*Si una fuerza electromotriz imprime un desplazamiento conjunto, aparecen en nuestra escala como corriente eléctrica (...) Como la energía cinética de los electrones crece con la temperatura, se comprende porque los buenos conductores del calor lo son también de la electricidad. En su desplazamiento de conjunto, los electrones libres chocan frecuentemente con los átomos; la energía que transmiten a estos se manifiesta como calor liberado (efecto Joule, 1840) durante el pasaje de la corriente. (p. 35, 36)*

Además de los trabajos y las concepciones descritas por los científicos mencionados, existían otras ideas que influenciaron en los planteamientos de Maxwell y Faraday para describir el fenómeno de la corriente eléctrica. Por ejemplo, guiado por la idea de que las corrientes eléctricas se atraen o se rechazan, como lo hacen las cargas, André Marie Ampère (1775-1836) logró demostrar que las corrientes paralelas del mismo sentido se atraen, mientras que las de sentido contrario se repelen, y si las corrientes no son paralelas, su mutua acción tiende a disminuir el ángulo formado por los dos conductores.

### **6.2.2. La corriente eléctrica desde Michael Faraday**

A partir de los fenómenos descubiertos por Oersted, Ampère, Volta y otros científicos, Michael Faraday (1791-1867) reproduce experimentalmente sus observaciones relacionando los fenómenos eléctricos, magnéticos y

químicos. Así, desde el campo de la electroquímica, estudió la generación de corrientes eléctricas por acción de una reacción química mediante celdas voltaicas y logró producir una reacción de oxidación-reducción, mediante el establecimiento de una corriente eléctrica a través de celdas electrolíticas, igualmente, mediante el establecimiento de una corriente eléctrica, logró descomponer y romper en sus elementos, algunos materiales disueltos cuyas moléculas se habían resistido a la separación por medios físicos o químicos.

Como consecuencia de lo anterior, Faraday estableció tal y como afirman M. T. Martín y M. Martín et al. (2001), las leyes de la electrólisis demostrando que: La masa de una sustancia química depositada en un electrodo es directamente proporcional a la cantidad de corriente eléctrica que atraviesa la celda y los pesos equivalentes de las sustancias son proporcionales a los pesos de diferentes sustancias producidas por una corriente eléctrica.

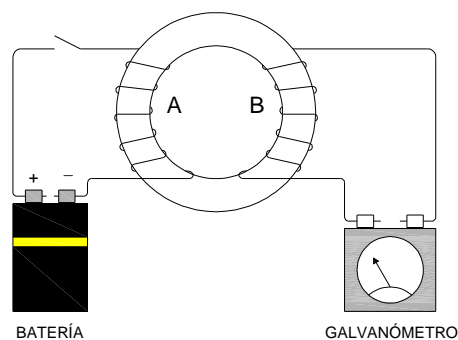
En su obra "*Experimental Researches in Electricity*", Faraday (1952) aclara que, en cualquier caso, es posible concebir la corriente eléctrica como un fluido, o dos fluidos moviéndose en direcciones opuestas, o una vibración, o alguna otra forma o estado. En este sentido, Faraday asociaba las ideas propuestas por algunos científicos como Mayer y Joule en torno al principio de conservación de la energía, afirmando, que "existe un principio general que abarca a todos los fenómenos naturales, por lo que esas equivalencias deben existir también en los fenómenos eléctricos" (M. T. Martín y M. Martín et al., 2001, p. 44).

Pero además del estudio de la electrólisis y del modelo mencionado, Faraday realizó diferentes experimentos para describir la inducción de corrientes eléctricas. Así, sus primeras ideas respecto a las líneas de fuerza,

“le habían sugerido la posibilidad de que una corriente en un alambre podía inducir otra corriente en un alambre próximo, posiblemente a través de la acción de las líneas de fuerza magnéticas en el espacio que rodea la primera corriente” (Holton et al., 1976, p. 614).

En este tipo de experimentos sobre la generación de corrientes eléctricas mediante inducción, Faraday había observado pequeños movimientos en la aguja del galvanómetro al establecer una corriente eléctrica mediante una batería voltaica, alambres conductores y un anillo de hierro, dispuestos como se muestra en la figura 2. De acuerdo con Holton et al. (1976):

*Faraday había colocado dos alambres A y B próximos uno del otro; a través de uno de ellos (A) pasaba corriente procedente de una batería. Observó que en el otro alambre (B) aparecía una corriente, pero sólo mientras la corriente de la batería en el primer alambre comenzaba o cesaba. La corriente «inducida» en el alambre B duraba sólo un momento, mientras se hacía contacto con la batería. Pero tan pronto existía una corriente estacionaria en el alambre A, cesaba la corriente en el alambre B. Cuando la corriente en el alambre A se detenía, de nuevo se producía una corriente momentánea inducida en el alambre B. (p. 614, 615)*



**Figura 6. 2: Experimento de inducción electromagnética de Faraday.**

Mediante este montaje, Faraday había enrollado un alambre conductor (formando la bobina A) sobre un lado de un anillo de hierro y conectado a una batería voltaica. El otro alambre estaba enrollado al otro lado del anillo



(bobina B) y conectado a un aparato medidor de corriente. Faraday estableció así, que la variación de la corriente en la bobina A modificaba las líneas de fuerza magnética a través del anillo de hierro, y este cambio, servía para inducir una corriente en la bobina B.

A través de este y otros montajes experimentales, Faraday demostró que no era necesario utilizar el anillo de hierro y que una corriente eléctrica podía inducir otra corriente sólo mientras estaba variando. Según Holton et al. (1976), en su principio de inducción electromagnética Faraday establecía que la variación de las líneas de fuerza magnética produce una corriente en un alambre. Este cambio, puede producirse por un imán que se mueve relativo al alambre ó por un cambio en la corriente que circula en un segundo alambre.

### **6.2.3. La corriente eléctrica desde James Clerk Maxwell**

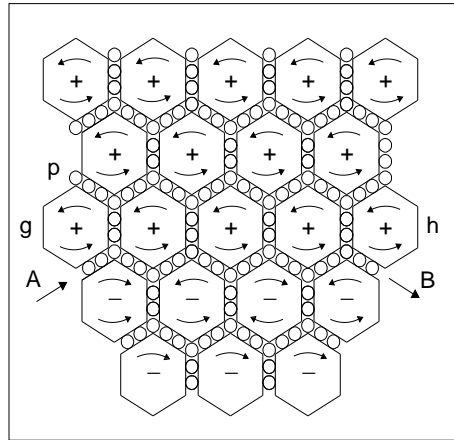
Tomando como referencia algunas observaciones sobre los descubrimientos de Oersted, Ampère, Faraday, Coulomb, Thompson, entre otros, Maxwell describe los fenómenos electromagnéticos y su relación con la óptica y en su escrito "*On physical lines of force*", asume la corriente eléctrica a partir de "un modelo geométrico del campo en el que imaginaba un fluido incompresible moviéndose por tubos formados por líneas de fuerza (...) De este modo, la dirección y la intensidad de la fuerza quedaban respectivamente representadas en cualquier punto del campo por la dirección e intensidad del fluido imaginario" (Berkson et al., 1974, citado en Acevedo, 2004).

Sin lograr aún establecer relaciones entre la teoría ondulatoria de la luz y los fenómenos electromagnéticos, Maxwell se limitó, tal y como afirma

Cazenobe (1984), a recurrir al modelo restringido que le proporcionaban las ecuaciones de la hidrodinámica: Trató de asimilar las líneas de fuerza de Faraday a corrientes originadas en el seno de aquel fluido incompresible. Aunque, Maxwell describió este fluido (la corriente eléctrica), para explicar el éter mediante una analogía de tipo mecánico, expresando lo siguiente:

*La única idea que me ha ayudado a concebir este tipo de movimiento es que los remolinos están separados por una capa de partículas girando cada una alrededor de su propio eje, en dirección opuesta a la de los remolinos, de forma que las superficies de contacto entre partículas y remolinos tienen el mismo sentido de movimiento. En mecánica, cuando se quiere que dos ruedas giren en la misma dirección, se coloca entre ellas otra rueda que engrane con ambas, y que se llama "piñón loco", la hipótesis que sugiero sobre los remolinos es que entre cada dos remolinos contiguos se interpone una capa de partículas que actúa como piñón loco; de esta forma cada remolino tiende a hacer que sus vecinos se muevan en la misma dirección. (Berkson, 1974, citado en Acevedo et al., 2004)*

Según Harman (1982), en este modelo Maxwell representaba el medio electromagnético en forma de un éter celular, describiéndolo como si fuera el panal de una colmena en la que cada célula era un vórtice molecular rodeado por una capa de partículas esféricas a modo de bolas de cojinete o rueda de engranaje. En la figura 3, se ilustra el modelo del éter utilizado por Maxwell, compuesto por múltiples células hexagonales, entre las cuales se introducen esferas que representan el fluido incompresible.



**Figura 6. 3: Modelo del éter utilizado por Maxwell en su escrito “On Physical Lines of Force”.**

El modelo del éter de Maxwell describe una serie de vórtices inmersos en un fluido incompresible. Cada una de las células hexagonales está separada por una capa de partículas eléctricas esféricas, que giran en direcciones opuestas a la rotación de estos vórtices. La circulación de estas partículas de acuerdo con Mason (1986), constituiría la corriente eléctrica. Estas partículas eléctricas, permiten que los vértices adyacentes roten en la misma dirección. Así, de acuerdo con Acevedo et al. (2004):

*Mientras la corriente esté pasando las partículas se moverán de un vórtice a otro y, al desplazarse éstas, pueden saltar y provocar una pérdida de energía como calor. Sin embargo, mientras estén girando no hay rozamiento entre las partículas y los vórtices, por lo que no se producirán pérdidas de energía y, en tal caso, sería posible mantener indefinidamente un campo magnético. (p.197)*

Maxwell utilizó múltiples analogías, para explicar la corriente eléctrica a partir de los planteamientos realizados por científicos como Thompson que estableció relaciones entre la electricidad y el calor, e imaginaba dicho “fluido incompresible” a través de imágenes hidrodinámicas, para establecer una

concepción sobre las líneas de fuerza descritas por Faraday. Aunque, como señala Boltzmann (citado en Acevedo et al., 2004):

*“Maxwell aclara ya en el primer trabajo sobre la teoría eléctrica [On Faraday’s Lines of Force] que él no se proponía dar ninguna teoría de la electricidad, es decir, que él mismo no creía en la realidad de los fluidos incompresibles, de las resistencias que él admitía allí, sino que sólo se proponía dar un ejemplo mecánico que mostrase una analogía general con los fenómenos eléctricos y que quería presentar a estos últimos de forma que se pudieran comprender de la manera más fácil posible”.*

Además de la descripción de estos modelos explicativos sobre la corriente eléctrica en un contexto histórico y sus relaciones dentro de la teoría electromagnética clásica, es importante, identificar algunos aspectos referentes a la experimentación, los modelos, formas de razonamiento y el contexto social de la época, para “establecer características fundamentales de la naturaleza de la ciencia y el trabajo científico” (Cleminson, 1990; Giannetto, 1992; Matthews, 1990; citados en Furió y Guisasola, 1997), comprender las formas de observar y significar la corriente eléctrica, a partir de situaciones, que permitan adelantar reflexiones conceptuales para su enseñanza.

De acuerdo con lo anterior, un estudio y análisis histórico del concepto de la corriente eléctrica permite identificar según Furió y Guisasola (1998), la existencia de un cierto paralelismo entre las dificultades que tienen los estudiantes y los problemas epistemológicos que hubo de superar la historia de la electricidad hasta constituirse como ciencia.

A finales del siglo XVIII por ejemplo, existían dificultades para explicar los fenómenos de repulsión eléctrica, carga por inducción entre otros, aunque, “la representación mental de la «propiedad eléctrica» (que manifiestan los cuerpos frotados) como una especie de «halo» (según

Gilbert, 1600) fue superada por otra imagen «sustancialista», donde a la carga se le consideraba un (dos) fluido(s) especial(es) que poseían todos los cuerpos (modelo hidrostático de carga según Franklin, 1747)” (Furió y Guisasola et al., 1998, p. 133), y a partir de los experimentos diseñados por Charles Coulomb (1736-1806) con la balanza de torsión, se comienzan a interpretar los fenómenos eléctricos mediante acciones a distancia que más adelante serían explicadas por Faraday y sus líneas de fuerza como representación geométrica del concepto de campo.

“Durante la primera mitad del XIX las teorías de la electricidad y el magnetismo continuaban formulándose, en su mayoría, siguiendo las pautas del paradigma newtoniano de la acción a distancia, que era dominante” (Mason, 1986), Ampère por ejemplo, apoyaba tal y como afirman Furió y Guisasola (1997), la visión newtoniana del mundo que Coulomb había extendido a la electricidad. Por otra parte, los planteamientos de Charles François Du Fay (1698-1739) acerca de hipótesis de la existencia de dos tipos de electricidad, "vítrea" y "resinosa", son retomados por Maxwell (1873) en su obra *Treatise on Electricity and Magnetism*, en una de sus explicaciones sobre la corriente eléctrica desde la electrodinámica clásica así:

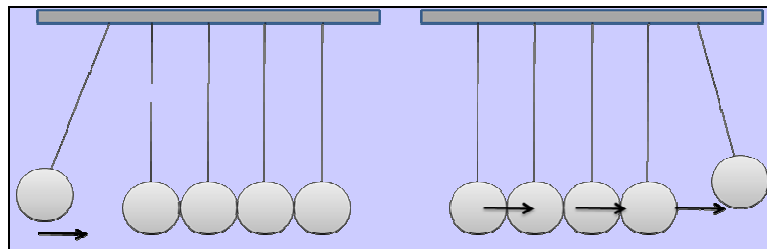
*Consideremos ahora una batería voltaica con sus terminales aisladas una de la otra. La terminal de cobre estará positivamente o vitrosamente electrificada, y la terminal de zinc estará negativa o resinosa electrificada. Las dos terminales de la batería son ahora conectadas por medio de un cable. Una corriente eléctrica se iniciará, y en muy poco tiempo alcanzará un valor constante. Se dice entonces que esto es una corriente constante. (p. 356, 357)*

Al unir los polos de una batería eléctrica con un condensador en el momento de la carga, una corriente recorre la batería y los cables de conexión. Para la situación descrita, Maxwell afirmaba que “en el momento

en que las placas se cargan, se produce, de una armadura a la otra, un nuevo género de corriente, la corriente de desplazamiento, que está necesariamente ligada al movimiento de la electricidad” (Papp, 1993b, p. 130).

#### 6.2.4. Modelo de corriente eléctrica como perturbación

En los planteamientos de Maxwell, Faraday y otros científicos, es posible identificar aspectos que contribuyan a la conceptualización del fenómeno de la corriente eléctrica. En este sentido, se propone el reconocimiento de la constitución atómica de la materia y la presencia de electrones (libres) en toda la superficie de un material conductor; un movimiento de esos electrones en el conductor constituiría la corriente eléctrica. Este movimiento se puede explicar mediante una analogía con el péndulo de Newton, tal y como se muestra en la figura 4.



**Figura 6. 4: Péndulo de Newton para ilustrar el movimiento de los electrones en relación con la transferencia de energía.**

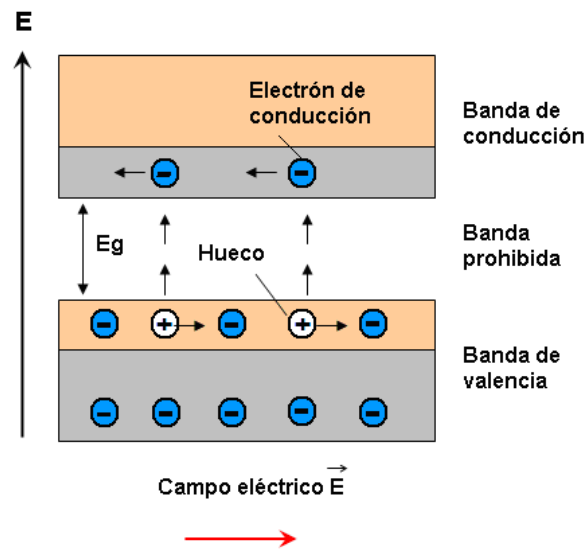
Son varias esferas suspendidas de un hilo (de masa despreciable) ubicadas a una misma altura; “al separar una de ellas y hacerla chocar con el resto, la esfera que está al otro extremo se mueve mientras que las que están entre los extremos no se mueven” (Verdugo, 2007, p. 4),

presentándose en este proceso, una transferencia de energía de una esfera a otra mediante la interacción entre ellas.

Similarmente ocurre con la corriente eléctrica: Los electrones interactúan entre sí sin llegar a tocarse, como es el caso de las esferas en el péndulo de Newton, transfiriendo energía eléctrica y desplazándose en espacios muy reducidos a velocidades muy pequeñas denominadas velocidades de arrastre. “Lo que sí se propaga de un extremo a otro en el conductor con corriente eléctrica, es la energía eléctrica, y viaja de un punto a otro mediante interacciones entre los electrones, a una velocidad aproximada a la velocidad de la luz” (Verdugo, et al., 2007, p. 4).

Igualmente, una de las características de los metales, es que sus átomos contienen electrones en su capa más externa (electrones de valencia) que pueden desligarse y desplazarse con libertad dentro del material mediante el establecimiento de un campo eléctrico a través de una diferencia de potencial otorgada por una fuente de voltaje. Así, las propiedades eléctricas, térmicas, magnéticas de la corriente eléctrica, pueden ser descritas mediante estados de energía en los electrones y considerando la siguiente explicación descrita por Sears y otros (2005) representada en la figura 5:

*Cuando un electrón sale de un enlace covalente, deja tras de sí una vacante. Un electrón de un átomo vecino puede pasar a esa vacante y el átomo vecino se queda con la vacante. De esta forma, la vacante, llamada hueco, puede viajar por el material y servir como un portador adicional de corriente. Es como describir el movimiento de una burbuja en un líquido. En un semiconductor puro, o intrínseco, los huecos en banda de valencia, y los electrones en banda de conducción, siempre existen en cantidades iguales. Así, un hueco en la banda de valencia se comporta como una partícula con carga positiva, aún cuando las cargas en movimiento en esa banda sean electrones. (p. 1606)*



**Figura 6. 5: Movimiento de los electrones en la banda de conducción, y de huecos en la banda de valencia de un semiconductor, bajo la acción de un campo eléctrico aplicado  $E$ .**



### 6.3. MARCO METODOLÓGICO

En relación con las nuevas propuestas investigativas (paradigmas de investigación social hoy conocidos como crítico social, constructivista y dialógico) y considerando de acuerdo con Sandoval (2002), que el conocimiento y los procesos de argumentación en el aula son creaciones compartidas a partir de la interacción entre el investigador y el investigado, se asume como metodología de investigación un estudio de caso, con el propósito de comprender la realidad que ha sido destinada como objeto de estudio, tanto en su lógica interna como en su especificidad. Para este autor, existe una realidad epistémica con sujetos cognoscentes, influenciados por una cultura y unas relaciones sociales particulares, que hacen que dicha realidad dependa para su definición, comprensión y análisis, del conocimiento de las formas de percibir, pensar, sentir y actuar, propias de esos sujetos cognoscentes.

En este tipo de investigación social de corte cualitativo (estudio de caso), se “investiga un fenómeno contemporáneo dentro de su contexto real de existencia, cuando los límites entre el fenómeno y el contexto no son claramente evidentes y en los cuales existen múltiples fuentes de evidencia que pueden usarse” (Yin, 1985, citado en Sandoval, 2002). De este modo, se estudia la particularidad y la complejidad de un caso, destacando la secuencia de acontecimientos en su respectivo contexto.

Pero, ¿qué es un caso? Y ¿Cómo se selecciona? A este respecto, Stake (1999) señala que a pesar de no existir definiciones precisas, un caso es algo específico, algo complejo, en funcionamiento; es un sistema integrado, para el cual no es necesario que sus partes funcionen bien, por eso, una persona, un grupo de estudiantes, una institución en un entorno, un

programa, entre otros, constituyen casos evidentes. Así, las personas y programas se asemejan en cierta forma, y en cierta manera son casos únicos e interesan tanto por lo que tienen de único como por lo que tienen de común.

Aunque, según este mismo autor no todo constituye un caso. Un niño puede serlo y un profesor también, pero su forma de enseñar carece de la especificidad y de la acotación necesarias para que pueda llamarse un caso. De este modo, no es usual considerar como casos la relación entre las escuelas o las razones de una enseñanza innovadora: Estos son asuntos generales, no específicos.

Entre tanto, Stake et al. (1999) presenta algunos criterios para seleccionar un caso. Un primer criterio, hace referencia a la máxima rentabilidad de aquello que se desea investigar, teniendo en cuenta el tiempo del cual se dispone para el trabajo de campo. El segundo criterio, indica que se deben escoger casos que sean fáciles de abordar, y donde nuestras indagaciones sean bien acogidas, aquellos en los que se pueda identificar posibles informantes dispuestos a dar su opinión sobre algunos materiales. Además de esto, es importante realizar una valoración del progreso en los primeros momentos, para decidir sobre la conveniencia de abandonar el caso y elegir otro.

Por otra parte, en un estudio de caso no se pretende determinar la frecuencia con la cual ocurre un suceso (mediante tablas de frecuencia y medidas de tendencia central), ni contrastar teorías e hipótesis tal y como lo proponen los estudios cuantitativos; más bien, se plantea el descubrimiento, la interpretación y la comprensión de una realidad social y escolar. En este sentido, se busca la comprensión de un proceso desde la heterogeneidad de

sus integrantes, en el cual tienen lugar ciertos fenómenos y variables en contexto. De acuerdo con Chetty (citado en Martínez, 2006), el estudio de caso es una metodología rigurosa que:

- Es adecuada para investigar fenómenos en los que se busca dar respuesta a cómo y por qué ocurren.
- Permite estudiar un tema determinado.
- Es ideal para el estudio de temas de investigación en los que las teorías existentes son inadecuadas.
- Permite estudiar los fenómenos desde múltiples perspectivas y no desde la influencia de una sola variable.
- Permite explorar en forma más profunda y obtener un conocimiento más amplio sobre cada fenómeno, lo cual permite la aparición de nuevas señales sobre los temas que emergen.
- Juega un papel importante en la investigación, por lo que no debería ser utilizado meramente como la exploración inicial de un fenómeno determinado.

Así, para el presente estudio de caso se consideró que los datos podían ser obtenidos desde una variedad de fuentes, tanto cualitativas como cuantitativas: Documentos, diarios pedagógicos, notas de los estudiantes, encuestas, observaciones directas, observación de los participantes, diseño y aplicación de instrumentos de indagación, conceptualización experimentación, entre otros.

Además de lo anterior, toda investigación de acuerdo con Stake et al. (1999) depende de las interpretaciones, y estas se dinamizan cuando el investigador de manera responsable, se ocupa de su elaboración, participando en trabajos de campo, haciendo observaciones, emitiendo juicios, analizando, resumiendo y buscando modelos de relaciones inesperadas o previstas; logrando así, estar en contacto con el desarrollo de los acontecimientos y con lo que se va revelando en el estudio, para reorientar las observaciones (sin dejar de centrar la atención en la pregunta de investigación) y esperar de ello, descripciones abiertas y una comprensión mediante la experiencia de la realidad estudiada.

Igualmente, Sandoval et al. (2002) parafraseando a Taylor y Bogdan (1992), realiza una descripción de algunos rasgos importantes que caracterizan una investigación cualitativa. Entre los rasgos, se asume que la investigación cualitativa:

- Es *interactiva y reflexiva*. Los investigadores son sensibles a los efectos que ellos mismos causan sobre las personas que son objeto de su estudio.
- Es *abierta*. No excluye la recolección y el análisis de datos y puntos de vista distintos. Para el investigador cualitativo, todas las perspectivas son valiosas.
- Es *naturalista* y se centra en la lógica interna de la realidad que analiza. Los investigadores cualitativos tratan de comprender a las personas dentro del marco de referencia de ellas mismas.

- *No impone visiones previas.* El investigador cualitativo suspende o se aparta temporalmente de sus propias creencias, perspectivas y predisposiciones.
- Es *abierta*. No excluye la recolección y el análisis de datos y puntos de vista distintos. Para el investigador cualitativo, todas las perspectivas son valiosas.
- Es *rigurosa* aunque de un modo distinto al de la investigación denominada cuantitativa. Los investigadores aunque cualitativos buscan resolver los problemas de validez y de confiabilidad por las vías de la exhaustividad (análisis detallado y profundo). (p. 42)

Desde este enfoque se busca pues, la comprensión sobre lo que los estudiantes expresan, mediante consensos nacidos del ejercicio sostenido de los procesos de observación, diálogo, construcción de sentido compartido y sistematización. Estos aspectos, están mediados de acuerdo con Sandoval et al. (2006), por la interpretación y análisis de evidencias, que permiten entender, los aspectos comunes en el proceso de producción y apropiación de la realidad social, cultural y educativa que ha sido estudiada.

## **7. METODOLOGÍA**

### **7.1. RUTA METODOLÓGICA**

En el presente trabajo, la metodología que busca dar solución a la pregunta de investigación planteada, es un estudio de caso, porque permite comprender las dinámicas entre las distintas partes de un sistema (configurado por los estudiantes del espacio de conceptualización Física de los Campos y sus dificultades para conceptualizar el fenómeno de la corriente eléctrica) y de las características importantes del mismo, y más que el establecimiento de generalizaciones estadísticas, de correlaciones o relaciones de causa y efecto, se busca profundizar sobre las construcciones y argumentaciones que puedan elaborar los estudiantes en torno a aquel concepto físico en particular y la forma en que estos procesos de argumentación permiten mejorar sus procesos de aprendizaje.

El estudio de caso, se desarrolló mediante tres fases fundamentales correspondientes a la identificación, diseño y cierre, descritas a continuación.

#### **7.1.1. Identificación**

En la primera fase de la investigación, se llevó a cabo una “observación no participante”<sup>4</sup> en el espacio de conceptualización Física de los Campos 2008-01, donde se asistió a cada uno de los encuentros de dicho espacio, sin realizar la presentación, ni descripción de la propuesta investigativa ante los estudiantes, pues se consideró que esto podía alterar

---

<sup>4</sup> Según Sandoval et al. (2006), la observación no participante es una herramienta de trabajo útil especialmente, en las fases preliminares de la investigación cualitativa. Permite contar con un registro estructurado sobre ciertos elementos básicos, para comprender la realidad que ha sido destinada como objeto de análisis y focalizar la atención de la etapa de observación participante o de análisis en profundidad.

los procesos de enseñanza y de aprendizaje, las relaciones entre maestro-estudiante y estudiante-estudiante, la recolección de datos y la selección de los informantes para realizar una posterior actividad de indagación.

Para cada uno de estos encuentros, se utilizó como técnica la consignación en un diario pedagógico, de los hechos más relevantes en las clases y algunas reflexiones o posibles preguntas de investigación. Las observaciones consignadas allí, tenían como prioridad el registro de las dificultades que expresaban los estudiantes en torno a algunos conceptos, que fueron seleccionados con base en nuestra experiencia en el espacio de conceptualización Física de los Campos.

Los conceptos seleccionados fueron los siguientes: Carga eléctrica, fuerza eléctrica, fuerza gravitatoria<sup>5</sup>, energía eléctrica, potencial eléctrico, corriente eléctrica y el concepto de campo; entre los cuales se eligió la corriente eléctrica, por ser un concepto que transversaliza el estudio del electromagnetismo, y porque las ideas expresadas por los estudiantes en torno a este concepto, no se correspondían con las concepciones reconocidas científicamente.

Después de estas observaciones, se realizó un proceso de documentación bibliográfica en bases de datos especializadas (EBSCO Host, ERIC, Dialnet, entre otras), referente a las concepciones sobre la corriente eléctrica, con el propósito de fundamentar nuestras anotaciones en el diario pedagógico. Dentro de esta búsqueda, se encontraron artículos de revista indexados nacionales e internacionales, utilizando algunas palabras clave

---

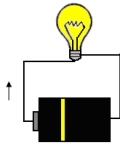
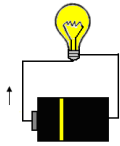
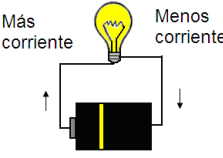
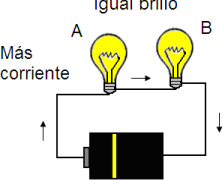
<sup>5</sup> Inicialmente, se consideró la posibilidad de analizar las conceptualizaciones hechas sobre la ley de gravitación universal y la ley de Coulomb, para identificar las descripciones físicas, que los estudiantes podían expresar en torno a la naturaleza de las cargas eléctricas y la constitución atómica de la materia.

tales como: *Corriente eléctrica, voltaje, concepciones alternativas, ideas previas & electrostática, circuitos eléctricos, modelos & corriente eléctrica, historia & corriente eléctrica, historia & pila, historia de la electrodinámica, entre otros*; y a partir de su lectura, se encontró que las dificultades expresadas por los estudiantes, coincidían con las descritas en otras investigaciones.

Estas dificultades, se referían a la descripción inadecuada de algunos conceptos como diferencia de potencial, voltaje, corriente eléctrica, energía, potencia, entre otros; interpretando por ejemplo, “el voltaje o la diferencia de potencial como una propiedad de la corriente o una consecuencia de ella, en vez de considerar la corriente eléctrica como una consecuencia de la diferencia de potencial entre dos puntos de un conductor” (Pozo y Gómez et al., 2004, p. 242).

Así mismo, estas investigaciones centraban su atención en las dificultades presentadas en diferentes niveles universitarios, al estudiar circuitos simples, clasificando una serie de modelos (Driver, 1994; Osborne y Freiberg, 1985; Varela, 1993) que los estudiantes utilizan para representar la circulación de la corriente eléctrica, cuando se conecta uno o dos bombillos, una pila y cables conductores, tal y como se muestra en la tabla 1.



Descripción del modelo	Representación
<p><b>Modelo unipolar:</b> Este modelo presenta distintas variantes: el cable de retorno puede ser omitido o bien considerarse necesario, pero como elemento pasivo.</p>	
<p><b>Modelo concurrente:</b> La corriente sale por los dos terminales de la batería y se consume en la bombilla.</p>	
<p><b>Modelo de gasto de corriente:</b> La corriente eléctrica circula en una dirección alrededor del circuito, debilitándose gradualmente. Los últimos componentes recibirán menos y la primera bombilla brillará más que la segunda aunque ambas sean iguales. Se interpreta entonces, que a la pila regresa menos corriente que la que se suministra inicialmente, porque se gasta en la bombilla.</p>	
<p><b>Modelo de reparto:</b> En este modelo, que es también no conservativo, la corriente se reparte entre los elementos del circuito. Las dos lámparas iguales brillarán lo mismo.</p> <p>Aunque entre A y B hay menos corriente.</p>	

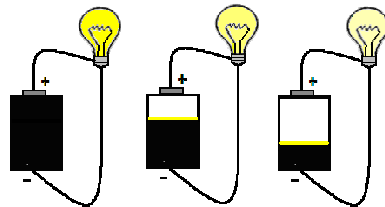
**Tabla 7. 1.**  
**Modelos de corriente eléctrica utilizados por los estudiantes en el estudio de los circuitos simples.**

Con el propósito de indagar más sobre las ideas de los estudiantes en relación con este fenómeno y, ratificar las dificultades que se lograron identificar en los procesos de observación y documentación, se aplicó una actividad de indagación (véase anexo 1), a los estudiantes de Física de los Campos 2008-01. En el análisis de esta actividad se identificaron elementos

que permitieron clasificar los modelos utilizados por éstos para describir la corriente eléctrica en dos categorías.

Estas categorías, surgieron en gran parte de la documentación bibliográfica, identificando por ejemplo que en el siglo XIX, los fenómenos eléctricos eran tratados como fluidos materiales y que en la actualidad estas ideas persisten como concepciones alternativas de los estudiantes. De otro lado, se reconoció la creencia de que los electrones que constituyen una corriente eléctrica se mueven a la velocidad de la luz; en este sentido Quintela y otros (2006) afirman, que son muchos los estudiantes que llegan a las facultades de ciencias de las universidades, creyendo que los electrones que dan lugar a la corriente eléctrica se mueven con esta velocidad.

De acuerdo con lo anterior en la primera categoría, la corriente eléctrica se concibe como un fluido material, que se almacena en una pila y se gasta o se consume en los dispositivos de un circuito.



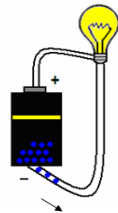
**Figura 7. 1: Modelo de corriente eléctrica como un fluido material.**

Los elementos que permitieron establecer esta categoría pueden leerse en algunas respuestas de los estudiantes:

- *“El bombillo enciende porque la batería le suministra corriente”.*

- *“El flujo de corriente que va de la batería hasta el bombillo por los cables es muy rápido”*
- *“Cuando se acaba la corriente de la batería el bombillo se apaga”*
- *“La corriente será menor en el cable de retorno por que se consume en el bombillo”.*

En la segunda categoría, se asume que la corriente eléctrica está constituida por el movimiento de los electrones a través de largas distancias y a velocidades cercanas a la de la luz en el conductor. Los electrones son proporcionados por una fuente de voltaje, desconociendo la presencia de éstos en toda la superficie del conductor.



**Figura 7. 2: Modelo de corriente eléctrica como un movimiento de electrones a grandes distancias.**

Para establecer esta categoría, se consideraron los siguientes argumentos de los estudiantes:

- *“El bombillo enciende porque la carga eléctrica (electrones y protones) que sale de la batería lo hace encender”.*
- *“La velocidad con la que los electrones circulan por los alambres de la batería hasta el bombillo es muy grande (como la de la luz)”.*

- *“Los electrones viajan en línea desde el polo negativo hasta el polo positivo”.*
- *“El bombillo se apaga cuando en el extremo negativo de la pila ya no quedan más electrones”.*

En ninguno de estos modelos, se reconoce o asocia la necesidad de establecer un campo eléctrico en el interior del conductor para generar dicha corriente eléctrica.

### **7.1.2. Diseño**

En la segunda fase de la investigación se diseñaron y aplicaron los instrumentos de intervención, seleccionando para ello los estudiantes que constituirían el caso, en un proceso que tuvo lugar en el espacio Física de los Campos 2008-02, el cual contó inicialmente con un grupo de dieciséis estudiantes matriculados en este espacio. Este grupo se redujo después a ocho estudiantes<sup>6</sup> que participaron de las conceptualizaciones propuestas sobre la gravitación y el electromagnetismo (véase programa de Física de los Campos, anexo 5), y de los cuales sólo serían seleccionados tres para el estudio de caso.

Para esta selección, se utilizaron los criterios propuestos por Stake (1999), esto es, se acudió a una muestra voluntaria que se eligió como caso, porque se consideró que sería fácil de abordar, pues estos estudiantes

---

<sup>6</sup> Esta reducción a ocho estudiantes, se realizó con el propósito de desarrollar dos propuestas investigativas en el grupo inicial: Una referida al concepto de campo (*evolución del concepto de campo en estudiantes universitario*) realizada por nuestras compañeras de práctica (Escobar, Gonzalez y Gutierrez, 2009), y la presente referida a la enseñanza del concepto de corriente eléctrica.

mostraron una actitud positiva frente a la propuesta planteada y estaban interesados en participar y aportar en las construcciones que tendrían lugar allí.

Durante el proceso, los estudiantes fueron invitados a aportar la información de la que disponían sobre los modelos de corriente eléctrica, mediante la actividad de indagación, para planificar desde allí las actividades de intervención (actividad de conceptualización y actividad experimental).

Teniendo en cuenta los fundamentos de la propuesta de investigación, se diseñó dicho instrumento de indagación (véase anexo 2), para identificar cuál de los modelos categorizados en la primera fase, utilizaban los tres estudiantes que representaron el caso, mediante el planteamiento de una situación, que propicia discusiones sobre un fenómeno particular (transformación de energía eléctrica en energía lumínica y térmica mediante la corriente eléctrica) relacionado con la corriente eléctrica; discusiones donde tuvo un papel protagónico la argumentación hecha por los estudiantes en sus planteamientos.

En el proceso seguido para el desarrollo de esta primera actividad, se dio un intervalo de tiempo a los estudiantes para que elaboraran sus argumentos en torno a la situación planteada y posteriormente, se llevó a cabo una discusión a partir de estas elaboraciones, para profundizar sobre las concepciones de corriente eléctrica que expresaban, luego se analizaron mediante el modelo argumentativo de Toulmin, las respuestas de los estudiantes a las preguntas planteadas en la actividad de indagación (análisis de los argumentos escritos) y los aspectos referentes a la discusión posterior (análisis del discurso).

A partir de la lectura detallada de las respuestas dadas por los estudiantes, y su respectivo análisis, se dio cuenta de la incursión de los mismos en uno u otro modelo de corriente eléctrica, y teniendo presente estos resultados, se construyó una actividad de conceptualización (véase anexo 3) para contrastar aquellas ideas expuestas sobre corriente eléctrica, con los conceptos actualmente reconocidos por la comunidad científica, a través de la organización de ideas y posterior discusión a la luz de procesos argumentativos.

Mediante esta actividad, se promovió la elaboración de representaciones y argumentos, y se plantearon discusiones en las cuales los estudiantes identificaron que sus modelos eran insuficientes para explicar el fenómeno en cuestión. La generación de estos espacios abre así la posibilidad de conformar tal y como afirman Henao y Stipcich et al. (2008), comunidades de aprendizaje, donde es posible superar la enseñanza tradicional informativa y repetitiva y, en su lugar, se consoliden ambientes que propicien la realización de actividades que privilegian la participación de los estudiantes en procesos como clasificaciones, comparaciones, apelación, uso de analogías y, especialmente, en la construcción, justificación y valoración de explicaciones, es decir, en procesos epistémicos.

Adicionalmente, se construyó y aplicó una actividad experimental (véase anexo 4), en la que inicialmente se planteó una situación que daría cuenta de los elementos, que los estudiantes lograron modificar en sus modelos, mediante la actividad de conceptualización aplicada. Así mismo, esta actividad experimental brindó a los estudiantes la posibilidad de pensar, diseñar y evaluar procedimientos, que permitieron establecer relaciones cuantitativas entre la corriente eléctrica y algunas variables (voltaje, resistencia y temperatura); esto implicó la realización de un diseño y una

prueba de funcionalidad del mismo, para luego elaborar la guía y los respectivos procesos de formalización.

### **7.1.3. Cierre**

En esta etapa de la investigación, se analizó lo referente al proceso y los resultados obtenidos, mediante la aplicación de los instrumentos de conceptualización y experimentación. Para este análisis, se tuvo en cuenta el modelo argumentativo de Toulmin (2003), considerando las situaciones planteadas en las actividades, como los datos a partir de los cuales, los estudiantes mediante la exposición de buenas razones<sup>7</sup> llegan a una conclusión. Lo que se analiza desde allí, son los aspectos que Toulmin considera debe tener todo argumento.

Así, la comprensión del caso se describió mediante el análisis de las respuestas y discusiones sostenidas con los estudiantes, que muestran la forma en la cual los estudiantes modifican sus modelos sobre la corriente eléctrica. Por último se elaboraron las conclusiones y recomendaciones referentes al caso estudiado y las posibles implicaciones, para el desarrollo de futuras investigaciones referidas a la enseñanza del concepto de corriente eléctrica.

---

<sup>7</sup> Según Henao y Stipcich et al. (2008), desde la perspectiva de Toulmin (2003) sobre el proceso argumentativo, expresado en términos de la racionalidad, la exposición de “buenas razones” hace referencia a las razones coherentes, pertinentes y situadas, superando los esquemas deductivos formales, para presentar ideas, defenderlas o someterlas a refutación.

## 7.2. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA

A continuación se representan mediante el esquema argumentativo de Toulmin (2003), las respuestas de los estudiantes en las actividades de indagación, conceptualización y experimentación, con el propósito de analizar los elementos identificados en su discurso y que constituyen su argumento a las situaciones planteadas.

El esquema utilizado tiene la forma que se muestra en la figura 8, éste ayuda a identificar y situar las partes de cada una de las respuestas elaboradas, con el fin de facilitar después el análisis en profundidad de la estructura de los argumentos.

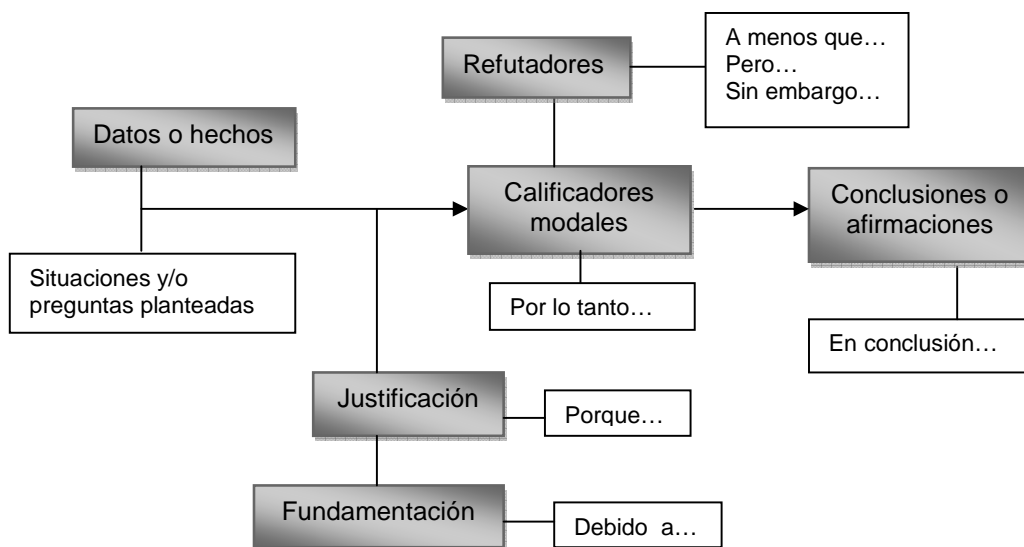


Figura 7. 3: Esquema argumentativo para el análisis de la información obtenida.



### 7.2.1. Actividad de indagación

El análisis de los elementos identificados en esta actividad, permitió determinar cuál de los modelos categorizados utilizan los estudiantes.

1. En la conexión de la figura, Carlos logra encender el bombillo con los materiales disponibles. Explica por qué enciende el bombillo.

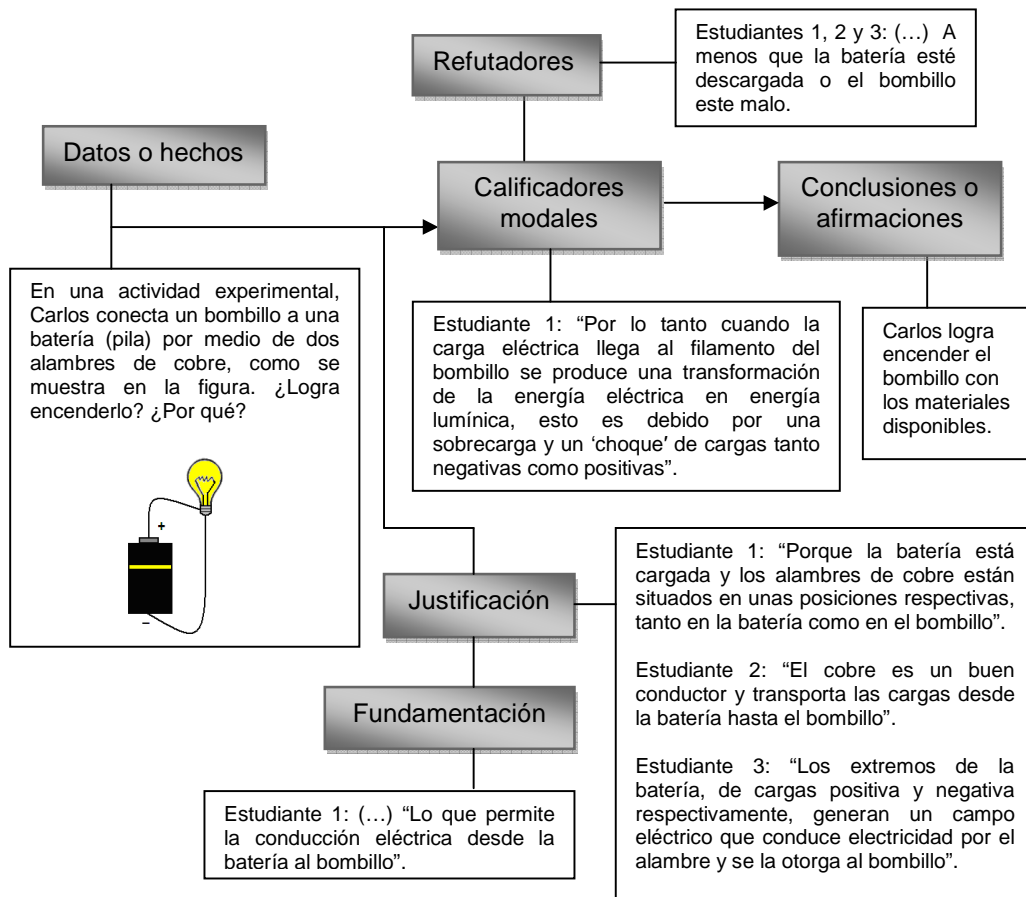


Figura 7. 4: Esquema argumentativo para el análisis de la primera pregunta de la actividad de indagación.

Se logró identificar que los estudiantes del caso, no consideran que la corriente sale de la batería como si estuviera almacenada allí, más bien conciben la batería como un almacén de carga eléctrica; además desconocen la presencia de cargas en el conductor y el filamento del bombillo.

2. ¿Cuál es la función de la pila? ¿Cuál es la función de los alambres?  
Argumenta tu respuesta.

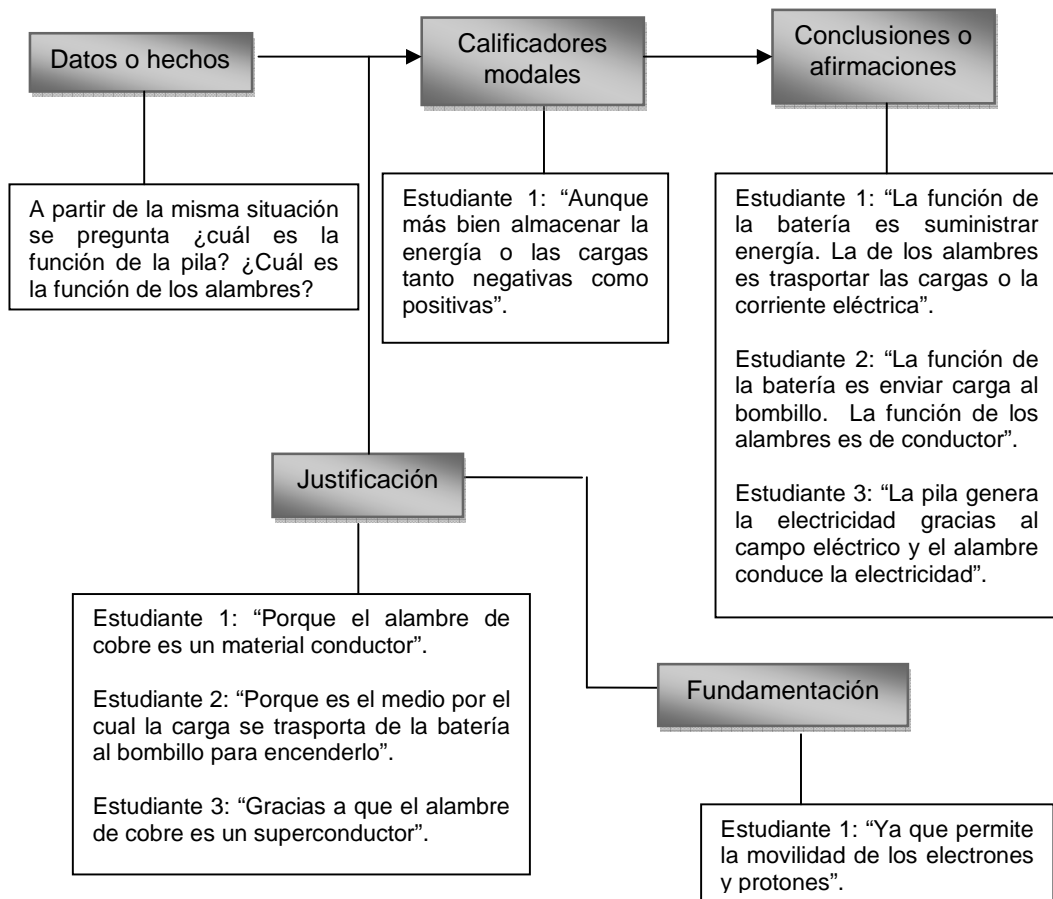
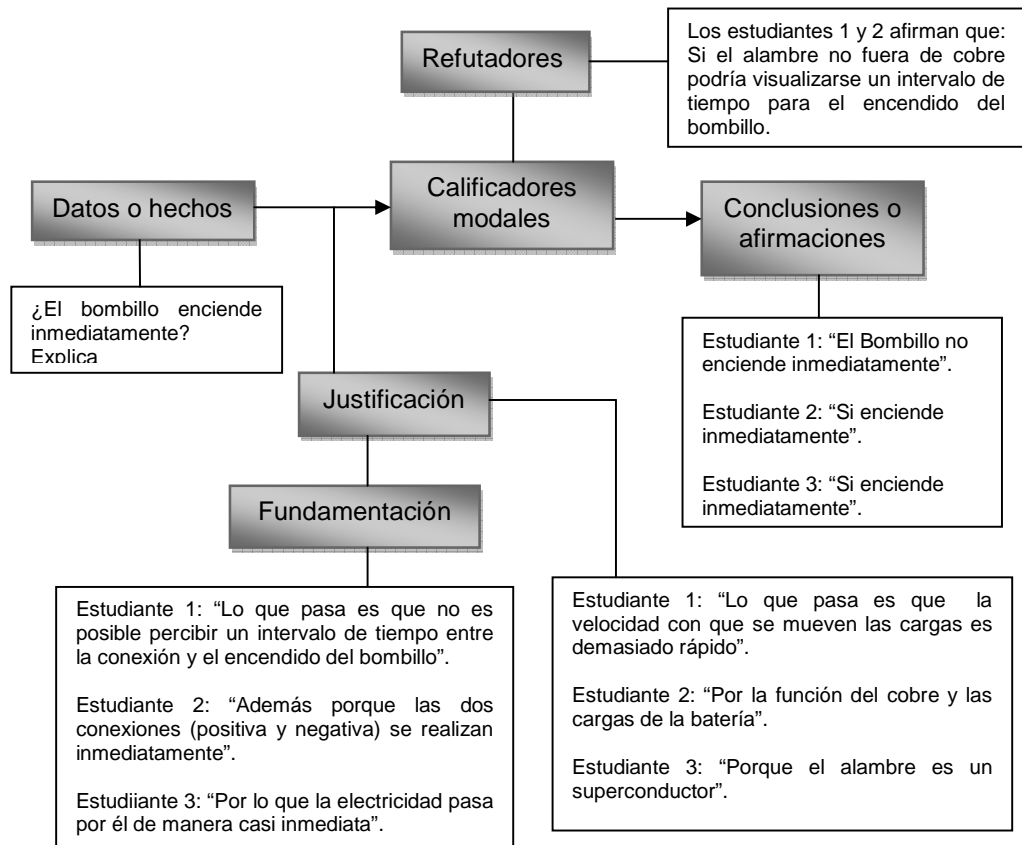


Figura 7. 5: Esquema argumentativo para el análisis de la segunda pregunta de la actividad de indagación.

En estas respuestas se verifica que los estudiantes asumen la batería como un almacén y suministro de carga (se habla de electrones y protones como los portadores de carga). La única función que desempeñan los cables es “conducir”, permitir la movilidad de los electrones y los protones. Aunque se menciona el campo eléctrico, no se tiene claridad sobre la función de éste en la generación de la corriente, al afirmarse que *“el campo eléctrico existe y puede ser conducido en forma de electricidad”*.

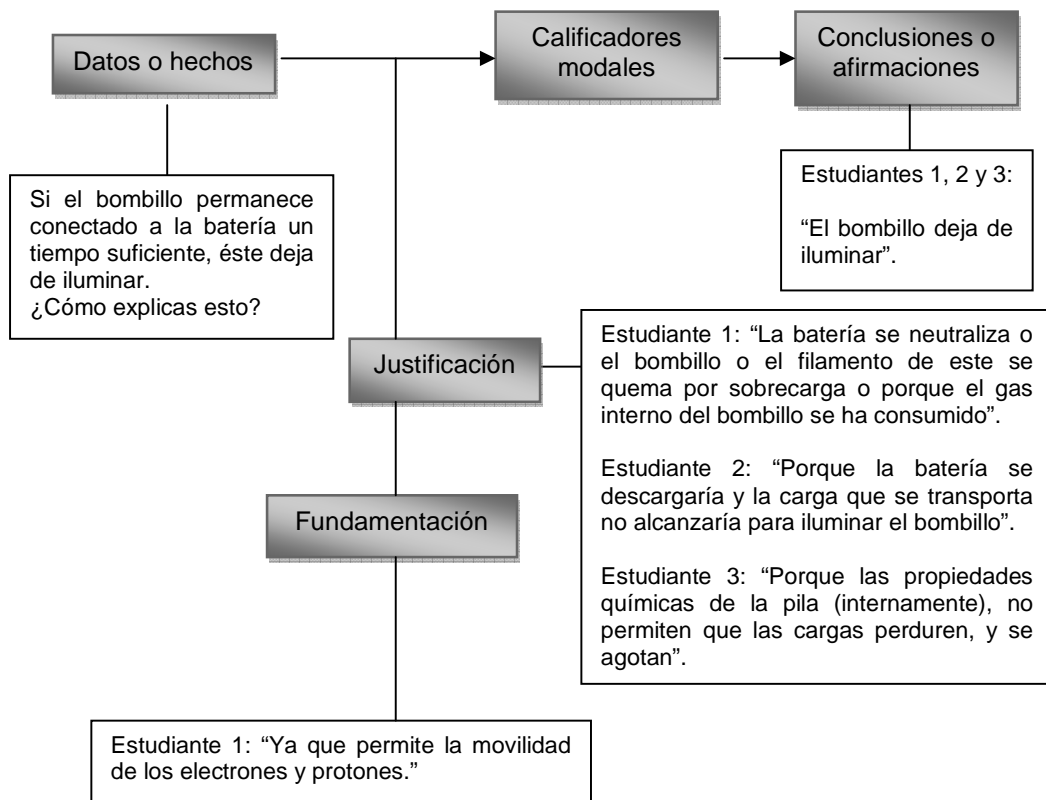
### 3. ¿Cómo explicas que el bombillo encienda inmediatamente?



**Figura 7. 6: Esquema argumentativo para el análisis de la tercera pregunta de la actividad de indagación.**

Los estudiantes consideran que la velocidad con la que se mueven las cargas “desde la batería hasta el bombillo” es muy rápida, en la discusión propusieron que esta velocidad es tan alta como la velocidad de la luz. Introducen el concepto de conductor (y superconductor) pero sin una idea clara de lo que esto representa, no se tiene presente que a estos materiales los caracteriza la presencia de electrones libres en su superficie.

4. Si el bombillo permanece conectado a la batería un tiempo suficiente, éste deja de iluminar, ¿cómo explicas esto?



**Figura 7. 7: Esquema argumentativo para el análisis de la cuarta pregunta de la actividad de indagación.**

Se logra identificar en estos elementos, que en los modelos de los estudiantes 2 y 3 no se considera el principio de conservación de la carga, al decir que la carga (electrones) se agota, el estudiante 1 no es claro cuando hace referencia a que la batería se neutraliza.

Luego del trabajo individual se propició una discusión en la cual, los estudiantes lograron consensuar un argumento sobre todo el proceso como sigue:

Carlos logra encender el bombillo porque la batería está cargada y los alambres están en posiciones adecuadas, lo que permite la conducción eléctrica. Por lo tanto cuando la carga eléctrica llega al filamento del bombillo se produce una transformación de la energía eléctrica en energía lumínica. La pila y los alambres de cobre son elementos que proporcionan y transportan la carga eléctrica hasta el bombillo a una velocidad tan alta que no es posible percibir el intervalo de tiempo en el que ocurre, por lo que parece que el bombillo enciende inmediatamente, proceso que termina en el momento en el que la batería se neutraliza o se agota la carga que posee.

De acuerdo con estos esquemas y los elementos que los estudiantes expresaron en sus argumentos, se muestra en la tabla 2, la categoría a la que los estudiantes acudieron para sus explicaciones.

<b>Modelos de corriente eléctrica</b>	<b>Descripción del modelo</b>
La corriente eléctrica como un fluido material	<p>En las respuestas de los estudiantes a las preguntas planteadas en la actividad de indagación, no se hizo alusión a este modelo, pues dos de ellos hablan del movimiento de electrones y el otro aunque no considera dicho movimiento no utiliza términos referidos a fluido.</p> <p>Hipótesis: Consideramos que estas respuestas están influenciadas por el proceso de conceptualización sobre la naturaleza de la carga eléctrica realizado durante la intervención en el espacio Física de los Campos 2008-02.</p>
La corriente eléctrica como un movimiento de cargas	<p>Es a este modelo al que han hecho referencia los estudiantes, aduciendo que los electrones se mueven a velocidades muy altas y recorriendo trayectos muy largos en el conductor; se encuentran además de estas, otras dificultades dentro del mismo modelo, como las siguientes:</p> <p>Para los estudiantes los electrones que se desplazan son proporcionados por la batería, de manera que desconocen la presencia de los mismos en toda la superficie del conductor.</p> <p>Sólo un estudiante determina la necesidad de establecer un campo eléctrico (que es generado por la batería), pero no tiene claro la función del campo en la generación de corriente.</p>

**Tabla 7. 2.**  
**Descripción de los modelos de corriente eléctrica de los estudiantes expresados en la actividad de indagación.**

### 7.2.2. Actividad de conceptualización

Mediante esta actividad, se promovió la elaboración de representaciones y argumentos, y se plantearon discusiones en las cuales los estudiantes identificaron que sus modelos eran insuficientes para explicar el fenómeno en cuestión.

1. Dexter está interesado en explicar cómo es el movimiento de los electrones al interior de un conductor antes de establecer un campo eléctrico en él. Ayuda a Dexter a describir este fenómeno. Para ello puedes utilizar un gráfico, una analogía, un texto escrito, o cualquier otro tipo de representación. Argumenta tus ideas.

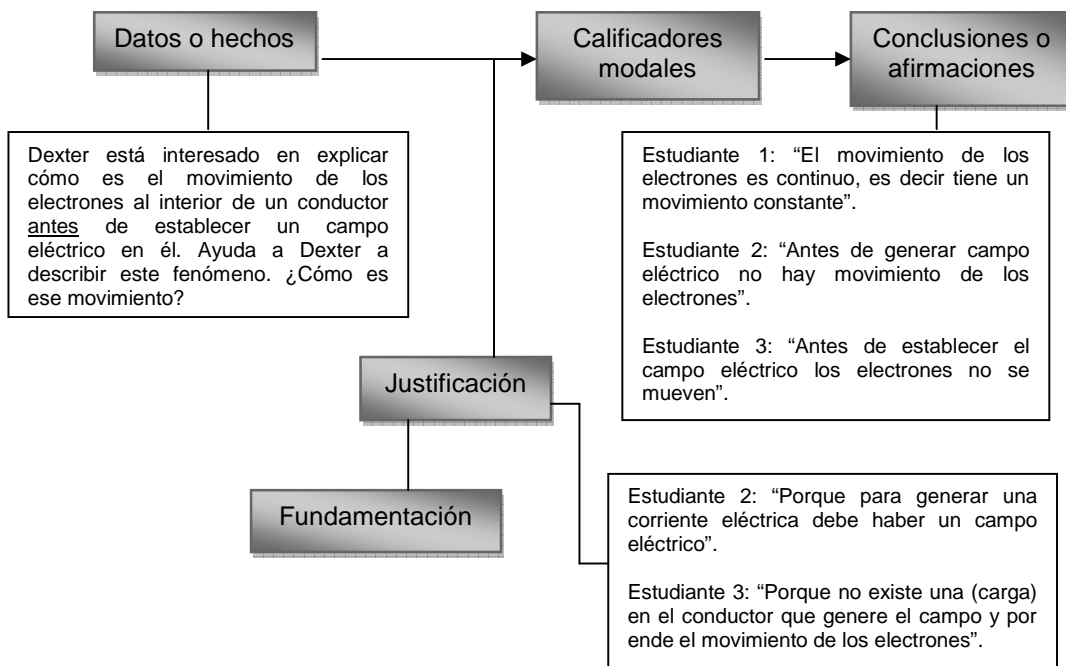
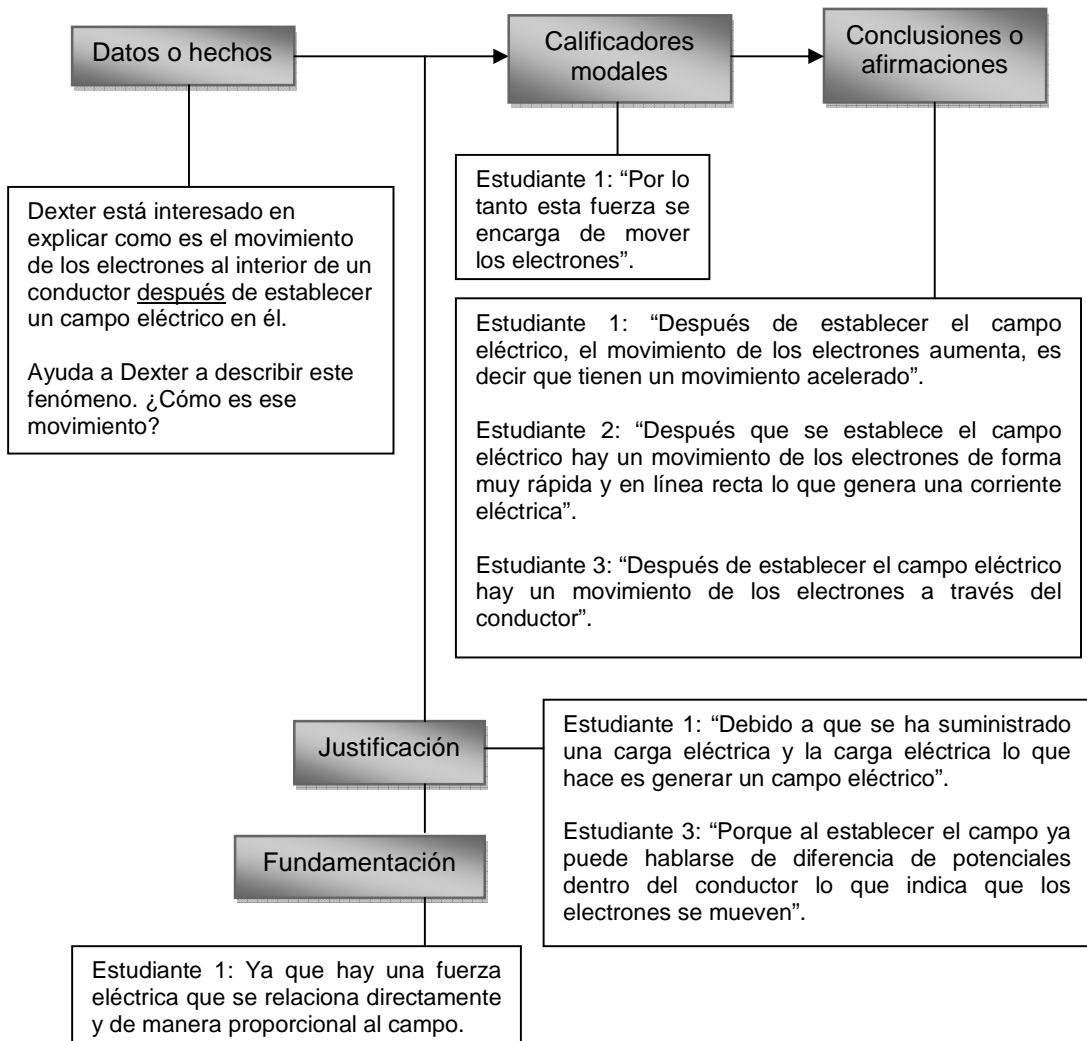


Figura 7. 8: Esquema argumentativo para el análisis de la primera situación de la actividad de conceptualización.

2. Dexter está interesado en explicar cómo es el movimiento de los electrones al interior de un conductor después de establecer un campo eléctrico en él. Ayuda a Dexter a describir este fenómeno. Para ello puedes utilizar un gráfico, una analogía, un texto escrito, o cualquier otro tipo de representación. Argumenta tus ideas.



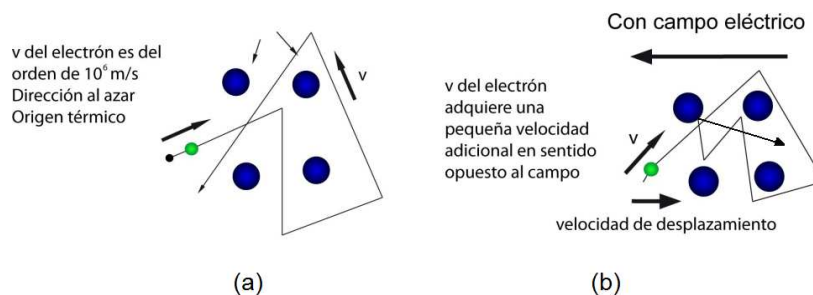
**Figura 7. 9: Esquema argumentativo para el análisis de la segunda situación de la actividad de conceptualización.**



A partir de los elementos expuestos por los estudiantes para argumentar sus modelos mentales, se presentaron situaciones y contra argumentos con el propósito de mostrar algunas inconsistencias de éstos. Por ejemplo, cuando se mencionó que “*antes de generar campo eléctrico no hay movimiento de los electrones*”, se discutió sobre su disposición en los átomos, y a partir de esto, se acordó que en realidad existe un movimiento aleatorio y desordenado (de origen térmico) de los electrones que no constituye una corriente eléctrica. Esto se logró mediante la consideración de la siguiente conceptualización:

Los materiales (en este caso sólidos) están compuestos por átomos. A su vez, los átomos poseen electrones, que se encuentran orbitando en torno al núcleo del átomo. Existen algunos electrones que no siempre se encuentran orbitando en torno a un mismo núcleo, sino que se van moviendo a través de los átomos del material. De acuerdo con Serway y Jewett et al., (2005):

*Esta situación es similar al movimiento de las moléculas de un gas confinado en un recipiente (...) En ausencia de un campo eléctrico no existe corriente en un conductor dado que la velocidad de arrastre de los electrones es igual a cero. Esto es, en promedio se mueven tantos electrones en una dirección como en la dirección opuesta, y por lo tanto no se presenta flujo neto de carga. (p. 137)*



**Figura 7. 10: Movimiento de los electrones libres en el interior de un conductor, (a) antes de establecer un campo eléctrico y (b) después de establecer un campo eléctrico.**

Así, los estudiantes asociaron este movimiento, al movimiento permanente de las partículas del cuerpo para mantener su temperatura.

Posteriormente, se establecieron acuerdos sobre los elementos del modelo que se pretendía conceptualizar, contrastándolos con sus propios modelos mentales. Por ejemplo, para describir el movimiento de los electrones después de establecer un campo eléctrico, el estudiante 2 afirma lo siguiente:

*“Después que se establece el campo eléctrico hay un movimiento de los electrones de forma muy rápida y en línea recta lo que genera una corriente eléctrica”.*

En la discusión sobre este aspecto, el estudiante afirmó que la velocidad con la que se mueven los electrones es cercana a la velocidad de la luz. Frente a esta afirmación, se propuso reflexionar sobre las consecuencias de asumir una velocidad tan alta y conceptualizar la velocidad de arrastre como sigue:

La situación es diferente cuando se aplica un campo eléctrico (véase figura 14b). “En esta situación, además de experimentar el movimiento aleatorio arriba descrito, los electrones libres derivan lentamente en dirección opuesta a la del campo eléctrico, con una velocidad promedio de arrastre que es mucho menor (típicamente  $10^{-4}$  m/s) que sus velocidades promedio entre las colisiones (típicamente  $10^6$  m/s)” (Serway y Jewett et al., 2005, p. 137).

Luego de estas consideraciones, se dedujo la expresión para la densidad de corriente, con el propósito de mostrar la imposibilidad de que los electrones viajen a dicha velocidad:  $j = qnv$ . En efecto, el valor absoluto de la carga del electrón es  $6.02 \times 10^{-19}$  C, la densidad de electrones libres en el

cobre es, como se ha dicho,  $n= 8.45 \times 10^{22}$  electrones/cm<sup>3</sup>, o sea,  $8.45 \times 10^{28}$  electrones/m<sup>3</sup>. Si la velocidad de arrastre de los electrones fuera la de la luz,  $3 \times 10^8$  m/s, o próxima a ella, resultaría que la densidad de corriente en los conductores de cobre sería:

$$j = (6.02 \times 10^{-19} \text{ C})(8.45 \times 10^{28} \text{ electrones/m}^3)(3 \times 10^8 \text{ m/s})$$
$$j = 4 \times 10^{18} \text{ A/m}^2 = 4 \times 10^{12} \text{ A/mm}^2.$$

El resultado indica, que por cada cable de cobre de un milímetro cuadrado de sección, circularían cuatro billones de amperios; y que, como todos los electrones libres circularían a la velocidad de la luz, la densidad de corriente en cualquier cable de cobre sería la misma. Es evidente que las cosas no son así: La densidad de corriente en los conductores de cobre de las instalaciones que empleamos no es siempre la misma, sino que puede variar y, desde luego, sus valores nada tienen que ver con la inconcebible cantidad deducida (Quintela y otros et al., 2006, p. 67). Adicionalmente, se planteó una analogía con el péndulo de Newton (descrito en el marco teórico) para la comprensión del movimiento de los electrones en el modelo de corriente eléctrica como perturbación.

Esta actividad permitió el consenso de este último modelo, porque se establecieron acuerdos con respecto a la constitución atómica de la materia, y además se logró dar respuesta a aspectos relacionados con la conservación de la carga, la conservación y transformación de la energía, entre otros, que sus modelos mentales no lograban explicar. Se observó igualmente, una buena actitud de los estudiantes frente a actividades que privilegian su participación, y una motivación especial cuando se ven inmersos en procesos de elaboración y defensa de ideas sobre los fenómenos en cuestión.

### 7.2.3. Actividad experimental<sup>8</sup>

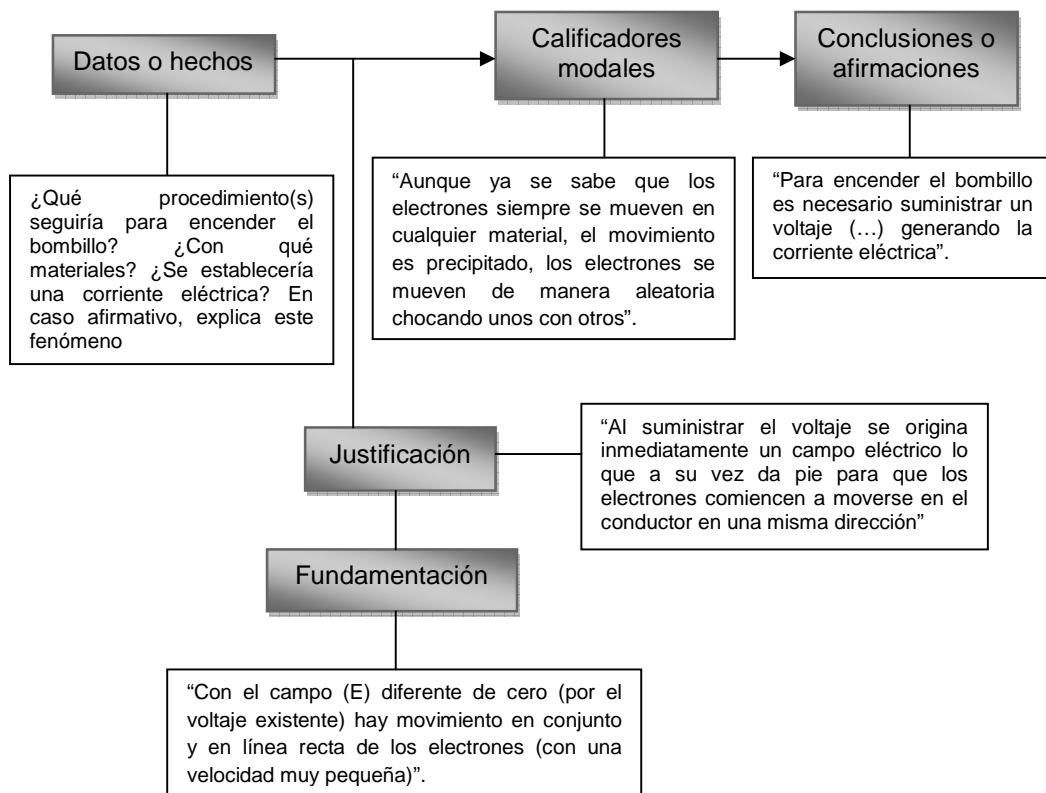
1. ¿Qué procedimiento(s) seguiría para encender el bombillo? ¿Con qué materiales? ¿Se establecería una corriente eléctrica? En caso afirmativo, explica este fenómeno.

El propósito de esta situación, además de la familiarización con los materiales a utilizar en la práctica, fue identificar los elementos que los estudiantes incorporaron en sus modelos, luego del desarrollo de la actividad de conceptualización, para mejorar de esta manera el modelo de corriente eléctrica utilizado en sus argumentos. Al respecto, los estudiantes describieron lo siguiente:

*“Para encender el bombillo es necesario suministrar un voltaje, debemos conectar los cables respectivos al bombillo y a la fuente de voltaje de tal manera que se produzca una diferencia de potencial (...) Al suministrar el voltaje se origina inmediatamente un campo eléctrico lo que a su vez da pie para que los electrones comiencen a moverse en el conductor –aunque ya se sabe que los electrones siempre se mueven en cualquier material, el movimiento es precipitado, los electrones se mueven de manera aleatoria chocando unos con otros– con el campo (E) diferente de cero (por el voltaje existente) hay movimiento en conjunto y en línea recta de los electrones (con una velocidad muy pequeña) generando la corriente eléctrica”.*

---

<sup>8</sup> Esta actividad se realizó en grupo, es decir, los tres estudiantes desarrollaron y discutieron de manera conjunta las situaciones propuestas allí y, a partir de las mediciones y observaciones hechas en la práctica, se les planteó elaborar un informe escrito con la solución de estas situaciones, los gráficos respectivos y la elaboración de conclusiones y posibles causas de error.



**Figura 7. 11: Esquema argumentativo para el análisis de la primera pregunta de la actividad experimental.**

Puede identificarse que los estudiantes reconocen la necesidad de establecer un campo eléctrico en el interior de un conductor para generar corriente, así mismo incluyen la velocidad de arrastre para referirse al movimiento de los electrones y advierten que esta velocidad es en realidad muy pequeña.

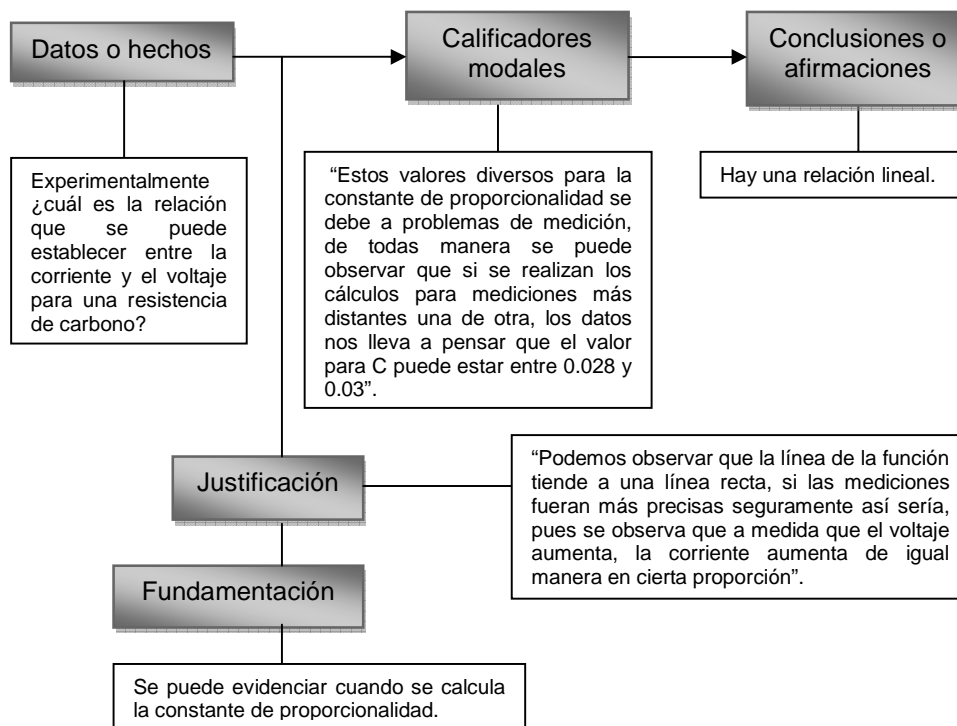
Luego, en la actividad experimental los estudiantes diseñaron procedimientos adecuados y lograron establecer las relaciones cuantitativas entre la corriente y el voltaje, para materiales lineales y no lineales, y entre la

corriente y la resistencia para materiales lineales, construyendo la ley de Ohm, como sigue.

2. Diseña un montaje experimental que permita establecer relaciones cuantitativas entre el voltaje y la corriente eléctrica (para el bombillo y el resistor). A partir de los datos obtenidos, elabora una gráfica para representar la relación entre dichas variables.

*“Las variables a considerar son la corriente, el voltaje y la resistencia. Para establecer una relación cuantitativa entre el voltaje y la corriente, dejamos la otra variable constante y ubicamos los cables como en el procedimiento mencionado para determinar la corriente, luego hacemos variar el voltaje en la fuente de voltaje y registramos los datos en una tabla para los valores de la corriente –medidos en el multímetro– y el voltaje. Según este procedimiento y el análisis anterior tomamos las siguientes medidas para valores diferentes de voltaje y su respectivo valor en la corriente para la resistencia de carbono”.*

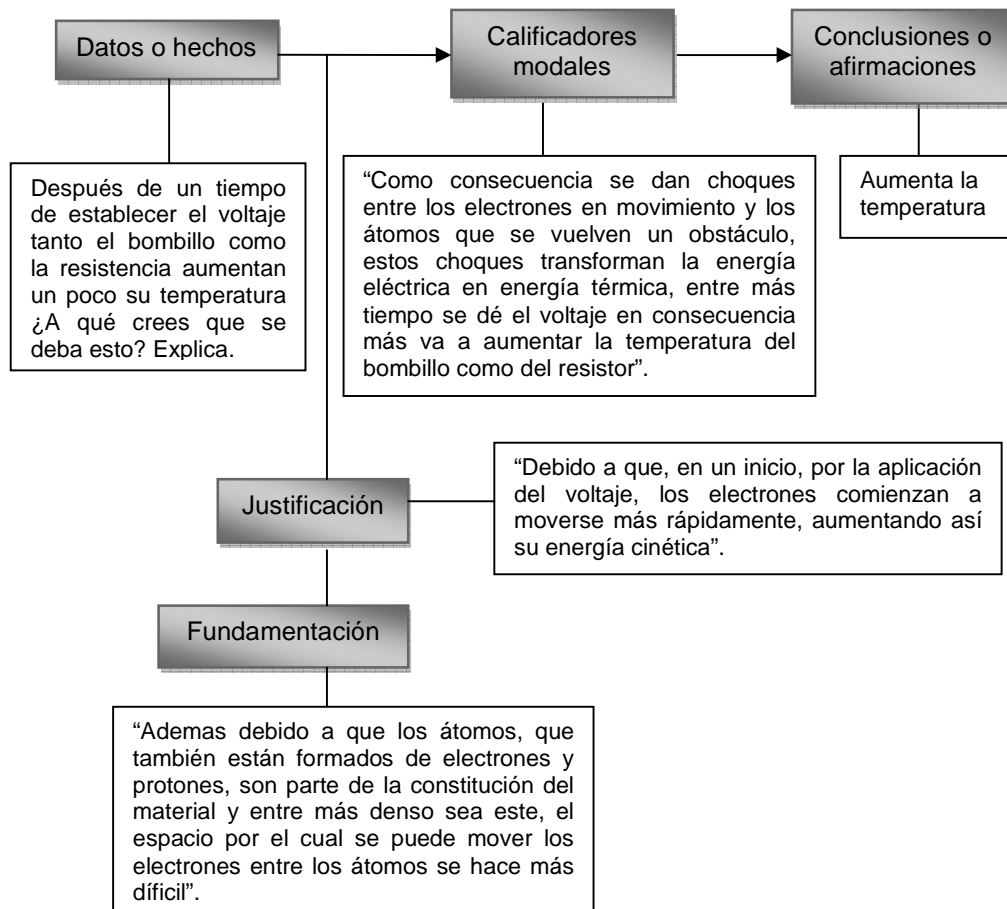
En relación con las conclusiones hechas por los estudiantes, para establecer relaciones cuantitativas entre la corriente y el voltaje y la respectiva gráfica, se plantea el siguiente esquema que explica la forma en la que se logra establecer dicha relación lineal.



**Figura 7. 12: Esquema argumentativo para el análisis de la segunda pregunta de la actividad experimental.**

Mediante la tercera y cuarta situación, se orientó a los estudiantes a pensar en otras variables que intervienen en el fenómeno que se está estudiando, motivándolos además, a reflexionar sobre la forma en que éstas influían en las relaciones que serían establecidas. Con respecto a esto, los estudiantes elaboraron buenos argumentos, al relacionar la energía cinética de los electrones con la temperatura del material.

**3.** Después de un tiempo de establecer el voltaje tanto el bombillo como la resistencia aumentan un poco su temperatura ¿A qué crees que se deba esto? Explica.

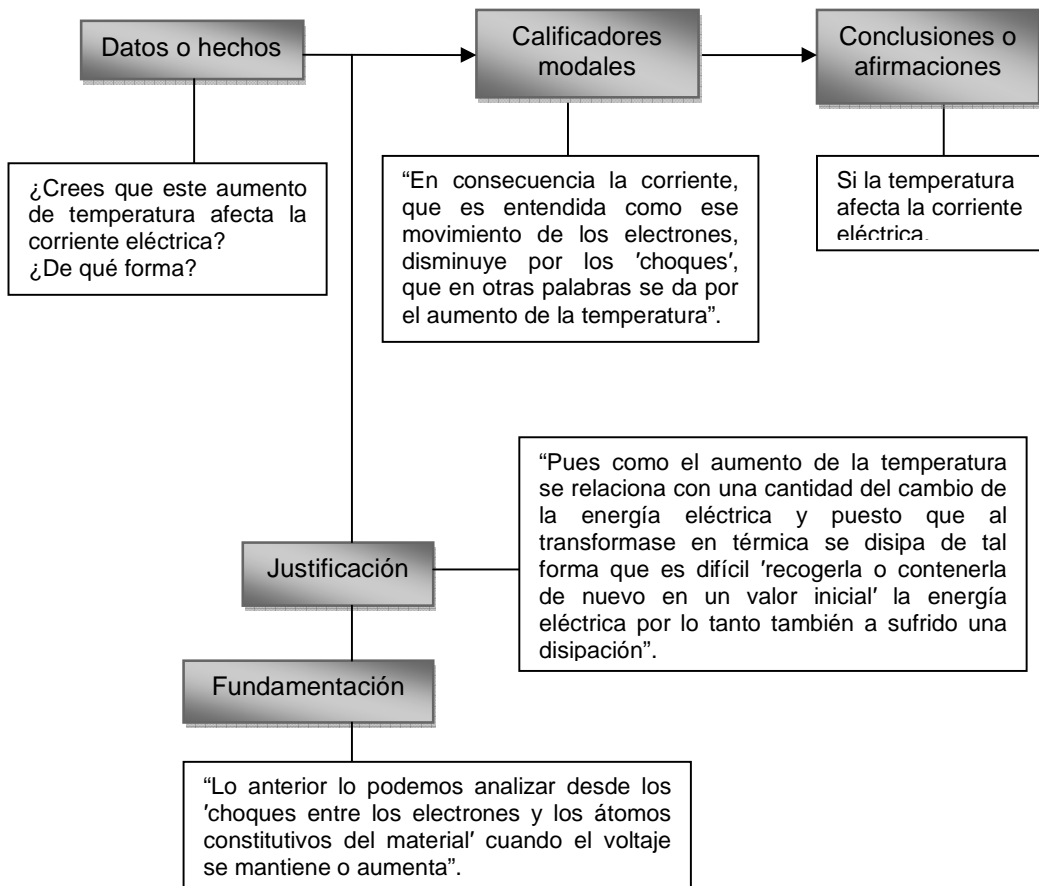


**Figura 7. 13: Esquema argumentativo para el análisis de tercera pregunta de la actividad experimental.**

Adicionalmente, consideraron que este aumento de la temperatura influía de alguna *“manera negativa sobre la corriente, porque complica el movimiento de los electrones”*.

**4.** ¿Crees que este aumento de temperatura afecta la corriente eléctrica? ¿De qué forma?





**Figura 7. 14: Esquema argumentativo para el análisis de cuarta pregunta de la actividad experimental.**

5. Ahora, Diseña un montaje experimental que permita establecer relaciones cuantitativas entre la resistencia y la corriente eléctrica. A partir de los datos obtenidos, elabora una gráfica para representar la relación entre dichas variables.

*"Para establecer una relación cuantitativa entre la resistencia y la corriente eléctrica, asumimos la otra variable como constante, es decir el voltaje. De igual manera como procedimos en el numeral 2, tomaremos medidas diferentes de resistencia a diferentes resistores y su respectiva corriente, tomando un valor del voltaje constante para todas las mediciones".*

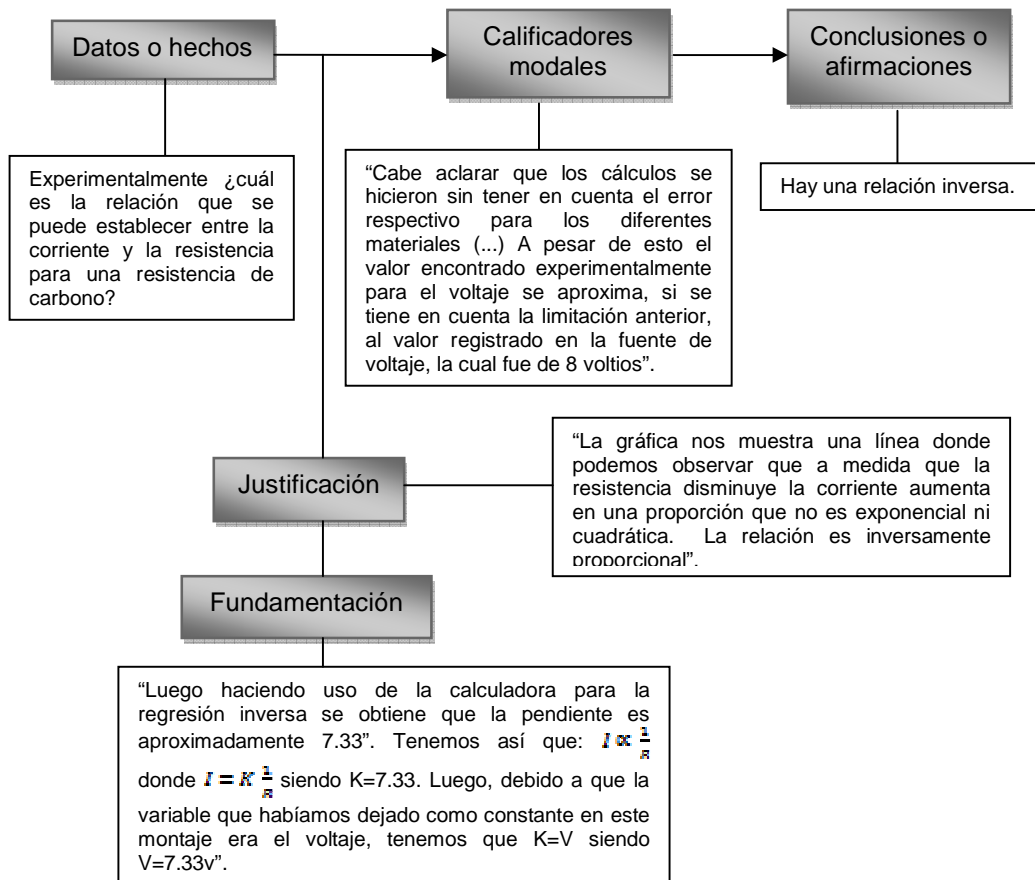


Figura 7. 15: Esquema argumentativo para el análisis de la quinta pregunta de la actividad experimental.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

Mediante la aplicación de los instrumentos diseñados, los estudiantes lograron incorporar elementos que sus modelos iniciales no consideraban, por ejemplo, se identificó en sus argumentos, la necesidad de establecer un campo eléctrico para generar una corriente eléctrica; igualmente, reconocen la presencia de electrones libres en la superficie de un material conductor y advierten que la velocidad con la que se mueven estos electrones para constituir una corriente es en realidad muy pequeña, comparada con la velocidad del movimiento aleatorio de los mismos.

Durante el desarrollo de la investigación, se observó una buena actitud de los estudiantes frente a actividades que privilegian su participación, y una motivación especial cuando se ven inmersos en procesos de elaboración y defensa de ideas sobre los fenómenos en cuestión; así, fundamentar la enseñanza de las ciencias en actividades que incluyen y privilegian la argumentación en el aula, permite que los estudiantes puedan construir, negociar, cambiar y compartir significados, representaciones y explicaciones.

El diseño de actividades experimentales bajo esta perspectiva, brindó a los estudiantes la posibilidad de pensar, diseñar y evaluar procedimientos experimentales, que permitieron establecer relaciones cuantitativas entre la corriente eléctrica y algunas variables (voltaje, resistencia y temperatura).

La historia y la epistemología representan una muy importante alternativa para la enseñanza de las ciencias, porque permiten, además de articular de manera significativa el conocimiento científico al contexto escolar,

motivar y despertar el interés de los estudiantes hacia las ciencias. Desde esta perspectiva, el estudio y análisis de las obras originales permite enriquecer los conceptos físicos, sugiriendo nuevos significados y relaciones.

Así, en los planteamientos de Maxwell, Faraday y otros científicos, se identificaron aspectos que contribuyeron a conceptualizar el fenómeno de la corriente eléctrica, como un movimiento vibratorio de los electrones libres en el interior de un conductor, dejando de lado aquellas ideas “sustancialistas” descritas por algunos físicos del siglo XIX como Thompson, que han considerado históricamente los fenómenos termodinámicos y electromagnéticos como “fluidos materiales” y que en la actualidad se corresponden con algunas concepciones alternativas expresadas por los estudiantes referentes al calor, la energía, las cargas eléctricas y la corriente eléctrica.

Comprender la corriente eléctrica de esta manera, facilita la explicación de aspectos relacionados con la conservación de la carga eléctrica, transformaciones de energía en un circuito, situaciones de la vida cotidiana (como la velocidad con la que enciende un bombillo al accionar el interruptor), relaciones que pueden establecerse con el campo magnético, entre otras.

## **RECOMENDACIONES**

Es fundamental identificar y tener presente los conocimientos previos de los estudiantes, para establecer si sus modelos iniciales son adecuados como punto de partida para la construcción del modelo actualmente aceptado por la comunidad científica, y orientar a partir de ello los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Es importante destinar un espacio de la clase para discutir acerca del modelo de argumentación a tener en cuenta, para que los estudiantes tengan claro el significado y la importancia que tiene la argumentación en la construcción del conocimiento, no tiene que ser una discusión larga y detallada, pero si debe acercar a los estudiantes hacia la comprensión de los diferentes elementos que configuran un buen argumento.

La modificación de los modelos que utilizan los estudiantes no es algo inmediato, es decir, es un proceso gradual en el cual los modelos se van ampliando y mejorando a medida que nueva información, argumentada de manera significativa para ellos, ingresa a su estructura cognitiva para permitir una mejor representación del fenómeno.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Acevedo Díaz, J. A. (2004). El papel de las analogías en la creatividad de los científicos: La teoría del campo electromagnético de Maxwell como caso paradigmático de la historia de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1 (3), 188-205.

Aguilar Mosquera, Y. (2008). El concepto de presión desde la perspectiva euleriana: Enseñanza y formalización de los fenómenos físicos. *IV Congreso Nacional en Enseñanza de la Física*. Medellín.

Barberá, G., & Valdés, P. (1996). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: Una revisión. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (3), 365-379.

Bohigas, X., & Periago, C. (2005). Persistencia de las ideas previas sobre potencial eléctrico, intensidad de corriente y ley de Ohm en los estudiantes de segundo curso de ingeniería. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 7 (2), 1-23.

Bravo, A. (2005). ¿Qué naturaleza de la ciencia hemos de saber los profesores de ciencias? Una cuestión actual de la investigación didáctica. *Tecné, Episteme y Didaxis* (extra).

Carlton, K. (1999). Teaching electric current and electrical potential. *Physics Education*, 34 (6), 341-345.

Carr, E. (1991). *¿Qué es la historia?* Barcelona: Editorial Ariel S.A.

Carrascosa Alís, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2 (2), 183-208.

Clerk Maxwell, J. (1891). *A Treatise on Electricity and Magnetism* (Third ed., Vol. 1). New York: Dover Publications, INC.

Colombo de Cudmani, L., & Salinas de Sandoval, J. (2004). ¿Es importante la epistemología de las ciencias en la formación de investigadores y de profesores en física? *Enseñanza de las Ciencias*, 22 (3), 455-462.

Dupin, J. J., & Joshua, S. (1990). Una analogía térmica para la enseñanza de la corriente continua en electricidad: Descripción y evaluación. *Enseñanza de las ciencias*, 8 (2), 119-126.

Faraday, M. (1952). *Experimental researches in electricity*. Encyclopaedia Britannica, INC.

Furió Mas, C. J., & Guisasola Aranzábal, J. (1999). Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (3), 441-452.

Furió Mas, C. J., & Guisasola Aranzábal, J. (1998). Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y de campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y universidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (1), 131-146.

Furió Mas, C. J., Guisasola Aranzábal, J., & Zubimendi, J. L. (1998). Problemas históricos y dificultades de aprendizaje en la interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos considerados elementales. *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*, 3 (3), 165-188.

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 289-203.

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 15 (2), 107-120.

Henao, B. L., & Stipcich, M. S. (2008). Educación en ciencias y argumentación: La perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las ciencias experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7 (1), 47-62.

Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 299-313.

Holton, G. (1976). *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas* (Segunda ed.). Reverté, S. A.

Justi, R. (2006). La enseñanza de las ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), 173–184.



*La Fanega*. (s.f.). Recuperado el 15 de Enero de 2009, de <http://lafanega.es/wp-content/uploads/2009/03/dexter.gif>

Martínez Carazo, P. (2006). *El método de estudio de caso. Estrategia metodológica de la investigación científica*. Recuperado el 12 de Junio de 2009, de <http://investigacioncualitativa.cl/2008/01/estudios-de-caso.html>

Moreira, M. A., Greca, I. M., & Rodríguez Palmero, M. L. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2 (3), 37-57.

Oliva, J. M., & Aragón, M. M. (2007). Pensamiento analógico y construcción de un modelo molecular para la materia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación Científica*, 4 (1), 21-41.

Papp, D. (1993). *Ideas revolucionarias en la ciencia* (Segunda ed., Vol. III). Editorial Universitaria, S. A.

Papp, D. (1993). *Ideas revolucionarias en la ciencia* (Segunda ed., Vol. II). Editorial Universitaria, S. A.

Pozo Municio, J. I., & Gómez Crespo, M. Á. (2000). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento científico al conocimiento cotidiano* (Segunda ed.). Ediciones Morata, S. L.

Quintanilla Gatica, M. (2005). Historia de la ciencia y formación del profesorado: Una necesidad irreductible. *Tecné, Episteme y Didaxis, Extra*.

Quintanilla Gatica, M. (2006). Historia de la ciencia, ciudadanía y valores: Claves de una orientación realista pragmática de la enseñanza de las ciencias. *Revista Educación y Pedagogía*, 13 (45), 11–23.

Quintela, F. R., & otros. (2006). Velocidad de los electrones en los conductores de las instalaciones eléctricas. *Revista Técnica sobre la Construcción e Ingeniería de las Instalaciones*, 36 (404), 65-70.

R. Tricker, R. A. (1996). *The Contributions of Faraday and Maxwell to Electrical Science* (First ed.). Pergamon Press.

Reygadas R, P., & Haidar E., J. (2001). Hacia una teoría integrada de la argumentación. *Estudios sobre las Culturas Contemporaneas*, 7 (13), 107-139.

Rodríguez, L. D., & Romero, Á. (1999). La construcción de la historicidad de las ciencias y la transformación de las prácticas pedagógicas. *Revista Física y Cultura* (6), 5.

Sánchez, M. T., & Sánchez, M. M. (Abril-Junio de 2001). Doscientos años de la pila de Volta y el avance de la química. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*.

Sandoval Casilimas, C. A. (Diciembre de 2002). *Investigación Cualitativa*. (A. E. Ltda, Ed.) Recuperado el 21 de Septiembre de 2008 de <http://www.scribd.com/doc/12839590/Inv-Cualitativa-Carlos-Sandoval>.

Sardá, J., & Neus, S. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: Un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (3), 405-422.

Segura Robayo, D. (Octubre de 2008). La comprensión y la explicación. *V Congreso Nacional sobre la Enseñanza de la Física*, (págs. 1-12). Medellín.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2005). Física para ciencias e ingeniería. International Thomson Editores, S. A.

Stake, R. E. (1999). *Investigación con estudio de casos* (Segunda ed.). Madrid: Ediciones Morata, S. L.

Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza.

Varela Nieto, M. P., Manrique del Campo, M. J., & Favieres Martínez, A. (1988). Circuitos eléctricos: Una aplicación de un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en las ideas previas de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 285-290.

Verdugo, H. (2007). *Corriente eléctrica*. Recuperado el 17 de Julio de 2008, de [http://www.hverdugo.cl/conceptos\\_pdf/corriente\\_electrica.pdf](http://www.hverdugo.cl/conceptos_pdf/corriente_electrica.pdf)

W. Sears, F., & otros. (2005). *Física universitaria con física moderna* (Undécima ed., Vol. 2). Pearson Education de México, S. A.

## 10. ANEXOS

### 10.1. ANEXO 1. CARTA DE ACEPTACIÓN

Medellín 10 de noviembre de 2008

Cordial saludo

Los estudiantes practicantes de la Licenciatura en Matemáticas y Física de la Universidad de Antioquia, que actualmente intervenimos en el espacio de conceptualización Física de los Campos, adelantamos una investigación de tipo cualitativo (estudio de caso) como actividad necesaria para dar forma a nuestra tesis de grado. Se hace ineludible escoger un pequeño grupo de personas (tres estudiantes) para aplicar diferentes instrumentos (grupales e individuales) con el fin de recolectar información que nos permita identificar los modelos de corriente eléctrica que tengan los estudiantes.

En consecuencia, lo invitamos a hacer parte de la investigación como uno de los tres estudiantes que nos permitirán indagar, en las formas arriba mencionadas, sobre sus ideas y concepciones sobre el tema que nos reúne.

Toda reunión será previamente avisada y concertada para que no le impliquen tiempos adicionales que usted no tenga en su agenda de actividades. Su participación es estrictamente voluntaria, y los investigadores nos comprometemos a mantener la confidencialidad de sus nombres y se hará referencia a ellos sólo mediante un código numérico. Los abajo firmantes agradecemos plasme su firma en el presente documento, dando muestra de aceptación a la invitación que le extendemos, bajo los parámetros señalados.

Agradeciendo su colaboración:

---

Jader Cano Vásquez c.c. 8064228

---

Diego Gómez Toro c.c. 8027187

---

Leonardo Cely Rueda c.c. 71766272

## 10.2. ANEXO 2. ACTIVIDAD DE INDAGACIÓN (1)

Universidad de Antioquia  
Facultad de Educación  
Licenciatura en Matemáticas y Física  
Espacio de conceptualización: Física de los Campos



### Actividad diagnóstica. La corriente eléctrica

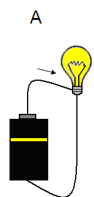
**Objetivo:** Describir algunas ideas referentes al concepto de corriente eléctrica, mediante el planteamiento de diferentes situaciones

1. Dibuja cómo conectarías el bombillo a la pila eléctrica para que este encienda. El cable que debes usar, lo representas mediante trazos.

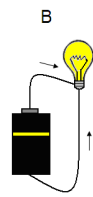


- ¿Por qué enciende el bombillo?
- ¿Cómo explicas que el bombillo encienda inmediatamente?
- Argumenta tus respuestas.

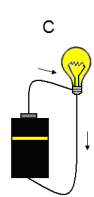
2. Una batería (o pila) se conecta a un bombillo, como se muestra en las siguientes figuras y el bombillo está encendido. ¿Con qué diagrama piensas que se describe mejor la circulación de la corriente eléctrica en los cables?



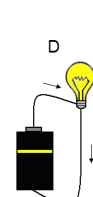
No habrá corriente en el cable conectado a la parte baja del bombillo.



La corriente eléctrica irá en dirección al bombillo en ambos cables.



La dirección de la corriente es como se muestra. La corriente será menor en el cable de retorno



La dirección de la corriente es como se muestra. La corriente será la misma en ambos cables.

3. Supóngase que un bombillo está conectado a una batería y está encendido. Escribe en el paréntesis (V) si consideras que la frase es verdadera ó (F) si consideras que la frase es falsa. Argumenta tus respuestas.

- A. La bombilla consume corriente eléctrica ( )
- B. La bombilla conduce la corriente eléctrica ( )
- C. La bombilla obstaculiza el paso de la corriente eléctrica ( )
- D. La bombilla toma parte de la energía de la corriente eléctrica ( )
- E. La bombilla es una resistencia ( )

### **Bibliografía**

Situaciones 1 y 2, tomadas de: Varela Nieto y otros, "Circuitos eléctricos: una aplicación de un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en las ideas previas de los alumnos", Enseñanza de las ciencias, 1988, 6 (3), p. 285-290.

### 10.3. ANEXO 3. ACTIVIDAD DE INDAGACIÓN (2)

Universidad de Antioquia  
Facultad de Educación  
Licenciatura en Matemáticas y Física  
Espacio de conceptualización: Física de los Campos

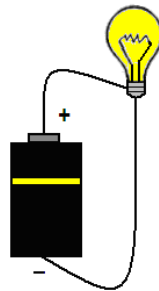


#### Actividad diagnóstica

**Objetivo:** Describir algunas ideas sobre el fenómeno eléctrico planteado en la siguiente situación.

#### Situación

En una actividad experimental, el profesor propone a sus alumnos conectar un bombillo a una batería (pila) por medio de dos alambres de cobre, para lograr encenderlo. Carlos, un niño bastante inteligente hizo la siguiente conexión:



A partir de lo anterior, responde las siguientes preguntas:

1. En la conexión de la figura, Carlos logra encender el bombillo con los materiales disponibles. Explica por qué enciende el bombillo.
2. ¿Cuál es la función de la pila? ¿Cuál es la función de los alambres? Argumenta tu respuesta.
3. ¿Cómo explicas que el bombillo encienda inmediatamente?
4. Si el bombillo permanece conectado a la batería un tiempo suficiente, éste deja de iluminar, ¿cómo explicas esto?

## 10.4. ANEXO 4. ACTIVIDAD DE CONCEPTUALIZACIÓN

Universidad de Antioquia  
Facultad de Educación  
Licenciatura en Matemáticas y Física  
Espacio de conceptualización: Física de los Campos



### Actividad de conceptualización sobre la corriente eléctrica

**Objetivo:** Describir y discutir nuestras ideas sobre la naturaleza de la corriente eléctrica.

**Situación:**



Dexter está interesado en explicar cómo es el movimiento de los electrones al interior de un conductor antes y después de establecer un campo eléctrico en él. Ayuda a Dexter a describir este fenómeno.

Para ello puedes utilizar un gráfico, una analogía, un texto escrito, o cualquier otro tipo de representación. Argumenta tus ideas.

¿Puede hablarse de corriente eléctrica en ambos casos (antes y después)? Argumenta tu respuesta.



## 10.5. ANEXO 5. ACTIVIDAD EXPERIMENTAL

Universidad de Antioquia  
Facultad de Educación  
Licenciatura en Matemáticas y Física  
Espacio de conceptualización: Física de los Campos



### Actividad experimental sobre la ley de Ohm

**Objetivo:** Diseñar un montaje experimental para el establecimiento de relaciones cuantitativas entre la corriente eléctrica y factores como: El voltaje, la resistencia y la temperatura.

**Materiales:** Un tablero con bombillo de 12V, fuente de voltaje, multímetro, cables, termo cupla, tableros de resistencias, sensor de corriente.

Utilizando los materiales disponibles (u otros materiales si considera necesario) para la presente actividad experimental, se propone el desarrollo de las siguientes situaciones.

1. ¿Qué procedimiento(s) seguiría para encender el bombillo? ¿Con qué materiales? ¿Se establecería una corriente eléctrica? En caso afirmativo, explica este fenómeno.
2. Diseña un montaje experimental que permita establecer relaciones cuantitativas entre el voltaje y la corriente eléctrica (para el bombillo y el resistor). A partir de los datos obtenidos, elabora una gráfica para representar la relación entre dichas variables.
3. Después de un tiempo de establecer el voltaje tanto el bombillo como el resistor aumentan un poco su temperatura ¿A qué crees que se deba esto? Explica.
4. ¿Crees que este aumento de temperatura afecta la corriente eléctrica? ¿De qué forma?
5. Ahora, diseña un montaje experimental que permita establecer relaciones cuantitativas entre la resistencia y la corriente eléctrica. A partir de los datos obtenidos, elabora una gráfica para representar la relación entre dichas variables.
6. Elaborar algunas conclusiones referentes a la actividad realizada, describiendo las posibles causas de error en las mediciones.

## 10.6. ANEXO 6. PROGRAMA DE FÍSICA DE LOS CAMPOS

SESIÓN	ACTIVIDAD
01	UNIDAD 1: GRAVITACIÓN Presentación del programa, metodología, evaluación, Introducción. Ley de la gravitación de Newton, Superposición de Fuerza gravitacional, peso, masa y gravedad.
	Energía potencial Gravitacional-Rapidez de escape y movimiento de satélites.
	Taller: Ejercicios de gravitación (Esta actividad se realizará en el aula asignada para laboratorio)
02	UNIDAD 2: CARGA ELÉCTRICA Y CAMPO ELÉCTRICO Carga eléctrica, Conductores, aisladores y carga inducida. Ley de Coulomb. Ejercicios: Fuerza entre dos cargas puntuales. Analogía entre la fuerza eléctrica y la fuerza gravitatoria.
	Campo eléctrico y fuerza eléctrica de una carga puntual. Magnitud del campo eléctrico de una carga puntual y vector de campo eléctrico de una carga puntual. Trayectorias de cargas en un campo eléctrico uniforme. Cálculo de Campos Eléctricos producidos por distribuciones (discretas) de Cargas. Ejercicios.
	Video 1: Electricidad Estática, Conductores y Aislantes, Ley de Coulomb. (Esta actividad se realizará en el aula asignada para laboratorio)
03	Ejercicios: Campo eléctrico de distribuciones continuas de carga. Ejemplos típicos del cálculo del campo eléctrico producido por distribuciones continuas de carga.
	Líneas de Campo Eléctrico. Campo de un dipolo. Ejercicios
	Práctica Nº 1: Cargas eléctricas.
04	UNIDAD 3: LEY DE GAUSS. Carga y flujo eléctrico, Calculo del flujo eléctrico. Flujo Eléctrico a través de: un disco, un cubo y una esfera. Ley de Gauss. Previa corta.
	Aplicaciones de la ley de Gauss. Cálculo del campo eléctrico producido por distribuciones continuas de carga con alta simetría.
	Práctica Nº 2: Medida del campo eléctrico y Video 2: Campo eléctrico.

05	FESTIVO
	Cargas en conductores. Campo en la superficie de un conductor. Ejercicios.
	Clase Demostrativa: Generador electrostático - Potencial y campo eléctrico empleando placas paralelas.
06	UNIDAD 4: EL POTENCIAL ELÉCTRICO Energía Potencial eléctrica, Energía Potencial Eléctrica en un campo uniforme. Energía Potencial eléctrica de dos y varias cargas puntuales. Ejercicios.
	Potencial Eléctrico. Cálculo del potencial eléctrico debido a distribuciones de cargas discretas y continuas. ( placas paralelas con cargas opuestas, línea de carga infinita y finita
	Práctica N° 3: Líneas de Campo eléctrico.
07	PRIMER PARCIAL (20%).
	UNIDAD 5: CAPACITANCIA Y DIELECTRICOS Capacitores y capacitancia. Cálculo de la capacitancia. Capacitor de placas paralelas, capacitor esférico y cilíndrico. Capacitores en serie y en paralelo.
	Práctica N° 4: Corriente, resistencia y resistividad eléctrica Video 3. Corriente eléctrica.
08	FESTIVO
	Almacenamiento de energía en capacitores y energía de campo eléctrico. Dieléctricos y capacitores con dieléctricos. Ejercicios.
	Práctica N° 5: Leyes de Kirchhoff.
09	UNIDAD 6: CORRIENTE, RESISTENCIA Y FUERZA ELÉCTROMOTRIZ Corriente eléctrica. Velocidad de deriva y densidad de corriente. Resistividad y conductividad. Resistividad y temperatura. Resistencia. Cálculo de la resistencia. Relación entre resistencia y resistividad. Ley de Ohm. Ejercicios. Previa corta.
	Fuerza electromotriz y circuitos. Energía y potencia en un circuito eléctrico. Ejercicios.
	Resistores en serie y en paralelo. Resistencia equivalente. Reglas de Kirchhoff. Instrumentos de medidas. Ejercicios.
10	UNIDAD 7: CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTÍNUA
	SEGUNDO PARCIAL (25%)
	Circuitos RC. Carga y descarga de un capacitor. Ejercicios.

11	
	<b>UNIDAD 8: CAMPO MAGNÉTICO Y FUERZA MAGNÉTICA</b> Magnetismo y campo magnético. La fuerza magnética sobre una carga en movimiento. Líneas de campo magnético y flujo magnético. Ley de Gauss del magnetismo. Movimiento de partículas con cargas en un campo magnético. Ejercicios.
12	Fuerza magnética sobre un conductor que transporta una corriente. Fuerza y momento de torsión en una espira de corriente. Ejercicio.
	<b>UNIDAD 9: FUENTES DE CAMPO MAGNÉTICO</b> Campo magnético de una carga en movimiento. Campo magnético de un elemento de corriente. La ley de Biot y Savart. Ejercicios.
13	
14	Aplicaciones de la ley de Ampere. Ejercicios
	<b>UNIDAD 10. INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA</b> Los experimentos de inducción. La ley de Faraday- Dirección de la fem inducida. Ley de Lenz. Ejercicios.
15	Fuerza electromotriz de Movimiento. Ejercicios.
	Cálculo de una fem de movimiento. Ejercicios.
	Taller
16	<b>3<sup>er</sup> PARCIAL (25%)</b>