



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

11  
209

FACULTAD DE CIENCIAS

"ANÁLISIS DE LOS ESQUEMAS ALTERNATIVOS  
SOBRE EL CONCEPTO DE CORRIENTE ELÉCTRICA  
QUE PRESENTAN ESTUDIANTES DE NIVEL MEDIO  
SUPERIOR"

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**FÍSICO**

**PRESENTA:**  
**ENRIQUE FIERRO HERNÁNDEZ**



Director de Tesis:  
Fis. Elaine Reynoso Haynes



FACULTAD DE CIENCIAS  
SECCION ESCOLAR

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Nov. 1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule  
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la  
Facultad de Ciencias  
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis: "Análisis de los esquemas alternativos sobre el concepto de corriente eléctrica que presentan estudiantes del nivel medio superior".

realizado por FIERRO HERNANDEZ ENRIQUE

con número de cuenta 7609677-6 , pasante de la carrera de Física.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis  
Propietario

FIS. ELAINE REYNOSO HAYNES

Propietario

LIC. LUIS ROMILIO TAMBUTTI RETAMALES

Propietario

DR. ROBERTO ALEJANDRO RUELAS MAYORGA

Suplente

DR. MARCO ANTONIO MARTINEZ NEGRETE

Suplente

DRA. MA. DE LOS ANGELES ORTIZ FLORES

Consejo Departamental de Física



DR. ROBERTO ALEJANDRO RUELAS MAYORGA  
Coordinador de Licenciatura FACULTAD DE CIENCIAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis más profundos agradecimientos a la Fis. Elaine Reynoso Haynes por su amistad y por la confianza que ha depositado en mí. Por sus constantes observaciones y sugerencias que me ayudaron a mejorar este trabajo. Por la infinita paciencia que hasta el momento ha tenido conmigo.

También deseo agradecer a:

Lic. Romilio Tambutti Retamales

Dr Roberto Alejandro Ruelas Mayorga

Dr. Marco Martínez Negrete y

Dra. María de los Ángeles Ortiz Flores

por sus valiosas observaciones y comentarios a la presente tesis, los cuales le dieron mayor solidez.

Agradezco al Dr. Rubén Barrera por sus agudas observaciones y por el interés que mostró por el desarrollo del tema. También agradezco a la Dra. Matilde Vicentini-Missone por sugerir la línea de trabajo para el desarrollo del tema.

Le doy gracias a la Biol. María de la Paz Salgado Arteaga por las valiosas correcciones de estilo y por su constante preocupación por el feliz término de la tesis. Sobre todo le doy las gracias por su amistad.

A mi padre, que apesar de su escasa instrucción académica ve como útil la labor que desempeño.

Con especial gratitud a mi querida Laura Rivera G. por el cariño y comprensión que me ha dado.

Agradezco a mis amigos y familiares por su constante apoyo.

# ÍNDICE

	pág.
Introducción	...i
Capítulo I	
Modelos científicos utilizados durante el desarrollo del conocimiento	
1.1 La historia de la Ciencia como herramienta didáctica	...1
1.2 Un enfoque sobre la historia de la Ciencia	...2
1.3 La electricidad durante la Grecia Clásica	...2
1.4 Fluido eléctrico	...3
1.5 Dos tipos de corriente electrostática: vítrea y ambarina	...3
1.6 Modelo de corrientes: positiva y negativa	...4
1.7 Primeras mediciones de la electricidad	...5
1.8 Electricidad animal	...7
1.9 La pila voltaica	...8
1.10 Efectos magnéticos de la electricidad	...9
1.11 Alambres paralelos que se atraen y se repelen	...10
1.12 La resistencia de los materiales conductores de la corriente eléctrica	...12
1.13 Electricidad constituido de partículas	...14
1.14 El descubrimiento del electrón	...15
1.15 Algunas sugerencias didácticas	...18
Capítulo II.	
Marco Teórico	
2.1 Aspectos a tomar en cuenta en el proceso enseñanza aprendizaje	...20
2.2 La importancia de la estructura mental en el proceso enseñanza aprendizaje	...21
2.3 La importancia del conocimiento previo y su relación con el proceso enseñanza aprendizaje.	...24
2.4 Teoría de los esquemas alternativos.	...28
2.5 El cambio conceptual	...29
2.6 Una herramienta para la evaluación	...33

## Capítulo III

### Esquemas alternativos sobre corriente eléctrica

3.1 Esquemas alternativos sobre corriente eléctrica reportados en la literatura	...38
3.2 Diseño del instrumento de investigación para conocer los esquemas alternativos sobre corriente eléctrica en estudiantes mexicanos.	...44
3.3 Metodología	...47
3.4 Resultados y análisis de resultados	...49
3.4-i Análisis de los resultados del cuestionario # 2	...58
3.4 Análisis comparativo entre los modelos históricos, los esquemas alternativos reportados en la literatura y los obtenidos en estudiantes mexicanos.	...60

## Capítulo IV

Conclusiones	...63
Bibliografía	...70
Apéndice	...76

# INTRODUCCIÓN

En la historia de la humanidad ha habido muchos intentos por tratar de explicar el proceso mediante el cual los individuos adquieren el conocimiento. Por ejemplo, Aristóteles supuso que los sujetos nacían con sus mentes como tabula rasa, o sea, pizarrones en blanco, y que el conocimiento se desarrollaba cuando el sujeto reconocía sensaciones básicas, como sonidos, visiones, olores, sensaciones de frío y calor, que al unirlas unas con otras se construían ideas complejas.

Platón, por su parte, pensó que el aprendizaje del sujeto era una ilusión, un no recordar lo que se encontraba en la mente. Las experiencias adquiridas por cada individuo durante su vida, según Platón, solo sirven para obscurecer y confundir los intentos que hace la mente por recordar (Hulse, *et al*, 1982). Los resultados que se han obtenido, si no nos dan respuestas satisfactorias sobre cómo aprende el sujeto, nos han acercado a la comprensión de tan complicado proceso.

Comprender los mecanismos que sigue el individuo para adquirir conocimiento, nos sirve como base para el diseño de actividades o estrategias didácticas que facilite este proceso.

Una de las corrientes más importantes en la enseñanza de la ciencia hoy en día es el constructivismo, que se basa en la idea de que los individuos construyen su conocimiento de acuerdo a su nivel de madurez biológica e intelectual y como resultado de su interacción con el medio natural, social y cultural en el cual se encuentra inmerso.

Las experiencias o ideas previas a la enseñanza formal de los sujetos sobre un determinado tema, están muy arraigadas en la mente de ellos por lo que son difícil de modificar y con frecuencia no coinciden con los modelos aceptados por la comunidad científica.

Conocer cómo los estudiantes estructuran su conocimiento, así como las ideas previas que tienen sobre un determinado tema, es importante porque éstas serán la base para interpretar y entender muchas experiencias y/o nuevos conocimientos.

Con base en la teoría del constructivismo, se ha supuesto que los alumnos del Nivel Medio Superior poseen ideas previas sobre los conceptos relacionados con la corriente eléctrica, con los que ya en algún momento de sus vidas han estado en contacto, puesto que ellos han utilizado equipos electrodomésticos tales como: televisores, planchas, baterías, lavadoras, etc.

Para saber qué ideas poseen los alumnos de Nivel Medio Superior y cómo influyen en la mente de los alumnos durante el proceso enseñanza-aprendizaje, es necesario analizar el contenido de tales ideas.

Para analizar el contenido de las ideas previas a la enseñanza formal sobre corriente eléctrica de los alumnos de Nivel Medio Superior, se ha procedido de la siguiente manera:

- En el Capítulo I del presente trabajo de tesis se hace una reseña histórica de la evolución del concepto de Corriente Eléctrica, que va desde la Grecia Clásica hasta el descubrimiento del electrón con el fin de analizar las principales dificultades intelectuales de la comunidad científica del pasado. Conocer las dificultades intelectuales de los científicos del pasado y saber como fueron superadas estas dificultades, nos permite entender por qué a los alumnos les es difícil aprender los conceptos científicos que se les transmiten en el aula (Piaget, 1993).

- En el Capítulo II se presenta el Marco Teórico en el campo de la investigación educativa en el que se basa este trabajo. En él se muestran las ideas más sobresalientes de investigadores del tema, que van desde la teoría epistemológica de Jean Piaget, hasta la teoría constructivista del cambio conceptual. Los investigadores que apoyan la teoría del cambio, muestran una preocupación porque los alumnos asimilen los conceptos que se les transmiten en el aula.

- En el Capítulo III se muestran las ideas previas sobre la corriente eléctrica que se reportan en la literatura y se muestra la metodología empleada para conocer las ideas previas que poseen los alumnos de Nivel Medio Superior sobre los conceptos de electricidad. Se hace un análisis comparativo entre los esquemas reportados en la literatura con los esquemas que se encontraron en los alumnos de Nivel Medio Superior y con los modelos científicos que se usaron en el pasado.

- En el Capítulo IV se muestra la utilidad de conocer las ideas previas de los alumnos y las ventajas de desarrollar el curriculum, con base en estas ideas previas. Se presenta una propuesta para un curso teórico-experimental para enseñar el tema de corriente eléctrica, con el enfoque planteado.

Se comparan los resultados obtenidos en cuanto al grado de comprensión del tema, entre alumnos que llevaron un curso como el propuesto y alumnos que llevaron un curso tradicional.

Por último, se hace un análisis comparativo entre los modelos históricos del pasado, de las ideas previas reportados en la literatura y las ideas previas encontradas en los estudiantes de Nivel Medio Superior y Superior. También se

discuten algunas propuestas y/o sugerencias para la enseñanza del tema, con base en los resultados obtenidos durante la realización de este trabajo.

# CAPÍTULO I

## MODELOS CIENTÍFICOS UTILIZADOS DURANTE EL DESARROLLO DEL CONOCIMIENTO.

### 1.1 LA HISTORIA DE LA CIENCIA COMO HERRAMIENTA DIDÁCTICA.

La Historia de la Ciencia no sólo es un elemento básico de la cultura científica general de los individuos, sino también puede llegar a ser un apoyo importante para la enseñanza de la ciencia.

Es frecuente observar que los estudiantes, cuando tratan de dar explicaciones sobre el porqué de ciertos fenómenos naturales, tienden a reproducir parcialmente modelos científicos del pasado (James, 1986). Por ejemplo, Gilbert en 1600 explicaba que la atracción del ámbar se debía a el effluvio o fluido eléctrico, el cual era generado al producir fricción entre el ámbar y una piel de gato. Alumnos entre 6 y 17 años explican, respecto a la atracción de los imanes, que el imán atrae a otros cuerpos porque ya ha sido frotado y permanece caliente, mientras que los cuerpos que no atraen materiales no han sido frotados por lo que no tienen calor que produzca el magnetismo (Nardi, 1994).

Debido a la similitud entre las ideas de los alumnos y los modelos científicos del pasado, Piaget propuso la existencia de un paralelismo entre las explicaciones que dan los alumnos y modelos científicos del pasado (Piaget, 1993). Saltiel y Viennot reconocen que la historia de la ciencia puede

proporcionarnos una mejor idea de cómo los alumnos interpretan determinados fenómenos de la naturaleza (Serrano, 1988) y cual es su interés en buscar sus respuestas.

## **1.2.- UN ENFOQUE SOBRE LA HISTORIA DE LA CIENCIA.**

Cuando se estudia ciencia en el aula, por lo general se da una gran cantidad de información científica pero nunca se ofrece una educación para la misma (Usabiaga, 1982). Pocas veces se discute cómo los conocimientos científicos influyen en su vida diaria, no sólo como la aplicación de estos para simplificar ciertas tareas u optimizar recursos de la naturaleza sino para entender casi todo lo que nos rodea. Por otro lado tampoco se hace una reflexión sobre cómo se hace la ciencia, por lo cual el alumno se queda con la impresión de que la ciencia es una colección de datos obtenidos por científicos en una forma lineal y como consecuencia de la aplicación de un método que se ha denominado "método científico" (Barrera, et al., 1982).

No se discute que la ciencia es un producto de una comunidad científica que está inmersa en una sociedad que influye en esa comunidad. Tampoco se menciona el carácter evolutivo de la ciencia que se refleja en la modificación o sustitución de sus modelos explicativos a lo largo del desarrollo de la misma (Gil, et al., 1992).

En el presente Capítulo se muestra la evolución de las ideas y modelos relacionados con el concepto de corriente eléctrica desde la época de la Grecia Clásica hasta nuestros días. Se discute la influencia que han tenido estas ideas científicas de otras épocas en las explicaciones académicas actuales. Por último, se sugiere como se pueden utilizar las ideas de otras épocas para enseñar el tema.

## **1.3.- LA ELECTRICIDAD DURANTE LA GRECIA CLÁSICA.**

Los filósofos griegos, de la Grecia Clásica, al referirse a algunos fenómenos naturales, muchas veces sólo se limitaron a describirlos, en particular a los fenómenos eléctricos. Este es el caso de Tales de Mileto (1600 A.C.), que observó que al frotar un material llamado ámbar con piel de gato atraía objetos livianos como hojas secas o paja (Halliday, et al., 1980 <sup>1</sup>). Sin embargo, también algunos llegaron a proponer modelos para entender la naturaleza y la constitución de la materia como es el caso de Demócrito y Leucipo. En este

---

<sup>1</sup> ver pág. 953

modelo se consideraba que la materia estaba compuesta de partículas indivisibles a las que llamaron átomos, los cuales debían permanecer en continuo movimiento.

El modelo atómico de Demócrito y Leucipo no fue muy popular en la Grecia Clásica, pero después de dos mil años se volvió a considerar el modelo (Cruz, *et al*, 1987)

#### **1.4.- FLUIDO ELÉCTRICO.**

A principios del Renacimiento (Bernal, 1975; Whittaker, 1958; Papp, 1961; León, 1987; Mieleaf, 1977; Halliday, *et al*, 1980) se retomó lo hecho por los Griegos, lo que sirvió como base a los nuevos modelos científicos.

Durante esta etapa, imperaba la idea de que el cuerpo humano poseía fluidos como: humedad, flema, sangre, cólera y melancolía, los que determinaban el comportamiento humano (Whittaker, 1958,<sup>2</sup>). Gilbert (1540-1603), médico inglés de la Reina Isabel I, y sus contemporáneos, bajo la influencia del pensamiento dominante de su época, pensaron que el ámbar por ser transparente debía poseer un fluido muy especial al que llamaron efluvio o fluido eléctrico. Según ellos el efluvio, que tenía la propiedad de atraer objetos livianos, se desprendía del ámbar por el calor generado por la fricción, producida en el ámbar al frotarlo con la piel de gato (Nardi, 1994).

A partir de este momento y hasta principios de 1900, "la corriente eléctrica" fue considerada en el medio científico como un fluido.

#### **1.5 DOS TIPOS DE CORRIENTE ELÉCTRICA : VÍTREA Y AMBARINA.**

Para los científicos del siglo XVIII la electricidad se usaba sólo como juego y los intelectuales de este siglo gustaban de hacer espectáculos, a los que asistían grupos muy selectos de las comunidades europeas. Hasta entonces no le habían encontrado ninguna otra utilidad, ni expresado en términos matemáticos (Bernal, 1975<sup>3</sup>).

No obstante, el francés Du Fay de Cisternay (1698-1739) observó que además del ámbar, el vidrio también se electrizaba y que ambos materiales electrizados se atraían.

Du Fay pensó que dado el comportamiento de estos materiales, debía haber dos tipos de electricidad: la vítrea y la ambarina, clasificación aún válida en

---

<sup>2</sup> ver pág. 35

<sup>3</sup> ver pág. 280.

nuestros días, sólo que a estas electricidades las conocemos como positiva y negativa, respectivamente.

Du Fay influido por el pensamiento de su época, pretendió almacenar en una botella el fluido eléctrico como si fuera agua. Al no lograr su objetivo, supuso que el fluido se evaporaba lentamente (León, 1987<sup>4</sup>).

Von Kleinst, observó que podía producir una descarga eléctrica de gran intensidad, con tan sólo colocar un "clavo" en el tapón de la botella de vidrio, similar a la que había usado Du Fay. Von Kleinst supuso que el fluido eléctrico se encontraba en la botella y que cuando se acercaba la parte saliente del clavo a otra pieza metálica el fluido salía bruscamente (León, 1987).

Posteriormente Peter Von Musschenbroek de Leyden realizó el mismo experimento, sólo que él hizo las veces de clavo (Bernal, 1975). Durante la experiencia, sostuvo con una mano la botella que estaba siendo cargada por frotamiento y tocó accidentalmente una barra metálica con la otra mano por lo cual recibió una descarga eléctrica. Musschenbroek reportó que había almacenado el fluido eléctrico y que el fenómeno era reproducible y controlable (Bernal, 1975<sup>5</sup>).

De lo que no se dio cuenta Musschenbroek durante el accidente, es que cerraba un circuito, razón por la que pudo circular la corriente a través de su cuerpo. De haberlo notado, hubiera dado inicio una nueva etapa del estudio de la electricidad: la electrodinámica. No obstante, su experimento fue muy importante para seguir estudiando la electricidad y sentar las bases para la fabricación de la pila eléctrica.

A partir de ese momento la electricidad fue estudiada en forma sistemática. Mientras unos se dedicaban a repetir los experimentos, otros estudiaban teorías que pudieran explicar los fenómenos eléctricos.

## **1.6.- MODELO DE CORRIENTES: POSITIVA Y NEGATIVA**

Benjamín Franklin (1706 - 1790), quien tuvo contacto con los científicos de la Royal Society, consideró que no eran apropiados los nombres de los tipos de electricidad propuestos por Du Fay e introdujo los términos positivo y negativo: "llamaremos arbitrariamente electrificación positiva a la de cualquier cuerpo que sea repelido por una varilla de vidrio que ha sido frotado con seda y llamaremos electrificación negativa a la de cualquier cuerpo que sea repelido

---

<sup>4</sup> ver pág. 14

<sup>5</sup> ver pág. 282

por cera de sello que ha sido frotado con pelo de gato" (Bernal, 1975; Mileaf, 1977, Milikan, 1992<sup>6</sup>).

Para explicar el comportamiento eléctrico de los materiales Franklin consideró que existía un fluido eléctrico constituido por "partículas" extremadamente pequeñas, las cuales se desplazaban por la superficie de los materiales sin encontrar resistencia (Whittaker, 1958).

Según Franklin el fluido eléctrico no se creaba por el frotamiento, sino que se transfería de un cuerpo a otro. Es decir, la electricidad "obtenida" por un cuerpo A, después de haber sido frotado, debía ser exactamente igual a la electricidad "perdida" por el cuerpo B. Por lo tanto la cantidad total de electricidad debía ser invariable. De este modo, Franklin propuso lo que hoy conocemos como el principio de conservación de la carga (Whittaker, 1958).

Cuando los materiales eléctricos, como el vidrio, eran frotados con seda obtenían un exceso de fluido eléctrico quedando eléctricamente positivos; mientras que la seda permanecía eléctricamente negativa, debido a la pérdida de fluido eléctrico (Milikan, 1992).

La influencia de lo propuesto por Franklin, no se hizo esperar, pues Franz Ulrich Theodoro Aepinus (1724 - 1802) supuso que existía una fuerza entre las partículas del fluido eléctrico. El sacerdote Priestley (1733 - 1804) al hacer una analogía con la ley de la fuerza gravitacional, propuesta por Isaac Newton, pudo inferir la ley del cuadrado inverso para el fluido eléctrico, poco antes de que Coulomb realizara su famoso experimento (Whittaker, 1958; Halliday, et al., 1980).

### **1.7.- PRIMERAS MEDICIONES DE LA ELECTRICIDAD.**

El ingeniero francés Charles Augusto Coulomb (1736 -1806) de sus experiencias en ingeniería, enunció la ley sobre fuerzas de torsión en alambres metálicos.

La relación deducida por Coulomb expresada en la ecuación (1) establece que la fuerza de torsión (F) es igual al producto del ángulo de torsión ( $\Theta$ ) por la cuarta potencia del diámetro (D) del material e inversamente proporcional a su longitud (l). La constante de proporcionalidad (K) depende de la naturaleza del material (Desiderio, 1961<sup>7</sup>).

---

<sup>6</sup> La Antología de Física, es una colección de obras científicas, como la de Milikan, con las cuales se pretende apoyar a los profesores de nivel medio superior.  
ver pág. 357

$$F = k \frac{\Theta D^4}{l} \quad (1)$$

Coulomb presentó sus resultados ante la Academia Francesa de Ciencias, donde expuso que mediante el uso de la fuerza de torsión, era posible medir fuerzas más pequeñas, mediante una balanza eléctrica.

La balanza eléctrica, que se muestra en la figura 1, consistía de un cilindro de vidrio de 30 cm de diámetro y 30 cm de alto. El cilindro estaba cubierto por un disco de vidrio de 32.5 cm, en medio del cual se encontraba colocado un tubo de vidrio de 60 cm de alto. En la parte terminal del tubo se encontraba una subdivisión de 360 grados. De la aguja indicadora de grados se encontraba suspendido un hilo de plata muy delgado, del cual a su vez en el otro extremo se encontraba suspendida una aguja con una bola pequeña de médula de saúco. Frente a la esferita se encontraba suspendida de una varilla rígida, otra esferita del mismo material.<sup>8</sup>

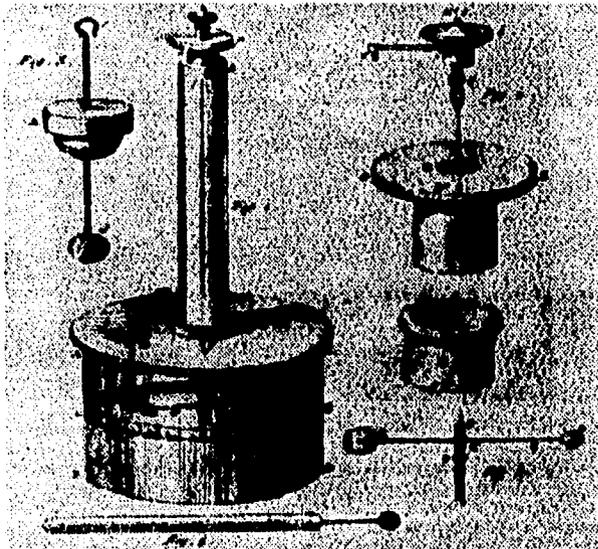


Fig. 1 Balanza de torsión de Coulomb, del dibujo original del trabajo sobre las fuerzas eléctricas (Histoire et Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, 1785)

<sup>8</sup> Desiderio Papp describe , Historia de la Física págs. 357 a 359, con gran detalle la balanza electrostática que Coulomb presentó a la Academia Francesa de Ciencias en 1784.

El experimento que ideó Coulomb, consistió en electrizar las dos esferitas de saúco. Cuando las esferitas electrizadas interactuaban, el hilo metálico se torcía. La torsión se registraba sobre el disco superior subdividido en grados.

De los resultados experimentales, Coloumb pudo enunciar la ley de repulsión eléctrica entre las esferitas, expresada en la ecuación (2), la cual enunció de la siguiente manera: "la repulsión eléctrica" (F) entre las dos esferas cargadas con la misma clase de electricidad, se encuentra en razón inversa de los cuadrados de la distancia (r) entre los centros de las esferas" (Desiderio, 1961<sup>9</sup>)

$$F \propto \frac{1}{r^2} \quad (2)$$

Más tarde, en una segunda memoria, Coulomb apoyado en la especulación de que la ley electrostática era análoga a la ley de gravitación de Newton y después de haber notado, mediante el experimento, que la fuerza de interacción disminuía al "repartir" por contacto el fluido eléctrico entre las esferitas, extendió la ley de repulsión a la atracción entre los fluidos eléctricos (Whittaker, 1958; Arons, 1970), expresada en la ecuación 3.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (3)$$

donde

$q_1$  y  $q_2$  representan las esferitas electrizadas.

r la distancia entre las esferas.

k es una constante

F la fuerza de repulsión o atracción entre las esferas electrizadas.

Hasta la última década del siglo XVIII los estudiosos de la electricidad sólo se ocuparon del desarrollo de la electrostática. Pero a principios del siglo XIX, influenciados por los resultados antes señalados su atención tomó otra dirección.

## 1.8.- ELECTRICIDAD ANIMAL

A finales del siglo XVIII era común generar el fluido eléctrico por frotamiento. No obstante, ya se tenían registradas otras formas de generarlo.

---

<sup>9</sup> ver pág. 360

Franklin probó que los rayos tienen las mismas propiedades que los fluidos eléctricos. También se sabía que algunos animales, como el pez torpedo y la anguila podían producir descargas eléctricas. Y se llegó a pensar que el comportamiento eléctrico se podía explicar con las leyes de Newton. Pero algo sorprendente ocurrió, una electricidad diferente a la conocida hasta ese momento fue descubierta, la electricidad animal.

El médico italiano Luis Galvani al estudiar la fisiología de la rana, dejó sobre la mesa una rana disecada y preparada cerca de una máquina eléctrica. Cuando uno de sus ayudantes tocó por casualidad los nervios crurales con un escalpelo, todos los músculos de las patas de la rana se contrajeron bruscamente. Galvani en su diario de laboratorio escribió el 20 de noviembre de 1786, (Usabiaga, et al., 1982; Bernal, 1975; Arons, 1970): "Las patas de rana<sup>10</sup> sujetas con un gancho a la reja de hierro del jardín de mi casa, experimentaban convulsiones, no sólo durante las tormentas sino también algunas veces cuando el cielo se encontraba completamente sereno".

Galvani reprodujo varias veces el experimento, ya que él decía: "es fácil engañarse e imaginar ver lo que se quiere ver" (Desiderio, 1961; Aguilar, 1988; Usabiaga, et al., 1982). Así, llegó a pensar que las contracciones se debían a la electricidad atmosférica que había penetrado lentamente en el animal, acumulándose en él (Usabiaga, et al., 1982<sup>11</sup>).

Finalmente Galvani propuso que los cuerpos de los animales muertos debían contener un tipo de electricidad, a la que llamó electricidad animal (Usabiaga, et al., 1982; Desiderio, 1975). A pesar de que la explicación no era correcta, Galvani sin saberlo había encontrado una pila rudimentaria; fue la primera pila eléctrica.

Las conclusiones de Galvani fueron estudiadas ampliamente por otros científicos y de esos estudios se obtuvieron nuevos resultados sobre electricidad

## 1.9.- LA PILA VOLTAICA

El físico italiano Alejandro Volta después de haber analizado distintos materiales y sustancias, auxiliado de la teoría de Franklin, llegó a comprender que la "electricidad animal" era generada por los metales de los instrumentos

---

<sup>10</sup> Desiderio en la pág. 364 menciona que Galvani había disecado y preparado una rana, si a esta se le tocaban los nervios crurales internos con la punta de un escalpelo las patas de la rana se contraían continuamente. El suceso ocurrió durante una investigación sobre electricidad de Galvani.

<sup>11</sup> ver pág. 33.

que se encontraban en contacto con los líquidos celulares de las ancas de rana (Usabiaga *et al.*, 1982).

De su análisis Volta, en 1800, presentó al Presidente de la Real Sociedad de Londres un conjunto apilado de pequeñas placas de plata y zinc alternadas, rodeadas por un cuero humedecido con agua salada. Al conjunto de placas metálicas fue llamado "pila voltaica" (Desiderio, 1975; Aguilar, 1988). La pila voltaica era fascinante, puesto que con ella se podían producir chispas eléctricas en forma continua, sin tener que frotar los objetos, además de que funcionaba por mucho tiempo (García, 1988, pág.56).

En 1811, Volta presentó la pila eléctrica a Napoleón Bonaparte. Como lo dejó gratamente sorprendido, Bonaparte le otorgó una medalla de oro en reconocimiento a su trabajo e instituyó un premio de 1600 francos para aquel que diera a la ciencia un impulso análogo al que habían dado Franklin y Volta. Napoleón, durante su imperio mostró gran interés por el desarrollo de la ciencia, lo cual posiblemente influyó en el desarrollo científico de la época.

## **1.10.- EFECTOS MAGNÉTICOS DE LA ELECTRICIDAD**

Los logros científicos no siempre se dan dentro de un laboratorio. Este fue el caso del danés Hans Christian Oersted (1777-1851), quien al impartir una clase sobre galvanismo y magnetismo se dio cuenta que la aguja de una brújula se desviaba ligeramente, cuando los alambres de un circuito eléctrico cerrado se encontraban encima, debajo o a los lados de la brújula (Desiderio, 1975; Whittaker, 1958).

Después de repetir el experimento tantas veces como fue posible, Oersted y su colaborador Esmarch concluyeron que el movimiento de la brújula se debía a que la corriente eléctrica podía inducir magnetismo en pedazos de hierro de la misma forma en que lo hace un imán ordinario (Desiderio, 1975; Arons, 1970)

Oersted observó que la aguja imantada estaba sujeta a un patrón sistemático de fuerzas ante la presencia de un alambre donde circula corriente eléctrica (ver fig. 2). Él sabía que la aguja imantada siempre apuntaba hacia el norte (ver fig. 2 a), pero observó que si colocaba un alambre con corriente eléctrica con dirección S a N arriba de la aguja, la aguja se desviaba hacia el oeste (ver fig. 2 b). Cuando el alambre se colocaba por abajo de la aguja se desviaba hacia el este (ver fig. 2 c) y cuando la aguja imantada era pivotada de manera que podía girar libremente en un plano vertical (ver fig. 2d), se desviaba hacia abajo cuando estaba colocada a la derecha del alambre y hacia arriba cuando era colocada a la izquierda del alambre. Oersted dedujo que el magnetismo generado por la corriente eléctrica debía tener un patrón circular, es decir debía

encontrarse alrededor del alambre (Whittaker, 1958; Arons, 1970; Desiderio, 1975).

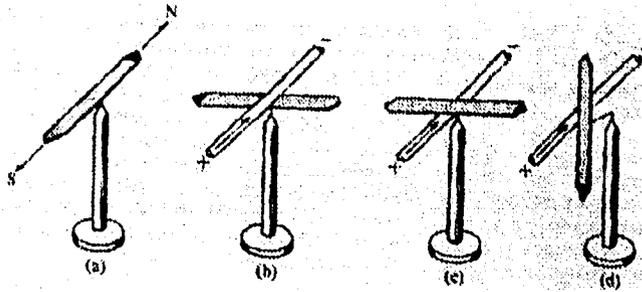


Fig. 2 (a) La brújula se orienta en dirección N a S. (b) Si un alambre porta corriente condirección N a S y es colocado arriba de la guja, esta se desvía hacia el oeste. (c) Si el alambre es colocado por debajo de la aguja, esta es desviada hacia el oeste. (d) Si la aguja gira libremente en un plano vertical, la aguja es desviada hacia abajo o hacia arriba cuando es colocada a la derecha o izquierda del alambre con corriente eléctrica.

Aún cuando los resultados de Oersted eran cualitativos, causaron gran sensación en el medio científico e influyeron en trabajos de investigación posteriores.

#### 1.11.- ALAMBRES PARALELOS QUE SE ATRAEN Y SE REPELEN.

El 18 de septiembre de 1820, una semana después de que Oersted publicara sus trabajos, André Marie Ampère en una reunión de la Academia Francesa de Ciencias, presentó un experimento donde mostraba que dos alambres paralelos se atraían mutuamente cuando circulaba corriente eléctrica en la misma dirección y que cuando las corrientes llevaban direcciones opuestas, los alambres se repelían (Whittaker, 1958). A continuación se cita un fragmento del informe:

“Coloqué en dirección paralela , dos partes rectas de dos alambres conductores uniendo los extremos de dos pilas voltaicas. Un alambre estaba fijo y el otro suspendido sobre puntos; muy sensible al movimiento por medio de un contrapeso, podía alejarse o acercarse oscilando desde el primer alambre mientras que permanecía paralelo a él. (ver fig. 2) Entonces observé, que cuando hacía pasar una corriente de electricidad al mismo tiempo en ambos alambres , se atraían uno contra otro cuando las corrientes fluían en la misma dirección y se repelían cuando éstas tenían direcciones opuestas.” (Arons, 1970, pág., 549)

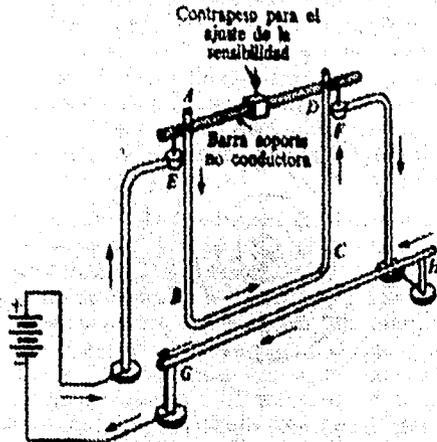


fig. 3 Diagrama esquemático de Ampère. El marco de el alambre conductor ABCD descansa sobre puntos metálicos sumergidos en pequeños vasos de mercurio (E y F) y es libre de oscilar como péndulo. La sensibilidad se ajusta levantando o bajando el contrapeso. Cuando la corriente fluye en la dirección indicada por las flechas, el conductor estacionario GH repele al conductor BC y el marco oscila alejándose de GH. El ángulo de desviación del marco de su posición vertical inicial es una medida de la fuerza repulsiva.

Ampère aclaró que la repulsión o atracción entre corrientes eléctricas era esencialmente diferente a la de los efectos producidos por la electricidad electrostática. Un primer argumento era que el efecto de atracción o repulsión entre los alambres dejaba de observarse tan pronto como se abría el circuito. En segundo lugar en la atracción y repulsión electrostática se observa que cargas iguales se repelen y cargas opuestas se atraen. Efecto contrario al que ocurre entre los alambres de un circuito con corrientes eléctrica con la misma dirección.

A la relación que existe entre los efectos de la corriente eléctrica y el magnetismo Ampère le llamó electrodinámica (Whittaker, 1958<sup>12</sup>). La expresión matemática <sup>13</sup> con la cual se puede obtener la intensidad magnética generada por la corriente eléctrica que circula en un circuito cerrado se muestra en la ecuación (4)

$$B = i \int \frac{1}{r^3} [ds' \cdot r] \quad (4)$$

donde

<sup>12</sup> ver pág. 84 y 85

<sup>13</sup> Whittaker en las pág. 85, 86 y 87 deducen con mayor detalle la relación de la intensidad magnética debido a la corriente eléctrica.

**B** es la intensidad del campo magnético.  
**i** es la corriente que circula en el circuito.  
**ds'** un elemento del circuito.  
**r** la distancia entre los alambres.

De esta manera Ampère explica cuantitativamente lo observado por Oersted y por que los alambres se repelían.

## 1.12.- LA RESISTENCIA DE LOS MATERIALES CONDUCTORES DE LA CORRIENTE ELECTRICA

Antes de que Volta presentara su pila, cualitativamente ya se sabía que distintos materiales eran buenos o malos conductores de la electricidad. Cavendish , en 1770, para comparar la conductividad de los metales y líquidos descargaba una botella de Leyden a través de su cuerpo y un conductor. Él, ajustaba en la botella cargada, las longitudes de diferentes conductores hasta que sentía un choque eléctrico de la misma intensidad. Cavendish tomó a las longitudes como una medida directa de la conductividad de los materiales (Arons, 1970).

El químico inglés Humphry Davy (1778 - 1829), durante sus estudios sobre la conductividad relativa de los alambres metálicos, tuvo el cuidado de medir la longitud, el peso y el área de los materiales que usaba en sus investigaciones, lo que le permitió deducir que la conductividad ( $\gamma$ ) de un alambre (ver ecuación 5) de cualquier material era inversamente proporcional a la longitud ( $l$ ) y directamente proporcional al área ( $A$ ) del material (Whittaker, 1958).

$$\gamma \propto \frac{A}{l} \quad (5)$$

También concluyó que las corrientes voltaicas pasan a través del cuerpo del alambre conductor y no a lo largo de la superficie como lo había supuesto Franklin.

Para entonces los investigadores ya se habían dado cuenta de que la corriente en un circuito, dependía no solo de los conductores sino que también de la fuente del voltaje.

En 1822 Thomas Johann Seebeck (1770 - 1831) de Berlín, descubrió que se podía generar una corriente eléctrica en un circuito de metales, sin la interposición de líquidos, sólo por un cambio de temperatura entre ellos. El

circuito termo-eléctrico de Seebeck consistía de un anillo, mitad de cobre y mitad de bismuto, soldado en las uniones del anillo. Para generar corriente eléctrica en el circuito era necesario colocar una flama en la unión del anillo. Este fenómeno permitió a los químicos franceses Antoine-Francois de Fourcroy, Louis-Nicolas Vauquelin y Louis -Jacques Thénanard construir pilas "secas" con discos grandes o pequeños. Con ellas se obtenían corrientes eléctricas débiles pero continuas y altamente estables ((Whittaker, 1958; Arons, 1970).

El alemán George Simon Ohm (1787 -1854), conocedor de los resultados experimentales de sus antecesores, se propuso hacer medidas precisas de la cantidad de corriente eléctrica generada por las baterías de los químicos franceses usando conductores de diferentes longitudes. Para lograr su objetivo, Ohm construyó un galvanómetro, en el cual usó circuitos termo-eléctricos para mejorar la sensibilidad de los galvanómetros que se conocían en la época. De esta manera pudo medir el momento de fuerza ejercida sobre la aguja del galvanómetro para diferentes corrientes en el alambre.

Ohm encontró que el momento de fuerza ( $\Gamma$ ) sobre la aguja podía representarse por la ecuación (6) (Arons, 1970).

$$\Gamma = \frac{a}{b + x} \quad (6)$$

En donde

$\Gamma$  el momento de fuerza

$a$  y  $b$  son constantes y

$x$  representa la longitud del alambre de cobre.

Ohm al cambiar la temperatura en la unión del circuito-termoeléctrico del galvanómetro notó que el valor de  $b$  permanecía constante, pero que el valor de  $a$  se alteraba en proporción directa a la diferencia de la temperatura.

Ohm supuso que la cantidad  $R = b + x$  representaba la medida directa de la resistencia total del circuito. Para explicar el comportamiento de  $a$ , tomó en cuenta la teoría analítica de la conducción del calor en sólidos de Fourier. La teoría aceptaba que la velocidad de flujo del calor a través de un trozo de material es directamente proporcional a la diferencia de la temperatura entre los extremos del material. Así que Ohm consideró que  $a$  representaba la diferencia de temperatura (Whittaker, 1958; Arons, 1970).

Aproximadamente veinte años después, Kirchhoff demostró que el valor de  $\underline{a}$  era la magnitud de la diferencia de potencial (V), de tal manera que la ecuación empírica (7) de Ohm se expresa como.

$$I = \frac{\Delta V}{R} \quad (7)$$

donde I es la corriente que circula en el circuito

V la diferencia de potencial y

R la resistencia o conductividad de los materiales

En honor a la importancia de las investigaciones la ecuación (7) se llama ley de Ohm, a pesar de que Ohm no dio la interpretación completa de su significado y no vio la relación entre su parámetro  $\underline{a}$  y el concepto electrostático de diferencia de potencial.

### 1.13.- ELECTRICIDAD CONSTITUIDA DE PARTÍCULAS.

Michael Faraday (1791-1867), aún sin instrucción universitaria, llegó a ser un físico y químico distinguido gracias a que a menudo asistía a las conferencias dictadas en la "City Philosophical Society" de Inglaterra y a su interés por la lectura de temas científicos. Faraday escribió: "especialmente me ayudaron la lectura de la Enciclopedia Británica donde obtuve mis primeras nociones sobre la electricidad y las conversaciones sobre química con la Sra. Janet Marcet, quien me diera mi fundamentación en la ciencia" (Whittaker, 1958).

Faraday, después de haber escuchado una conferencia de Mr. Davy, envió a éste un resumen de la conferencia en el cual anexaba una solicitud de trabajo. El resumen impresionó tanto a Davy que lo aceptó como ayudante y secretario a la vez (Díaz, *et al.*, 1982).

Desde ese momento Faraday tuvo contacto con los científicos más destacados de Europa. Entre los científicos europeos se encontraba Alejandro Volta (Díaz, *et al.*, 1982), quien le sugirió que iniciara sus estudios en el campo del electromagnetismo, pues en dicho campo existían muchas cosas sorprendentes.

Faraday, sin duda, llegó a ser uno de los hombres que más contribuyó al estudio del electromagnetismo, ya que además de proponer la existencia de campos eléctricos y magnéticos y de mostrar que por medio del magnetismo se podía producir electricidad, pudo unificar los diversos conceptos sobre corriente eléctrica que se conocían en ese momento: electricidad animal o fisiológica, magnética, luminosa, calorífica o termo-electricidad, química o

voltaica y la mecánica o por fricción (Halliday, 1980; Whittaker, 1958). Sin embargo, la electricidad generada por fricción y la voltaica seguían produciendo conflictos, debido a que la corriente por fricción es un fenómeno superficial, mientras que la electricidad voltaica se conduce en el interior del cuerpo.

Faraday al analizar los distintos comportamientos de la corriente eléctrica, tanto en metales como en líquidos, dedujo que ésta debía transferirse de un material a otro en cantidades discretas o múltiplos de un valor mínimo, sin importar que fuera en la superficie o en el interior del material (Cetto, et al. 1989). Faraday, al conciliar las diferencias entre la corriente voltaica y la de fricción, supuso que las responsables de la corriente eléctrica debían ser partículas y no fluidos como hasta ese momento se continuaba suponiendo.

La propuesta de Faraday al igual que la de Franklin, Demócrito y Leucipo, era atrevida, pues aún no se sabía nada sobre las partículas subatómicas.

#### **1.14.- EL DESCUBRIMIENTO DEL ELECTRÓN**

Faraday, tal vez influenciado por el químico inglés Davy, aceptó la existencia de partículas eléctricas. Convencer al resto de los investigadores de mediados del siglo XIX, que la materia estaba compuesta por partículas (Halliday, et al. 1980), no fue tarea fácil, puesto que encontró opiniones adversas como la de Maxwell.

Maxwell, matemático y físico escocés, logró establecer las ecuaciones que resumían los diferentes fenómenos de electricidad y magnetismo. Su obra se basaba en la suposición de la existencia de dos fluidos eléctricos, razón por la cual no aceptaba la hipótesis de Faraday. Argumentó: "aceptamos la hipótesis de que las sustancias elementales están compuestas de átomos, pero no podemos concluir que la electricidad, positiva o negativa, esté dividida en porciones mínimas o en átomos eléctricos" (Whittaker, 1958; Milikan, 1992).

Sin embargo, la opinión de la comunidad científica pronto cambiaría de parecer ante los nuevos resultados experimentales. Los científicos del siglo XIX no habían prestado mucha atención a la conducción eléctrica a través de los gases, sólo habían estudiado la conducción eléctrica electrolítica y conducción metálica (Milikan, 1992). Por esta razón no habían notado que al paso de una cantidad de corriente eléctrica a través de los gases, se producían espectaculares efectos luminosos y que la presencia de un imán desviaba un flujo eléctrico. Lo mismo ocurría con los rayos emitidos por el cátodo.

Con las teorías existentes no se podía dar una explicación sobre el comportamiento de los rayos catódicos. Entonces surgieron dos teorías

alternativas. Por un lado, los científicos alemanes proponían que los rayos catódicos eran una clase de radiación similar a las ondas del éter, mientras que Perrin mostraba que los rayos catódicos tenían una carga eléctrica negativa. Con tales propuestas, la controversia de que si los rayos catódicos eran partículas u ondas, no tardó en suscitarse (Harré, 1992).

El alemán Hertz descubrió que cuando los rayos catódicos pasaban a través de una lámina muy delgada, no la perforaban, por lo que no pudo concluir que los rayos estaban constituidos por partículas. Hertz también trató de desviar los rayos catódicos por medio de un campo eléctrico producido entre dos placas metálicas paralelas; sin embargo, observó que los rayos catódicos eran repelidos por la placa negativa y atraídos por la placa positiva. Hertz concluyó que los "rayos deben ser fenómenos radiantes, es decir, alteraciones en el éter, tal y como se concebía a la luz" (Harré, 1992, pág. 308). Si fuera cierto lo supuesto por Hertz los rayos catódicos no debían ser partículas cargadas.

Sin embargo, J.J. Thomson mostró que la velocidad de los rayos catódicos era mucho menor que la de la luz<sup>14</sup>, lo cual debilitaba a la teoría ondulatoria, pues toda forma de onda electromagnética se debía propagar a la velocidad de la luz.

Para mostrar que los rayos catódicos estaban compuestos por partículas con carga negativa (Whittaker, 1958) Thomson fabricó un equipo para repetir el experimento de Hertz, que consistía en un cátodo como fuente de rayos y dos placas metálicas paralelas entre las que se producía un campo eléctrico.

Thomson expresó sus resultados del modo siguiente: "repetiendo el experimento de Hertz, primero obtuve idéntico resultado, pero el experimento siguiente demostró que la ausencia de desviación se debía a la conductividad conferida a los gases rarificados por los rayos del cátodo. Midiendo esta conductividad ... descubrí que decrecía muy rápidamente conforme el gas se acababa... Al disminuir la densidad del gas, decrecía el ángulo de desviación de los rayos catódicos debido a la acción de la fuerza electrostática" (Harré, 1992, pág. 309).

Con un tubo al vacío Thomson pudo evitar la ionización del gas, lo que le permitió finalmente desviar los rayos catódicos por medio del campo eléctrico. De aquí pudo inferir que la desviación de los rayos era proporcional a la diferencia de potencial entre las láminas y que el comportamiento de los rayos catódicos era propio de las cargas negativas.

Lo importante del experimento era poder medir la razón de la masa ( $m$ ) de las partículas y su carga eléctrica ( $e$ ). En esa época era conocida la razón de

---

<sup>14</sup> El resultado lo publicó en la London and Philosophical Magazine de 1894.

otras partículas, como la del ion de hidrógeno. Para obtener la razón ( $e/m$ ), Thomson tuvo que agregar unas bobinas a su equipo, para poder producir un campo magnético (Harré, 1992). Así podría comparar la desviación producida por el campo magnético y la originada por el campo eléctrico. Por lo tanto de acuerdo con la relación matemática de Lorenz (8), una partícula cargada que se mueva a través de un campo magnético ( $e\mathbf{v}\times\mathbf{H}$ ) y eléctrico ( $e\mathbf{E}$ ) debería producir una fuerza ( $\mathbf{F}$ ).

$$\vec{F} = e\vec{E} + e\vec{v} \times \vec{H} \quad (8)$$

en donde:

- e es la carga eléctrica de la partícula
- v la velocidad de la partícula
- H el campo magnético
- E el campo eléctrico

Pero si primero se aplica un campo eléctrico  $\mathbf{E}$ , con el cual se logra desviar el haz y después se aplica un campo magnético  $\mathbf{H}$  ajustando el valor hasta restaurar la desviación del haz a cero, entonces tenemos que la fuerza neta será cero ( $F = 0$ ) y de la ecuación 8 obtenemos la ecuación (9)

$$v = \frac{E}{H} \quad (9)$$

“La desviación ( $y$ ) de un electrón en un campo puramente eléctrico, esta dado por la ecuación (10) (Halliday, 1980, págs. 989 -990)”

$$y = \frac{e E l^2}{2 m v^2} \quad (10)$$

en donde

- m la masa de la partícula
- l la distancia que recorre la partícula entre las placas

Si combinamos la ecuación (9) y (10) y despejamos  $e/m$  obtenemos (Halliday, 1980)

$$\frac{e}{m} = 2 \frac{y E}{H^2 l^2} \quad (11)$$

Al sustituir los valores medidos en la ecuación (11), Thomson encontró que el valor de  $e/m$  para los rayos catódicos era de  $1.7 \times 10^{11} \frac{\text{coul}}{\text{Kg}}$ , cuyo valor era mil veces más grande comparado con la razón del ión de hidrógeno ya conocido,  $9.5 \times 10^7 \frac{\text{coul}}{\text{Kg}} \approx 10^8 \frac{\text{coul}}{\text{Kg}}$ . Thomson supuso que la diferencia en la magnitud de  $e/m$  podría deberse a la pequeñez de  $m$  ó a la magnitud de  $e$ , ó a la combinación de ambas (Harré, 1992). El dilema se resolvió cuando Thomson observó experimentalmente que los rayos catódicos y los iones de hidrógeno se repelían con la misma fuerza, por lo cual sus cargas debían ser iguales y la masa de las partículas de los rayos catódicos debían ser un milésimo de la masa del ión de hidrógeno.

### 1.15.- ALGUNAS SUGERENCIAS DIDÁCTICAS.

En el aula, el profesor puede proponer diferentes estrategias de aprendizaje a sus alumnos con las cuales ellos puedan construir su conocimiento. Lo importante es decidir de qué manera se hará esto, como motivarlos y de tal modo que el proceso de enseñanza-aprendizaje sea exitoso.

La Historia de la Ciencia puede ser utilizada como un instrumento de enseñanza de la ciencia, con el cual se toma en cuenta el nivel intelectual de los alumnos (Usabiaga, *et al*, 1982; Castro, 1992). Para lograr el objetivo, es necesario conocer las etapas de desarrollo de los conceptos, para mostrar al alumno cómo se hace la ciencia.

En el aula se pueden recurrir a ejemplos históricos con los cuales se presentan ideas similares a las de los alumnos y discutir cómo evolucionaron estas ideas. Por ejemplo, Castro (1992) reporta que durante el estudio de calor y temperatura una alumna argumentaba que no podía existir una temperatura fija, cuando el agua hervía. Ante esta situación se le dio a los alumnos una lectura para una discusión posterior de un fragmento de un texto de Daniel Gabriel Fahrenheit, en el cual relata su sorpresa y deseo de constatar el hecho de que existe un nivel fijo de temperatura, cuando hierve el agua o cuando se congela. Esta lectura permitió que los alumnos confrontaran sus ideas con las de científicos de otras épocas.

Además, con la discusión los alumnos conocieron algo sobre cómo se desarrolla la actividad científica: el cambio de información entre investigadores, la necesidad de comprobar datos, el avance de técnica, etc.

Otra estrategia sería abordar un tema con preguntas abiertas, a partir de un suceso histórico, de tal modo que cada respuesta permita al profesor transmitir una experiencia que sea útil para que el alumno posteriormente comprenda los conceptos científicos que se le transmiten.

Además de las preguntas los alumnos pueden realizar experiencias análogas a las que se realizaron en épocas anteriores para explicar un fenómeno; acto seguido se les da un texto que contenga la descripción de los hechos desde el punto de vista histórico.

Para el uso de lecturas se debe tener un objetivo, citar la fuente de información, comentar similitudes con la época actual, señalar actitudes científicas, etc. También se debe tomar en cuenta el desarrollo psicoevolutivo del sujeto, puesto que no todos los sujetos tienen la capacidad para comprender ciertas situaciones (Usabiaga, et al, 1982).

# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1.- ASPECTOS A TOMAR EN CUENTA EN EL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

Mucho antes de la civilización moderna, gran cantidad de hombres desarrollaron habilidades para obtener información del medio ambiente y así poder alimentarse, vestirse, elaborar utensilios, producir el fuego, etc. (Nagel, 1978). Este hecho nos muestra que es innegable que el humano aprende y que posee cierta cantidad de conocimiento, pero lo que no podemos saber, es el proceso mediante el cual todos los humanos construyen su nuevo conocimiento (Novak, 1988). Durante el proceso de aprendizaje el sujeto aprende a partir de sus experiencias e interacción con el medio social cultural y natural y el conocimiento que va integrando el sujeto a su estructura mental son la base para seguir construyendo ese conocimiento (Vicentini, 1982).

Tres aspectos que nos podrían auxiliar para conocer los mecanismos que siguen los individuos para construir su conocimiento son (Peaget, 1977; Ausbel-Novak, 1988):

- 1) el nivel de desarrollo cognitivo y biológico de los alumnos
- 2) el contenido de las ideas previas y
- 3) cómo se estructuran los individuos las ideas previas.

El primer aspecto es importante porque el diseño curricular debe realizarse en función de las habilidades y la capacidad de análisis y abstracción propias de la edad del estudiante. Para el desarrollo de este tema se hará referencia a la obra de Piaget, la cual muestra las diferentes etapas por las que pasa un individuo durante la maduración de sus estructuras de conocimiento y los mecanismos que promueven el paso de una etapa de aprendizaje a la siguiente.

El segundo aspecto es necesario porque nos permite conocer las ideas previas, su contenido y el significado que los estudiantes les dan. De ellas se puede saber por que los modelos científicos que se les presentan a los estudiantes, con frecuencia les parecen contrarios y ciertos temas llegan a ser filtro u obstáculo o son la base para la construcción del conocimiento futuro.

El tercer aspecto es importante por que con el se diferencia el aprendizaje mecánico del aprendizaje significativo. El aprendizaje mecánico se caracteriza por que la nueva información se almacena en la mente de los sujetos arbitrariamente y no se relaciona con el conocimiento ya existente.

Si el nuevo concepto se relaciona con otras ideas, conceptos, proposiciones relevantes, ya existentes en la estructura cognitiva del individuo, el nuevo concepto queda claro y con un significado, entonces el sujeto aprende significativamente.

## **2.2.- LA IMPORTANCIA DE LA ESTRUCTURA MENTAL EN EL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE.**

Jean Piaget considera que la inteligencia del niño tiene diferentes etapas de desarrollo y que cada acción del niño nos indica su capacidad para aprender (Piaget, 1993).

Piaget explica que para analizar el origen y el desarrollo de la inteligencia del niño, le fue necesario el desarrollo de la teoría que él llamó "Epistemología Genética" (Piaget, 1993; Piaget, 1977). En esta teoría, con notable influencia del evolucionismo, además de explicar la formación y el significado del conocimiento, muestra que existen diversos mecanismos por los cuales la mente humana avanza desde un nivel inferior de conocimiento a otro nivel de conocimiento, estimado superior (Piaget, 1993). Es decir, Piaget en su Epistemología Genética muestra una preocupación por saber "cómo el sujeto se vuelve progresivamente capaz de conocer exactamente los objetos de conocimiento que se le presenten" (Gutiérrez, 1984, pág. 8).

El conocimiento humano se adquiere durante un proceso de adaptación continua, que depende en gran medida del medio social en donde se desenvuelve y de su propia maduración biológica (Piaget, 1993)

Todos los individuos, desde que nacen, van construyendo las estructuras mentales que le permiten desarrollar mecanismos de aprendizaje, los cuales permiten que cada etapa tenga un proceso de evolución durante el cual se promueve el paso de una etapa de aprendizaje a la siguiente. El papel fundamental de la maduración biológica es que con ella se establecen las condiciones necesarias para el desarrollo intelectual de los sujetos. Las etapas o períodos descritos por Piaget inician desde el momento del nacimiento, donde la interacción con el medio físico que lo rodea es importante, hasta alrededor de los 15 años (Piaget, 1977). Estos períodos se describen brevemente a continuación (Piaget, 1993; Piaget, 1977):

- Primer período o senso-motor.- Estado pre-verbal que corresponde aproximadamente a los dos primeros años de vida. Durante este período las acciones y la inteligencia sensomotriz permiten organizar sus movimientos y desarrollar ciertas relaciones causa - efecto.

- Segundo período o de la inteligencia intuitiva.- Etapa pre-operacional de los 2 a los 6 años, durante la cual el niño es capaz de realizar abstracciones primarias. Es decir, el niño adquiere conceptos cuyos significados aprende a partir de experiencias empíricas. También se observa la aparición de los sentimientos espontáneos, como puede ser el egocentrismo, y las relaciones sociales, como la sumisión al adulto.

Debido a sus características egocéntricas, al niño en esta etapa no le resulta fácil experimentar las cosas desde el punto de vista de otras personas. La imitación, el dibujo y sobre todo el desarrollo del lenguaje, permiten que experimente por sí mismo, para posteriormente integrarse a la sociedad que le rodea.

Durante este período el niño puede encender el foco de una linterna o de un circuito simple (hecho con pila, alambres y foco) y puede percibir el calentamiento del foco. Además puede nombrar a los fenómenos: "la luz se enciende con electricidad" o "el foco se calienta con electricidad". En consecuencia, puede llegar a identificar cosas que funcionen con electricidad: plancha eléctrica, lavadoras, televisores (Gutiérrez, 1984).

- Tercer período o de las operaciones intelectuales concretas.- Comprende de los 6 a los 11 años. Durante este período, la lógica permite al niño ir más allá de las representaciones internas y logra anteponer diferentes puntos de vista. El niño logra realizar distintas operaciones lógicas elementales, tales como sumas, restas u ordenación, clasificación y conservación.

Durante este período llega a darle nombre a los efectos eléctricos: caloríficos, luminosos. Puede darse cuenta que las cosas que funcionen con electricidad deben estar conectadas o enchufadas. Puede establecer una

relación cualitativa entre el brillo de una lámpara y el número de baterías en un circuito dado, por lo tanto puede predecir qué le sucede a la corriente si aumenta o disminuye el voltaje; tiende a comprobar sus resultados (Gutiérrez, 1984).

- Cuarto período o de la operaciones intelectuales, formales o abstractas.- De los 11 a los 15 años, el niño llega a realizar todas las operaciones del tercer período y además puede comprender hipótesis, ideas abstractas e interpretar el pensamiento de los demás.

También formula y prueba hipótesis con todas las variables posibles; puede considerar las consecuencias o deducciones de su razonamiento lógico.

En este período puede explicar los fenómenos eléctricos y diferenciar los circuitos eléctricos. Al voltaje lo reconoce como "lo que mantiene a la corriente" y a la corriente como un flujo eléctrico. En la última etapa del período puede llegar a comprender las leyes de Coulomb y de Ohm. Puede explicar los fenómenos eléctricos por medio de dibujos o experimentos (Gutiérrez, 1984).

En conclusión los jóvenes que se encuentren en el cuarto período deberían comprender el tema de circuitos eléctricos con suma facilidad. Sin embargo, existe un gran número de jóvenes que no logran comprender estos conceptos (Nieto, 1988).

Era sabido por Piaget que el desarrollo intelectual de los niños y jóvenes no siempre corresponde a las edades propuestas por él. Es decir, no todas las personas logran ese desarrollo a las mismas edades (Gutiérrez, 1984; Shayer, et al, 1986).

Shayer (Shayer, et al, 1986) muestra, después de haber estudiado el razonamiento de 12 mil alumnos entre 9 y 16 años, de Inglaterra y del País de Gales, que el 40 por ciento de niños están en o por encima del estadio avanzado de las operaciones concretas, mientras que el 60 por ciento restante ha alcanzado esta etapa antes de los 15 años y que en el último año de una escuela de enseñanza integrada (alumnos de 16 años), no más del 30 por ciento ha llegado a una etapa formal o cuarto período. Afirma que sólo el 50 por ciento de los estudiantes universitarios alcanzan la etapa formal (Gutiérrez, 1984).

Si en el aula, a los jóvenes de 16 años que no han llegado a la etapa formal, se les presenta un concepto científico que está expresado en términos abstractos o formales, sin ninguna relación a objetos reales, ellos no asimilarán el concepto, pues carecen de la estructura mental necesaria para asimilar tal información. Si por alguna circunstancia se ven presionados a "aprender" ese concepto, tienden a memorizar sin siquiera hacer el esfuerzo por comprender

(Segarra, 1989). Por consiguiente no le verán utilidad y rechazarán todo lo que tenga que ver con aquello que no pudieron entender.

Los porcentajes de Shayer, nos muestran que un profesor de Nivel Medio Superior que desee que sus alumnos logren comprender los conceptos que les presenta, debe adecuarse al período de pensamiento de sus alumnos. Además de preocuparse por cambiar el nivel de los contenidos que transmite.

Actualmente el mayor índice de reprobación en el Nivel Medio Superior, se manifiesta en física, seguida por matemáticas (Jara, 1989). Este resultado escolar negativo se podría superar si las instituciones, al momento de elaborar los programas de estudio, toman en cuenta el nivel de maduración intelectual de sus educandos para quienes elaboran los programas de estudio (Gutiérrez, 1984; Gil, et al, 1991, Shayer, 1986).

La dificultad por comprender los conceptos científicos que se observa en los sujetos, no sólo depende de las características de la situación de aprendizaje (texto de un libro, de una conferencia o de un fenómeno físico) (Driver, 1988) sino del conocimiento adquirido por medio de experiencias cotidianas y de la información científica que debe ser adecuada al nivel intelectual del individuo (Segarra, 1989).

### **2.3.- LA IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO PREVIO Y SU RELACIÓN CON EL PROCESO ENSEÑANZA-APRENDIZAJE.**

El estudio que realizó Ausubel sobre como aprenden los sujetos, destacó que los alumnos antes de acceder a la instrucción formal ya poseen ideas sobre los fenómenos naturales, que sirven de base para la interpretación y construcción de su nuevo conocimiento. Lo más importante de la teoría de Ausubel y sus posibles implicaciones a la enseñanza y aprendizaje puede ser resumida en la siguiente proposición (Moreira 1993):

“Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un sólo principio, diría lo siguiente: el factor aislado más importante que influencia el aprendizaje, es aquello que el aprendiz ya sabe. Investíguese ésto y enséñese de acuerdo a ello”

Cuando Ausubel se refirió a “aquello que el aprendiz ya sabe” se estaba refiriendo a la estructura mental de conocimiento del sujeto, es decir, al contenido y a la organización de las ideas que posee el sujeto. Puesto que la estructura mental preexistente puede facilitar e influenciar el aprendizaje del sujeto. Durante el proceso de aprendizaje es preciso que el individuo haya aprendido de forma significativa.

El aprendizaje significativo es un proceso el cual ocurre cuando un información se relaciona, de manera no arbitraria y literal, con aspectos relevantes de la estructura cognitiva del individuo. Es decir, el aprendizaje significativo ocurre cuando una nueva información se "ancla" en conceptos relevantes (subsumidores) preexistentes en la estructura cognitiva.

Por ejemplo: "un estudiante puede aprender la ley de Ohm, la cual indica que, en un circuito, la corriente eléctrica es directamente proporcional al voltaje. Sin embargo, esa proporción no será aprendida de manera significativa a menos que el estudiante ya haya adquirido, previamente, los significados de los conceptos de corriente eléctrica, voltaje, resistencia, proporcionalidad directa e inversa (satisfechas estas condiciones, la proposición es potencialmente significativa, pues su significado lógico es evidente) y a menos que intente relacionar estos significados como están indicados en la ley de Ohm" (Moreira, pág. 9, 1993)..

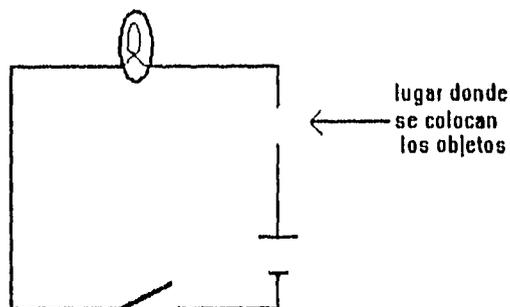
Las ideas previas de los alumnos no son un impedimento para que los sujetos aprendan, si no que por el contrario representan un esfuerzo imaginativo que realizan los individuos por tratar de comprender lo que sucede en la naturaleza (Hills, 1989). Conocer las características del conocimiento previo nos permite saber como influye en el aprendizaje de un cierto tema y por que en la mayoría de los casos las ideas previas son modificadas minimamente como resultado de la instrucción formal (Viennot 1979).

Driver (1988) opina que el conocimiento previo de los alumnos se basa en la experiencia cotidiana, que interpretan o asimilan en forma personal para construir el conocimiento en el cual se apoyan para predecir hechos o fenómenos análogos a los que ya han experimentado.

Hoy en día las personas utilizan ciertos utensilios o aparatos sin detenerse a pensar como funcionan. Por ejemplo cuando se usa la rueda, en general, las personas no se preocupan por saber si existe fuerza de fricción o no tratan de dar alguna otra explicación científica sino que simplemente aprovechan la mayor facilidad para trasladarse o trasladar sus mercancías sobre vehículos con ruedas. No obstante la experiencia que adquieren los sujetos con el uso de la rueda es importante, porque sirven de ancla para construir el concepto de fricción entre dos cuerpos o entre partículas o para introducir la tercer ley de Newton.

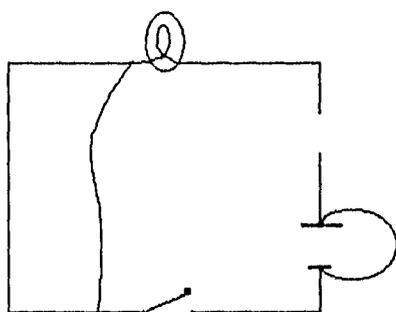
Osborne (1991) reporta un caso en que los alumnos interpretan los resultados de sus propias predicciones basados a sus ideas previas. El caso corresponde a un grupo de alumnos de secundaria, a los que se les pidió que predijeran la conductividad de algunos utensilios (desarmador, hojas de afeitar, peine de plástico, papel, cinta adhesiva) y que comprobaran sus resultados.

Los alumnos, que ya tenían información académica sobre circuitos eléctricos, sugirieron un circuito simple (pila, foco y alambre) (ver fig. 4) para probar sus predicciones.



**Fig. 4** Circuito propuesto por los alumnos (Osborne, 1991)

A un par de alumnas que tenían problemas para construir su circuito, el profesor las auxilia: "su circuito está mal (ver fig. 5); vamos a modificarlo (ver fig. 6). El profesor prueba el circuito, une ambos extremos de los cables y enciende el foco. Después separa los cables y dice. ¡Ven como sí funciona!".



**Fig. 5** Circuito de las alumnas (Osborne, 1991)

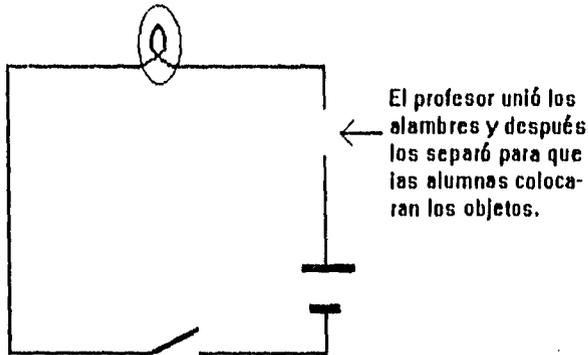


Fig. 6 Circuito modificado por el profesor (Osborne, 1991)

Después las alumnas no logran hacer que el circuito funcione y le hacen modificaciones (ver fig. 7), de modo que el foco prende. Con su nuevo circuito encuentran que todos los materiales son conductores".

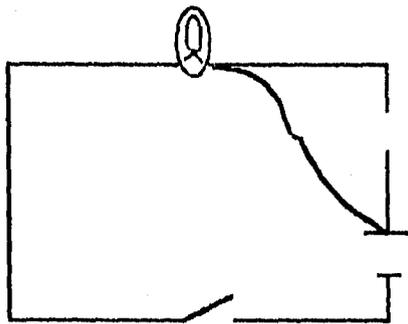


Fig. 7 Circuito modificado por las alumnas, en todos los casos el foco prendía (Osborne, 1991).

Las alumnas no logran obtener el resultado que espera el profesor, debido a que el manejo de los circuitos eléctricos no estaba en sus experiencias previas o era muy intuitivo.

El lenguaje también es un factor que influye en que el conocimiento previo sea diferente al conocimiento científico. La ciencia ha incorporado ciertas palabras del lenguaje cotidiano como: luz, potencia, energía, foco, fuerza etc. (Serrano, 1988). Sin embargo, la relación entre ambos significados muchas veces no es inmediata. Es decir, existe un lenguaje común con un significado distinto al de la ciencia. Por ejemplo, una cosa es el foco de una elipse, una

parábola o un espejo cóncavo y otra es el foco que se usa para alumbrar (Reynoso, 1995).. La diferencia es mayor cuando se trata de enseñar o transmitir un mensaje científico en otros idiomas, puesto que el lenguaje no sólo es diferente en diferentes idiomas sino que, también el mismo idioma varía de país a país y de región a región aún dentro del mismo país.

El conocimiento previo, con frecuencia, satisface las necesidades intelectuales y cotidianas de los alumnos, no así los conceptos científicos que se les transmiten en las aulas, que muchas veces les parecen ajenos a su realidad. Esta podría ser la razón por la cual a pesar de la instrucción formal, los conocimientos previos de los sujetos no se alteren.

Viennot y Driver consideran que para conocer el origen y significado de las ideas previas de los alumnos, no es suficiente conocer su existencia, sino que también es importante estudiar su contenido (Hills, 1989; Serrano, 1988).

Sin embargo, por la naturaleza fragmentada de la información que se obtiene de las respuestas de los alumnos es difícil conocer su significado y en que contexto se sitúan.

## **2.4.- TEORÍA DE LOS ESQUEMAS ALTERNATIVOS**

El estudio de los conocimientos previos causó gran interés, por lo cual surgieron diversas interpretaciones de estos conocimientos con base en diferentes enfoques epistemológicos. De acuerdo a la corriente en la que se estudiaron estas ideas previas se les dieron diferentes nombres: ideas previas, modelos intuitivos, esquemas alternativos, pre-conceptos, errores conceptuales, ciencia de los niños, etc. (Segarra, 1989; Hills, 1989).

El interés de Driver y Viennot por estudiar el contenido de la ideas, tiene su base en el constructivismo. El constructivismo es una teoría que supone al conocimiento humano como un producto de actos cognitivos del hombre. Es decir, el constructivismo supone que todos los individuos construimos ideas de cómo funciona el mundo con base en las experiencias cotidianas y que estas concepciones del mundo cambian con cada época (Novak, 1988; Matthews, 1994), en muchos casos sin llegar a ser las concepciones aceptadas por la comunidad científica.

Desde el punto de vista constructivista, Easley y Driver (1978) y Vicentini (1982) consideran que todos los sujetos durante su vida, almacenan en su memoria elementos o grupos de elementos de conocimiento que se interrelacionan entre sí, a lo que llaman esquemas alternativos. La interrelación entre conocimientos es similar a una red, donde cada nudo puede representar un elemento de conocimiento entrelazado con los demás. Cada nueva pieza de

conocimiento que adquiere el individuo se integra a la red de conocimiento. Cuando algunas de esas piezas no encaja en la red, decimos que no entendemos (Vicentini, 1982).

Con frecuencia esto sucede cuando los sujetos, sean jóvenes o adultos, se encuentran en una situación de aprendizaje y usan sus esquemas para interpretar la nueva información (Driver, 1988). Por ejemplo, muchos estudiantes piensan que la electricidad es un fluido que se almacena en las baterías y se gasta en distintos aparatos. Por ello utilizan indistintamente los términos de "electricidad", "corriente", "energía eléctrica" o "potencia" (Nieto, et al, 1988). Cuando a esos alumnos, en el aula, se les trata de diferenciar los conceptos eléctricos, no entienden por qué razón los diferencian, si para ellos claramente son lo mismo.

En este proceso de enseñanza aprendizaje se da una interacción entre los esquemas mentales del que aprende, del que enseña y del contenido del material utilizado (libro, conferencia, clase, etc.) (Driver, 1988). Lo que se aprende en cualquier programa de trabajo depende además de las ideas previas que tienen los estudiantes, de las estrategias cognoscitivas de que disponen y también de sus propios propósitos e intereses. Visto de esta manera los constructivistas colocan al que aprende en el centro del proceso de aprendizaje (Matthews, 1994).

Los esquemas alternativos como producto de experiencias y observaciones cotidianas, en la que influye el lenguaje y el medio cultural y social en el que el individuo se desarrolla, llegan a tener un nivel de coherencia (Driver, et al, 1985; Serrano, 1988) aún cuando al profesor o al científico pueda parecerles incoherentes. Tal vez sea ésta la razón por la que el alumno se encuentra muy seguro al explicar los fenómenos con sus propias ideas, las cuales tienen un gran arraigo en sus mentes y son muy difíciles de modificar (Viennot, 19779; Segarra, 1989; Serrano, 1988).

## **2.5.- EL CAMBIO CONCEPTUAL**

Cuando el profesor en el aula pretende enseñar a los alumnos los conocimientos aceptados como válidos por la comunidad científica, trata de que los alumnos y él lleguen a compartir sus significados. Más ampliamente se espera que el alumno comparta sus conocimientos científicos con una comunidad mayor de usuarios (Moreira, 1993).

Sin embargo, una buena intención no siempre es suficiente, pues el conocimiento que el profesor propone en el aula puede ser contrario a la intuición del sujeto, pueden suceder cualquiera de las siguientes situaciones:

que el alumno rechace el nuevo conocimiento, que refuerce sus esquemas alternativos, que construya un nuevo esquema, que combine o coexistan dos esquemas, o que logre un cambio conceptual.

Cuando se sustituye el conocimiento anterior por el científico o por el que se pretende que aprendan los sujetos, se dice que se dio un cambio conceptual. Por ende, el sujeto posee como resultado una visión científicamente correcta (Serrano, 1988; Nussbaum, 1989).

Cuando coexisten los esquemas del sujeto y el académico, se observa que el alumno utiliza el esquema académico únicamente para responder a exámenes y preguntas de clase, el cual le es útil sólo para aprobar o para decir lo que quiere el maestro. El esquema personal lo utiliza en todas las circunstancias de su vida (Segarra, 1991).

Diversos investigadores educativos, como Nussbaum (Nussbaum, 1989), Rowell (Rowell, 1990), Moreira (Moreira, 1994), Segarra (Segarra, 1991) conscientes de que los alumnos no logran hacer un cambio conceptual, tratan de dar explicaciones y soluciones (estrategias didácticas) al problema de la resistencia a dicho cambio conceptual.

Segarra (1989) comenta que desde el punto de vista de Ausubel, Posner, Strike, Hewson y Gertzog la solución al problema del cambio conceptual radica en el alumno y en el material a aprender (Segarra, 1989; Moreira, 1994; Rowell, 1990). Entonces las condiciones para que se dé el cambio conceptual son:

- Primera: que el alumno se dé cuenta de sus contradicciones conceptuales y que esté dispuesto a integrar cada nuevo concepto a sus esquemas de manera no textual ni arbitraria.

- Segunda: que la nueva información tenga un significado en la estructura mental del sujeto y que la vea coherente y útil para explicar las nuevas experiencias y las ya existentes (Segarra, 1989; Rinaldi, 1989).

Para que el alumno se dé cuenta que existe contradicción conceptual entre sus esquemas y los conceptos científicos, es necesario el conflicto mental (Nussbaum, 1989; Serrano, 1988). El conflicto mental lo puede producir el profesor, al generar una disonancia cognitiva en el alumno lo suficientemente grande para que el alumno pueda llevar a cabo una acomodación de ideas, pero el conflicto no debe ser tan grande que lo conduzca al abandono de la tarea. Sin embargo, ante un conflicto mental el sujeto tiende a evitar las anomalías, cuya resolución requiere una revisión fundamental de sus concepciones y por consiguiente evita las confrontaciones conceptuales (Segarra, 1989).

Por ejemplo, a niños de trece años se les presentó una balanza de brazos iguales en equilibrio con un globo en cada extremo. Se quitó un globo y se

bombeó aire, dentro de él. Luego se les pidió a los niños que predijeran que ocurriría cuando el globo se colocara de nuevo en el extremo de la balanza (Driver, 1988).

Daniel: El aire pesa, pesará más ¿verdad?

Joanne: No

Daniel: Sí, sí.

Ann: Quedará igual. El aire no pesa nada.

Daniel: Mira, irá hacia abajo. El aire es pesado.

Jaspal: ¡Mira, escucha! cuando inflamos el globo se va para abajo ¿verdad?, porque el aire del globo es más pesado y la gravedad le hace bajar.

Joanne: Sí pero el aire es ligero, de modo que ¿cómo puede bajar?

Ann: Flota. Luego se queda igual.

Después de hacer la prueba:

Ann: ¡Oh se va hacia abajo!

Joanne: ¿ Pero qué es lo que hace que baje?

Jaspal: Mira, ¿no estamos tratando con el aire? Es más pesado que el aire normal de afuera y la gravedad empuja al globo hacia abajo.

Ann: Pero el aire es ligero, hará que el globo flote.

Daniel: ¿Cómo se fue hacia abajo entonces?

Ann: No lo sé. Yo pensaba que se quedaría igual .

Joanne: Si fuera ligero iría hacia arriba, ¿ verdad?

Jaspal: Mira, la gravedad lo empuja hacia abajo. Ella empuja el aire hacia abajo.

Daniel: Solamente cuando está en el globo.

De esta experiencia se observa que Ann se sorprende del resultado obtenido, pero se resiste. Joanne, también se sorprende, pero trata de obtener una nueva respuesta. La resistencia a creer en el resultado experimental, es una situación razonable para la teoría del conflicto mental, pues se considera que el cambio conceptual por medio de los conflictos mentales no es un cambio que se pueda dar de un modo revolucionario e instantáneo, sino que la acomodación de nuevas concepciones es un proceso gradual de ajustes de las ya existentes para lo cual se requieren muchos rodeos, intentos no exitosos y cambios de dirección frecuentes (Nussbaum, 1982; Segarra, 1989). A pesar de la disponibilidad del individuo por aprender y reconocer lo útil que pueda ser el nuevo concepto, no desecha totalmente el conocimiento previo sino que siempre conserva un residuo de él.

Como el individuo ha desarrollado a lo largo de su existencia de modo significativo sus esquemas mentales, rechaza los esquemas o modelos que le presentan en el aula, pues para él sus esquemas tienen más significado que los académicos. Para que los modelos científicos puedan tener un significado es necesario que la nueva información se relacione con un concepto, una idea o una proposición ya existente en la estructura cognitiva del sujeto, capaz de servir de anclaje, de modo que la nueva información pueda tener un significado para el sujeto, puesto que el aprendizaje significativo ocurre cuando una nueva información "se ancla" en conceptos relevantes preexistentes (subsumidores) en la estructura cognitiva del sujeto (Moreira, 1995). Es decir, el aprendizaje significativo para Ausubel, es un proceso a través del cual una información interacciona de manera no arbitraria y no literal con un aspecto relevante de la estructura mental del sujeto. Por ejemplo, si los conceptos de fuerza y de campo ya existen en la estructura cognitiva del alumno, estos servirán de subsumidores para nuevas informaciones referentes a ciertos tipos de fuerza y campo, como la fuerza y campo electromagnéticos, gravitacional y nuclear. En contraposición con el aprendizaje significativo se encuentra el aprendizaje mecánico. Este tipo de aprendizaje no llega a ser significativo debido a que la información "aprendida" por el sujeto, no llega a interrelacionarse con ningún concepto relevante de la estructura mental existente. Puede existir alguna asociación, pero muy diferente a la que se da mediante el aprendizaje significativo. Se reconoce como aprendizaje mecánico a la memorización de fórmulas, leyes y conceptos, al aprendizaje de última hora o a la afirmación que hacen los alumnos de haber estudiado, pero que durante el examen nada pudieron recordar.

Novak precisa que el aprendizaje significativo no es sinónimo de aprendizaje "correcto" (Novak, 1988). Un alumno puede aprender de manera significativa pero "errada". Puede darle a los conceptos significados que para él implican aprendizaje significativo, pero que para el profesor son erróneos porque no son compartidos por la comunidad de usuarios (Moreira, 1993). Novak argumenta que ha sido un error interpretar el cambio conceptual como la sustitución de un concepto por otro, es decir, cambiar el significado alternativo del alumno por aquel aceptado en el contexto de la enseñanza.

Los esquemas alternativos de los sujetos se deben interpretar como resultados importantes; en lugar de erradicarlos es posible tomarlos como base, durante el proceso enseñanza aprendizaje, para que el sujeto llegue a incorporar los conocimientos científicos aceptados por la comunidad científica.

Los esquemas alternativos hoy han empezado a ser una herramienta para los profesores, divulgadores de la ciencia y autores de libros de texto o artículos,

puesto que los resultados de las investigaciones se han utilizado para implementar diferentes estrategias de enseñanza que faciliten el aprendizaje de los conceptos científicos o para motivar a los sujetos para que tiendan a conocer los resultados de la investigación científica. Entre los libros de texto de física donde se desarrollan los conceptos científicos a partir de los esquemas alternativos más comunes entre los alumnos, se pueden mencionar los trabajos de Osborne (Osborne, et al, 1991), de Nieto (Nieto, et al, 1988), de Hewitt (Hewitt, 1993), de McDermott (McDermott, 1996), Young (Young, 1992) y Mota (Mota, et al 1989).

## **2.6 UNA HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN DEL CONOCIMIENTO**

En un ambiente educativo donde existe una relación entre aprendiz, profesor, conocimiento y contexto (social, natural, etc.), la evaluación es un elemento fundamental para determinar cómo se adquirió el conocimiento. Además, la evaluación ha sido el medio por el cual se llega a saber qué ocurre, durante el proceso enseñanza-aprendizaje-conocimiento-contexto, con la estructura mental del alumno para darle validez o no a las estrategias de enseñanza que haya usado el profesor (Moreira, 1993; Novak, 1988).

La evaluación del aprendizaje del alumno debe tener un enfoque diferente al tradicional, mediante el cual simplemente se pone una calificación que etiqueta al individuo y cuantifica lo que "aprendió" (Moreira, 1993).

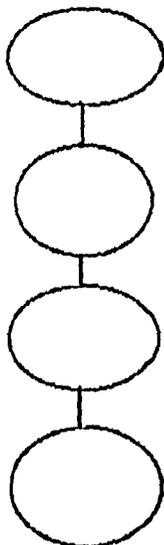
Como durante el proceso de aprendizaje cada individuo interpreta, jerarquiza y le atribuye su propio significado al material de enseñanza, se debe pensar en un instrumento que muestre cómo el alumno estructura los conceptos que se le presentan. Es decir, se puede pensar en un tipo de evaluación interpretativa que identifique los significados y las relaciones entre éstos. Por otro lado, se requiere evaluar el proceso mismo de enseñanza-aprendizaje, incluyendo los materiales de enseñanza utilizados (Moreira, 1987; Moreira, 1989). Un instrumento que sirve para evaluar estos dos aspectos es el de los Mapas Conceptuales.

Los mapas conceptuales, a grandes rasgos, son diagramas que indican relaciones entre conceptos, que pueden llegar a ser jerárquicos, con los cuales se procura reflejar la organización conceptual de una disciplina (Moreira 1988).

La intención de usar mapas para la evaluación, es la de obtener información sobre el tipo de estructura y sobre las relaciones significativas que el alumno ve en un conjunto de conceptos dados. De este modo, se podrá evaluar lo que el alumno sabe en términos conceptuales, es decir, como él estructura, jerarquiza,

diferencia, relaciona, discrimina e integra conceptos de una determinada unidad de estudio, t3pico, disciplina, etc. (Moreira, 1989).

Los mapas conceptuales pueden tener una, dos o m3s dimensiones. Los diagramas de una dimensi3n son listas de conceptos que tienden a presentar una organizaci3n vertical (ver fig. 8). Los mapas unidimensionales proporcionan muy poca informaci3n sobre la disciplina a evaluar.



**Fig. 8 Mapa conceptual unidimensional, con organizaci3n vertical.**

Los mapas bidimensionales (ver fig. 8) proporcionan mayor informaci3n, pues su estructura horizontal y vertical, permite una representaci3n m3s completa de los conceptos de una disciplina. En cada 3rculo se encierra un concepto y se muestra su relaci3n con otro mediante una l3nea que los une. Por lo regular, los conceptos m3s generales aparecen en el extremo superior del mapa y le siguen conceptos subordinados hasta llegar a los conceptos m3s particulares, que podrian ser ejemplos. En la dimensi3n horizontal se pueden ubicar varios conceptos.

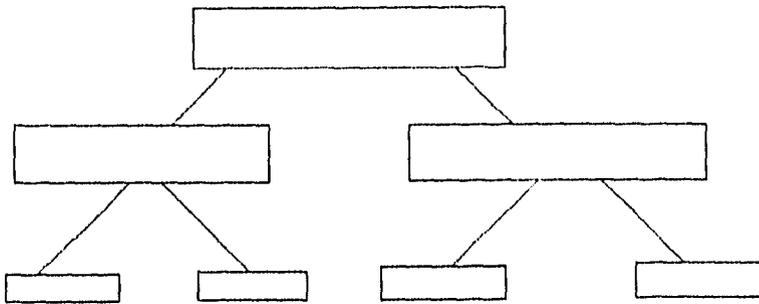


Fig. 9 Modelo de mapa conceptual bidimensional, según la teoría de Ausubel (Moreira, 1988).

Por lo tanto, los diagramas bidimensionales nos muestran relaciones jerárquicas entre conceptos de una disciplina y de los conceptos que se derivan de ella (Moreira, 1987). Los mapas conceptuales de más de dos dimensiones llegan a ser abstracciones matemáticas que por su complejidad nos proporcionan poca información conceptual.

Los mapas conceptuales también son herramientas útiles para ilustrar ideas claves del capítulo de un texto. El mapa conceptual de la figura 10 corresponde a un capítulo del libro "Principios de Física", de Virgilio Beltrán. El libro es recomendado por la Secretaría de Educación Pública para la Enseñanza de Nivel Medio Superior. En el mapa se pueden observar los conceptos más generales y distintos niveles jerárquicos.

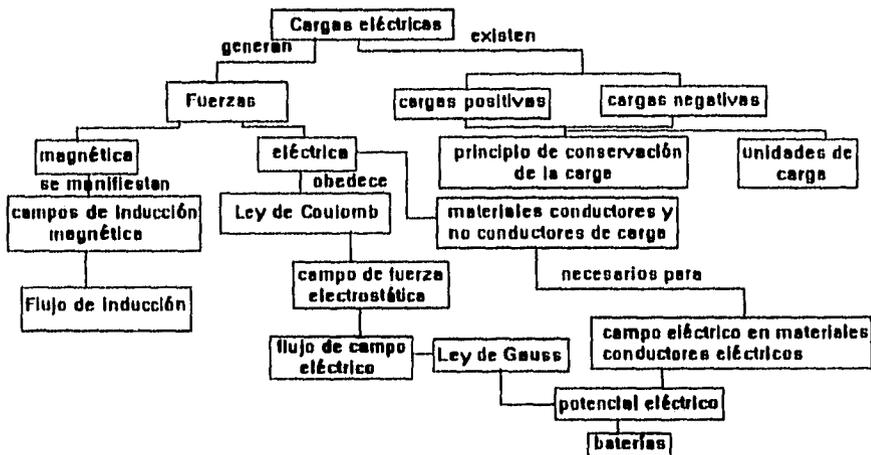


Fig. 10 Mapa conceptual sobre el tema de electromagnetismo, donde se puede observar los conceptos generales y subordinados.

El análisis de los mapas conceptuales nos permite observar la evolución de las ideas de un individuo durante el proceso enseñanza - aprendizaje. Si el individuo elabora un mapa inicial y otro después de haberle proporcionado nuevas experiencias sobre el tema, se podrá ver cómo evolucionó su conocimiento y como lo estructuró (ver figs. 11, 12 y 13).

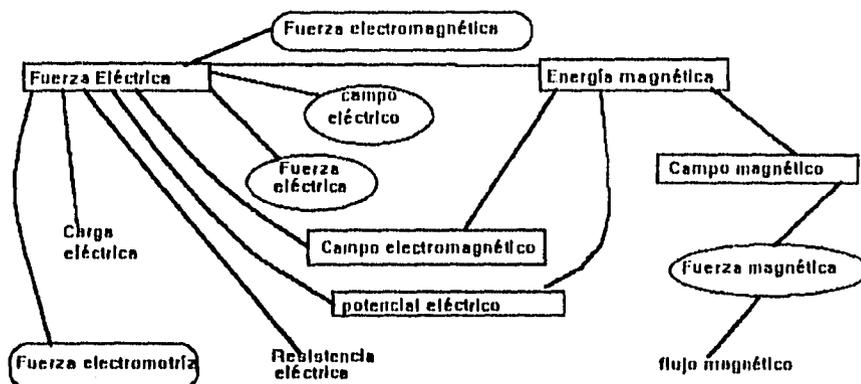


Fig.11 Mapa conceptual desarrollado por un alumno de Ingeniería, antes de estudiar el tema de electricidad y magnetismo (Moreira, 1988)

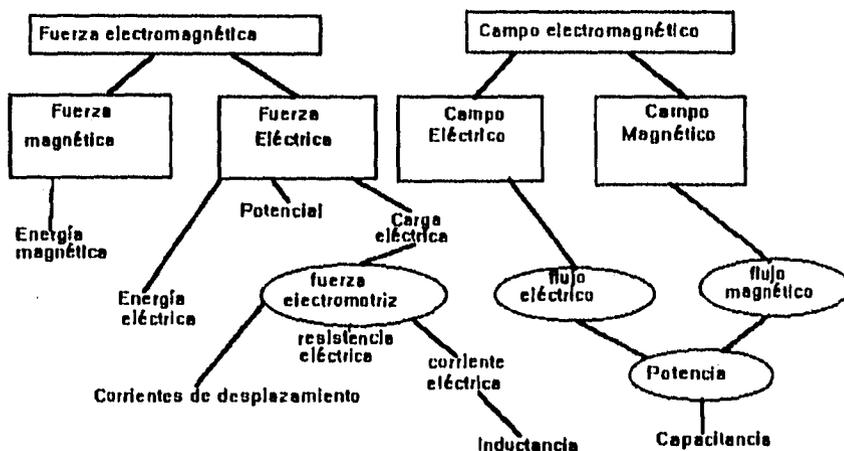


Fig.12 Mapa Conceptual desarrollado por un alumno de Ingeniería, durante el desarrollo del curso de electricidad y magnetismo (Moreira, 1988).

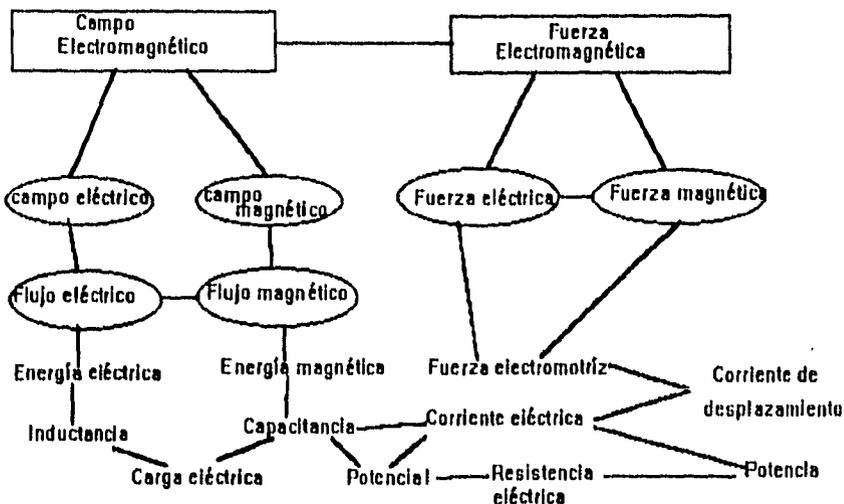


Fig. 13 Mapa Conceptual desarrollado por un alumno de Ingeniería, después de haber estudiado el tema de electricidad y magnetismo. (Moreira, 1988).

En el mapa de la figura 11 se puede observar que los conceptos más generales del estudiante de ingeniería son la fuerza eléctrica y la energía magnética. En el mapa 12 se observa que el alumno empieza a jerarquizar los conceptos, donde la fuerza electromagnética y el campo electromagnético son los conceptos más generales. En el mapa 13 ya no coloca a la energía magnética como un concepto importante.

Al final del curso el alumno de ingeniería incluye al flujo eléctrico y magnético, como conceptos subordinados y a la corriente eléctrica la coloca como subordinada pero como un concepto importante, mientras que en el primer mapa no la incluye.

Si el profesor pide al alumno una breve explicación de su mapa, ya sea escrita o verbal, logra con ello aumentar las posibilidades de interpretación y tener más información para la evaluación, ya que con ese simple ejercicio el alumno logra explicar el significado de la relación que hizo entre los conceptos.

En resumen, la evaluación por medio de los mapas conceptuales nos permite identificar la estructura jerárquica de los conceptos que atribuye el alumno a la materia de enseñanza.

# CAPÍTULO III

## ESQUEMAS ALTERNATIVOS SOBRE CORRIENTE ELÉCTRICA

### 3.1.- ESQUEMAS ALTERNATIVOS SOBRE CORRIENTE ELÉCTRICA REPORTADOS EN LA LITERATURA.

En esta sección se mostrarán los resultados obtenidos en diversas investigaciones realizadas en distintos países sobre esquemas alternativos acerca de la corriente eléctrica. Los esquemas alternativos reportados no sólo son de jóvenes de nivel medio superior, sino también de niños con estudios de nivel básico.

Solomon (Solomon, *et al.*, 1985) y Tallant (Tallant, 1993) observaron que los niños de 11 a 14 años temen a la electricidad. Según ellos ese miedo se debe a que los equipos eléctricos y electrodomésticos, siempre tienen el emblema "peligro" o "cuidado no tocar". Tal pareciera que los niños y los jóvenes por miedo o respeto a la electricidad deberían olvidarse de ella. Sin embargo, este argumento no es cierto, pues a pesar del miedos, los niños y los jóvenes poseen sus propias ideas sobre corriente eléctrica (Heller, *et al.*, 1992; Nieto, 1988).

Comúnmente los alumnos utilizan los términos relacionados con la electricidad, como sinónimos. Por ejemplo, electricidad, energía, corriente, fuerza, carga y diferencia de potencial, para ellos es lo mismo (Driver, 1985, cap. III; Solomon, *et al.*, 1985), cuando en física se les reconoce como conceptos diferentes, con su propio significado.

Podría suceder que los alumnos utilicen indistintamente los términos referentes a la electricidad, dado que muchos estudiantes piensan en la electricidad como un fluido que se almacena en la batería y se gasta en el funcionamiento de distintos aparatos; es decir, ellos tienen un esquema que podríamos llamar fuente-consumidor o consumo de corriente, donde existe una

fuelle (batería) y un consumidor (foco, motor etc.) (Driver, 1985, cap. III; Tallant, 1993; Shiptone, *et al* 1988; Psillos, *et al*, 1988; Nieto, *et al*, 1988), modelo que se contrapone al modelo físico que sustenta la conservación de la corriente.

Este esquema alternativo fuente-consumidor es muy frecuente, como se comprobó en las investigaciones realizadas con jóvenes de Inglaterra, Francia, Alemania del Este, Suecia y Holanda, cuyas edades oscilaban entre los 15 y los 17 años (Shipstone *et al* 1988), los estudiantes entrevistados ya habían elegido materias afines a carreras científicas y algunos ya habían llevado cursos básicos sobre electricidad, como en el caso de los estudiantes franceses.

Según las investigaciones de Osborne (Osborne, 1991), Shipstone (Shipstone, *et al*, 1988) y Tallant (Tallant, 1993) el esquema fuente-consumidor puede dar origen a esquemas alternos que utilizan niños, jóvenes y adultos para explicar el suceso de encender un foco en circuito simple (pila, foco y alambres) algunos de estos esquemas son: (Tallan 1993; Shipstone, *et al*, 1988; Varela, *et al*, 1988; Driver, 1985, cap. III).

- (a) **Esquema<sup>15</sup> unipolar** (fig. 14 a). No hay corriente en el cable de retorno. Esencialmente sólo se considera activa una terminal de la pila. Algunos alumnos piensan que sería suficiente un solo cable y el otro sólo sería un "cable de seguridad", como un enlace pasivo.

- (b) **Esquema de colisión o choque de corrientes** (fig. 14 b) La corriente fluye hasta el foco desde ambas terminales. Cuando las corrientes chocan el foco se enciende y la corriente se consume.

- (c) **Esquema de atenuación** (fig. 14 c). La corriente fluye de una batería por un circuito en una sola dirección. Una porción de la corriente eléctrica es "consumida" por el primer elemento (foco, resistencia, motor, etc.), debilitándose gradualmente, de manera que regresa menos corriente eléctrica a la batería.

- (d) **Esquema de corriente compartida o de reparto** (fig. 14 d). En un circuito en serie el foco que se encuentra del lado positivo de la pila recibe más corriente que el segundo, sin embargo ambos elementos brillan igual.

- (e) **Modelo Científico** (fig. 14 e). La corriente eléctrica es flujo de cargas eléctricas, en movimiento ordenado, que circulan a través de los materiales conductores. La corriente eléctrica fluye de la batería al foco y del foco regresa a la batería.

---

<sup>15</sup> El autor prefiere llamar "modelos" a los esquemas alternativos.

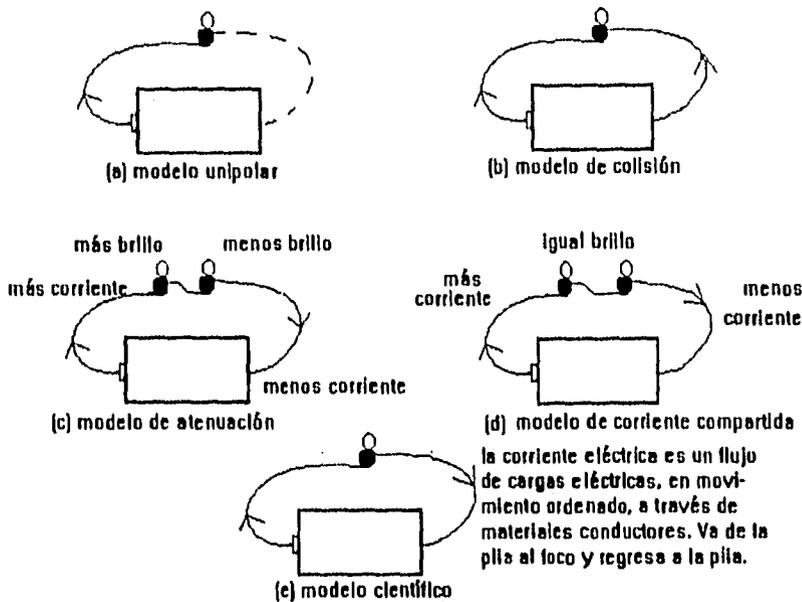


Fig. 14 Modelos de corriente eléctrica en circuitos sencillos.

Solomon durante sus investigaciones en Inglaterra encontró que los alumnos de tercer grado de educación básica, utilizan dos esquemas:

- 1 El esquema de dos tipos de corriente positiva y negativa (Solomon, et al, 1985). Con este modelo se explica que las corrientes fluyen desde los polos opuestos de una pila y pasan por sus respectivos alambres hasta llegar al foco.

2 El esquema del fluido. Explica que la corriente fluye por todo el circuito y es parcialmente usada en el foco, para regresar a la batería.

En una experiencia realizada con alumnos de la Escuela Unitaria Superior de España (ciclo Medio y Superior), para saber como los estudiantes utilizaban sus esquemas sobre corriente eléctrica al analizar las características ciertos circuitos construidos con papel de plata y ocultos (Muñoz, et al, 1989). Se observó que los niños al tratar de identificar los circuitos (ver fig. 15) se dan cuenta que una conexión es igual a otra, por lo tanto a la

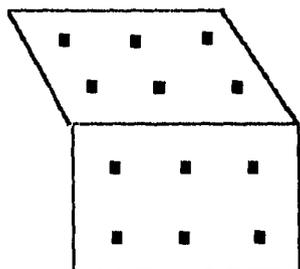


Fig. 15 Circuito construido con papel de plata y ocultos presentado a los niños (Muñoz, 1989)

segunda conexión no la verifican, es decir, los niños utilizan la conmutatividad en la verificación. También siguen un orden en la verificación de las conexiones. Conectan el 1 con todos los demás, el 2 con todos los demás excepto el 1, el 3 con todos los demás excepto el 1 y 2, y así sucesivamente. Muñoz y su grupo observan que los niños también utilizan el principio de transitividad durante el ejercicio.

Durante otro ejercicio, cuando se les pidió a los alumnos que se unieran focos, alambre y socket de modo que los focos prendieran simultáneamente, Muñoz y su grupo registraron que un grupo logró conectar los focos en paralelo y otro grupo los unió en serie. Al comentarles a cada grupo que existía otra manera de conectar los focos, los que habían hecho el circuito en paralelo pronto pudieron conectar los focos en serie. El otro grupo no pudo conectar los focos en paralelo.

A pesar de que los niños logran describir algunas características de los circuitos eléctricos, en sus explicaciones seguían utilizando los esquemas alternativos "unipolar", "de colisión", "de atenuación, (Muñoz, *et al*, 1989). El resultado obtenido por Muñoz y su grupo se ajusta a las características del pensamiento del niño que describe Piaget, señaladas en el Capítulo II de esta tesis; es decir, los niños se encuentran en el periodo de las operaciones intelectuales concretas, en el cual logran realizar las operaciones elementales de ordenación y clasificación. Las operaciones del niño se fundamentan en las experiencias de encender un foco, de producir chispas, de la intensidad de luz del foco, etc.

En el análisis de circuitos más complejos, donde la resistencia es la variable que más importa (fig. 16), Shipstone (Shipstone, *et al*, 1988) observa que los alumnos consideran que la posición de la resistencia en el circuito influye en la intensidad con la que puede brillar el foco, es decir, según ellos si en el circuito

la resistencia  $R_1$  aumenta, la intensidad de luz del foco disminuye. Pero si se aumenta o disminuye el valor de la resistencia  $R_2$  la intensidad de luz del foco no debería variar. Tal vez estas respuestas sean una consecuencia de la utilización del modelo de atenuación (fig. 14 c), o a que los alumnos analizan el circuito por partes y no como un conjunto de elementos que se encuentran enlazados entre sí.

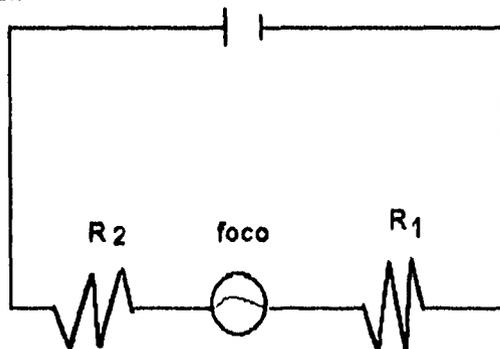


Fig.16 Circuito con resistencia variable

Respecto al voltaje, Tallan (Tallan, 1993) cita que Dupin y Johsua observan que el 50% de 200 entrevistados suponen que la batería es un generador constante de corriente eléctrica. Según Psillos (Psillos, *et al.*, 1988) el voltaje es visto por alumnos griegos de secundaria como una propiedad de la corriente; si no hay corriente no hay voltaje y no reconocen que debe existir diferencia de potencial entre las terminales de una pila o en los extremos de un circuito, como una condición necesaria para que exista corriente eléctrica. Por su parte Hellen y Tallan (Tallan, 1993; Heller, *et al.*, 1992) encontraron que 13 de 14 profesores en formación del Estado de Minesota, pensaban que la batería es una fuente constante de corriente eléctrica y que los conductores se encuentran inicialmente huecos, es decir, son tubos a través de los cuales pasa la corriente.

Psillos, además, reporta (Psillos, *et al.*, 1988) que los alumnos piensan que la batería, en un circuito DC, es un dispositivo que cede corriente eléctrica constantemente al circuito, de modo que el voltaje se mantiene constante entre las terminales y por lo tanto para ellos no puede haber variación de voltaje en una resistencia del circuito.

Shipstone (Shipstone, *et al.*, 1988) y su grupo al pedir a alumnos alemanes, holandeses, suecos, ingleses y franceses, que señalaran la diferencia de potencial que existe entre los puntos 1 y 2, 2 y 3 y 3 y 4 marcados en los circuitos (fig. 17), primero con un foco y después con dos, respondieron que entre la pareja de puntos, el voltaje debería ser igual al de la batería, es decir, la

diferencia de potencial entre los puntos debía ser de 6 volts, sin importar el número de focos que hubiera en el circuito.

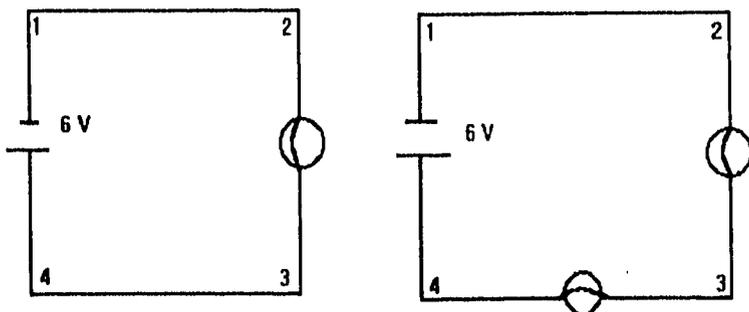


Fig. 17 Circuitos con uno y dos focos

Cuando a los alumnos, entrevistados por Shipstone y su grupo (Shipstone, *et al.*, 1988), se les pidió que anotaran la cantidad de corriente que registrarían los amperímetros señalados en el circuito en serie (fig. 18), anotaron en cada amperímetro una cantidad de corriente eléctrica diferente, afirmando que cada elemento del circuito debía tener cantidades distintas de corriente.

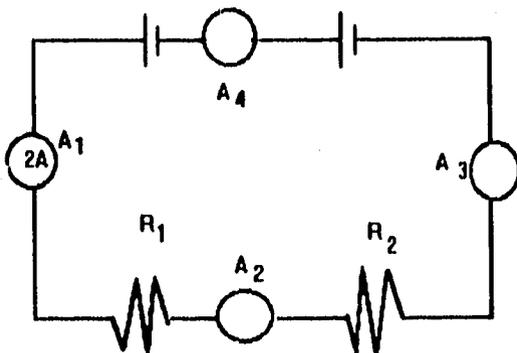


Fig. 18 Circuito con amperímetro y resistencia variable

De las entrevistas con los alumnos de nivel básico, Solomon notó que los alumnos desconocían el significado de la palabra partícula. Sin embargo, hubo alumnos del tercer grado que asociaban la corriente eléctrica con electrones, átomos, neutrones, moléculas, microbios, etc. (Solomon, *et al.*, 1985). Shipstone (Shipstone, *et al.*, 1988) reporta que un grupo pequeño entiende a la corriente eléctrica como un conjunto de cargas o energía.

Es notable como los alumnos integran términos especializados a su vocabulario cotidiano y como tratan de usarlo de manera intuitiva, aunque no comprendan realmente el significado del término (Solomon, *et al*, 1985).

### **3.2. DISEÑO DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN PARA CONOCER LOS ESQUEMAS ALTERNATIVOS SOBRE CORRIENTE ELÉCTRICA EN ESTUDIANTES MEXICANOS.**

Cuando se realiza una operación empírica para medir algo, se debe estar seguro que el instrumento de medida, sea realmente el instrumento que permita medir aquello que se pretende. Por ejemplo, cuando se mide la diferencia de potencial eléctrico con un voltímetro analógico, en el cual se observa la posición de una aguja sobre una escala. Lo que sustenta la medida es una teoría y un grado de desarrollo tecnológico.

La respuesta que da un sujeto al contestar un cuestionario sobre cierto conceptos, sería un indicador de la concepción (científica o alternativa) que posee el sujeto o de que el individuo comienza a construir un modelo. En el dominio de las ciencias sociales destacan tres formas de discutir la validez de las mediciones ( Lang, 1993 ) :

- 1.- La validez de los contenidos del cuestionario.
- 2.- La validez de relación de criterios de interpretación.
- 3.- La validez de las variables de los parámetros a considerar.

La primera se refiere a que las preguntas que constituyen el cuestionario sean representativas de un universo de opciones. La segunda establece una relación entre la medida de las variables o del criterio de como se va interpretar la respuesta del alumno. La tercera se da cuando se comparan las características de los grupos conocidos.

Desde el punto de vista de Lang el presente trabajo de tesis no está validado, puesto que en la tesis se buscó detectar los esquemas alternativos y de como éstos influyen en el proceso de enseñanza aprendizaje.

Con base en la revisión bibliográfica, en la experiencia obtenida en el aula y en la asesoría de investigadores de las áreas científica y pedagógica<sup>16</sup>, se diseñó un par de cuestionarios que se usan como instrumento de investigación para el desarrollo del presente tema de tesis. Con ellos se detectaron los esquemas alternativos del concepto de corriente eléctrica que los alumnos del Nivel Medio Superior y Superior utilizan para explicar el comportamiento de la electricidad en los circuitos eléctricos.

---

<sup>16</sup> Las aportaciones fueron hechas por la Dra. Matilde Vicentini-Missoni y del Dr. Rubén Barrera.

Para lograr el par de cuestionarios antes citados, primero se diseñaron seis cuestionarios cada uno con cinco preguntas. Los cuestionarios fueron aplicados a personas de distinto nivel escolar, oficio o profesión con el fin de poder seleccionar aquellas preguntas que nos refirieran a los esquemas alternativos de nuestros entrevistados; es decir, buscamos que nuestros entrevistados nos proporcionaran sus reflexiones cotidianas sobre el funcionamiento de aparatos electrodomésticos, de los focos, de las pilas, de los cables etc.

En los cuestionarios se incluyeron algunas preguntas con las que se obtenían esquemas alternativos más frecuentes. Durante la selección de preguntas se evitó, hasta donde fue posible, formular preguntas en términos académicos, para no obtener respuestas de este tipo; y se evitó incluir preguntas que tendieran a dirigir las respuestas de nuestros entrevistados.

Al aplicar los cuestionarios preliminares, se observó que la mayoría de los entrevistados tendían a dar respuestas rápidas, breves y superficiales y muchas veces no muy bien redactadas. Bajo estas circunstancias, las respuestas obtenidas resultaron insuficientes para el análisis, por lo tanto se decidió pedir a los alumnos primero resolvieran el cuestionario en forma escrita y posteriormente mediante entrevistas clínicas se ampliaría o aclararía la información de los entrevistados, durante la entrevistas clínicas se les mostraba a los alumnos las respuestas de habían dado por escrito.

### CUESTIONARIO # 1<sup>17</sup>

Escuela o colegio: \_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_

¿ Has estudiado electricidad ?            si ( ) no ( )

Si tu respuesta es afirmativa ¿cuándo la cursaste?

1.- ¿Qué es la corriente eléctrica ?

2.- ¿Por qué supones que los cables de los aparatos electrodomésticos tienen dos alambres?

3.- ¿ Por qué se necesitan dos terminales en las clavijas de los alambres de los aparatos eléctricos y qué pasa si se invierte su posición ?

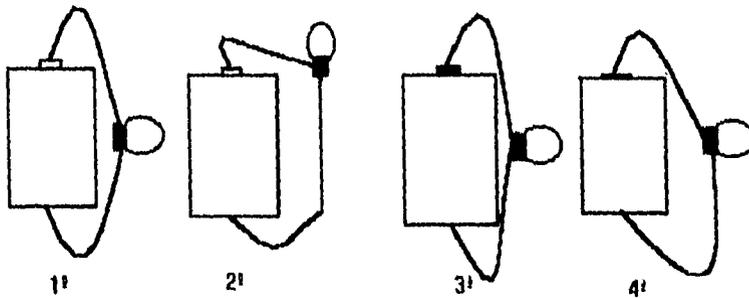
4.- ¿ Por qué tienen los alambres una cubierta de plástico ?

5.- ¿ Qué es un corto circuito ?

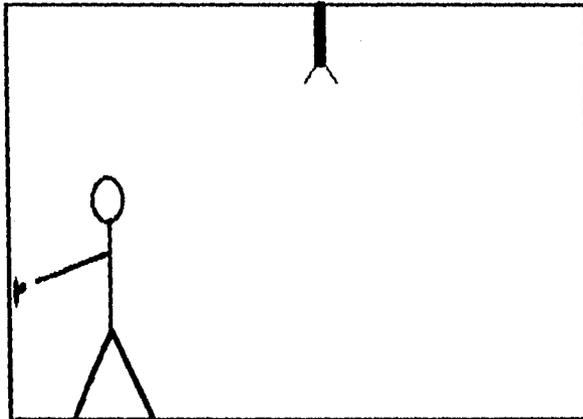
6.- Se conecta un foco a los extremos de una pila por medio de unos alambres y el foco se prende ¿cómo explicas este suceso?

7.- ¿En cuál de los siguientes circuitos no encenderá el foco? ¿cuál será la causa de que no encienda? (Mc. Dermott, 1996)

<sup>17</sup> Las respuestas de los cuestionario se citan en el apéndice.



8.- Observa la siguiente figura ¿ qué sucede si la persona acciona el interruptor? ¿qué pasa con la corriente eléctrica? (Osborne, pág. 282, 1991)



### CUESTIONARIO # 2

- 1.- ¿Qué significan los números que tienen los focos sobre las ampollas de vidrio?
- 2.- ¿Por qué se emplea alambre de distinto grosor para hacer instalaciones eléctricas?
- 3.- ¿Qué significan los números que tienen las pilas?
- 4.- Es común encontrar pilas de diferente tamaño, pero muchas de ellas tienen el mismo número ¿a qué se debe tal similitud y diferencia?
- 5.- ¿Podremos usar alambres delgados en torres de alta tensión para conducir corriente eléctrica?

### 3.3 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del estudio se eligieron cinco grupos de nivel medio superior y superior. Los grupos que estaban formados por alumnos cuyas edades oscilaban entre 16 y 20 años, tenían las siguiente características:

- Grupo A: 17 alumnos de tercer semestre del Bachillerato Tecnológico.
- Grupo B: 22 alumnos de primer semestre del Bachillerato Tecnológico.
- Grupo C: 47 alumnos de primer año de Preparatoria.
- Grupo D: 7 alumnos de tercer año de Preparatoria
- Grupo E: 42 alumnos de primer semestre de la carrera de Biología.

Al pedir a los alumnos que contestaran el cuestionario, se les indicó que no era una evaluación, que contestaran en forma personal, que escribieran lo que realmente pensaban y que no tenían límite de tiempo para contestar el cuestionario.

Los alumnos de los grupos elegidos no aceptaban tener nociones sobre los conceptos de corriente eléctrica, a pesar de que en los programas de estudio de Nivel Básico, Medio y Medio Superior se incluye el tema. Además, todos los alumnos han estado en contacto con los fenómenos eléctricos, puesto que cotidianamente utilizan: radio, televisión, licuadoras, focos, planchas, licuadora etc.

Al grupo A se le entrevistará antes y después de un curso innovador teórico-práctico sobre circuitos eléctricos (más adelante se describen las características de dicho curso). Además, los resultados obtenidos con este grupo serán un parámetro comparativo de los resultados que se obtengan en el resto de los grupos. Cinco meses después del curso se le pidió al grupo A que resolviera el cuestionario número 2, con el fin de observar qué tan integrados tenían los alumnos los conceptos sobre electricidad.

Al grupo B sólo se les entrevistó antes del curso tradicional de electricidad y magnetismo del Nivel Medio Superior. Se considera que tanto los alumnos del grupo B como los del A tienen las mismas condiciones iniciales de conocimiento, puesto que ellos pudieron haber estudiado los temas de electricidad y magnetismo en el Nivel Básico y en el Nivel Medio.

Al grupo C se le entrevistó inmediatamente después de haber cursado el tema sobre electricidad y magnetismo que se imparte en Preparatoria. En este caso se le pregunto al profesor si habían cubierto el tema de electromagnetismo, la respuesta del profesor fue afirmativa.

Al grupo D se le entrevistó después de haber cursado el tema sobre electricidad y magnetismo, que se imparte a los estudiantes que eligen el área físico-matemático.

Se incluyó al grupo E, debido a que son representativos de estudiantes de Nivel Medio Superior que ya cursaron y aprobaron el curso de electricidad y magnetismo, además de que también aprobaron un examen de selección, para continuar su preparación profesional.

Para conocer el estado inicial y final de conocimiento del grupo E se les pidió que contestaran el cuestionario # 1 antes y después del tema de circuitos eléctricos dentro del curso de Física General.

El objetivo principal del manual sobre circuitos eléctricos, es construir un modelo simple que explique los conceptos de corriente, resistencia y voltaje y la relación entre ellos, a partir de los efectos que se producen en un foco o en un alambre conectados a una pila.

En la primera parte del manual se introduce el concepto de circuito cerrado o abierto, pidiendo a los alumnos que prendan un foco, auxiliándose de una pila y un alambre. Posteriormente, se les proporciona a los alumnos diferentes materiales para que los alumnos los clasificaran en conductores y no conductores. Los alumnos se auxiliaron de un circuito eléctrico simple para cumplir con su tarea; previamente se les enseñó a construir circuitos.

Por otro lado, se pide a los alumnos que dibujen cada arreglo del circuito que obtengan, para que de este modo se introduzcan los diagramas de los circuitos eléctricos.

En la segunda sección del curso, se propone un modelo de corriente eléctrica, en donde la intensidad de la luz del foco es el indicador de la cantidad de corriente eléctrica que pasa por él. Este modelo nos lleva a diferenciar los circuitos en serie y en paralelo, así como a introducir el concepto de resistencia y las unidades de medida, tanto de la corriente eléctrica como de la resistencia. Posteriormente se hace un análisis de redes para explicar la función del circuito en las conexiones de los circuitos en serie y en paralelo.

En la tercera sección se define operacionalmente a los circuitos en serie y en paralelo. Para el análisis de ambos circuitos, no sólo se observa qué tan intensa es la luz de un foco, sino que también se introducen una definición operacional de la resistencia y equipos de medida como el amperímetro y voltímetro.

Con el amperímetro se estudia ampliamente el comportamiento de la corriente eléctrica al variar la resistencia en los circuitos en serie o en paralelo.

La cuarta sección esta dedicada al estudio del voltaje e introduce el uso del voltímetro. En esta sección se señala el papel que juega la batería en los circuitos. Al usar el amperímetro y el voltímetro se llega a saber las cantidades de corriente y voltaje que se presentan en el circuito. Durante el ejercicio no se pierde de vista la variación de la resistencia de los materiales conductores.

Finalmente, se hace una relación entre los tres conceptos que se han estudiado para inducir la ley de Ohm.

### **3.4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Del análisis de las respuestas de los cuestionarios se pudo determinar que los entrevistados utilizan fundamentalmente cuatro esquemas, con sus respectivos sub-esquemas, para explicar los fenómenos eléctricos.

#### **Esquema 1 (circuito cerrado)**

La corriente eléctrica es un flujo de algo (energía, electrones, cargas, luz, aniones, cationes, etc.) a través de un circuito cerrado.

En la práctica los alumnos que utilizan este modelo logran construir con cierta facilidad un circuito simple, es decir, un circuito que se construye con una pila, un foco y dos alambres. Este modelo es el más cercano al científico.

#### **Esquema 2 (hidrodinámico)**

La corriente eléctrica es un fluido formado por algo (energía, electrones, cargas, luz, aniones, cationes, etc.) provenientes de una fuente y puede existir sin la necesidad de cerrar el circuito. Por ejemplo, en la pregunta 8 del cuestionario 1, los alumnos responden que al accionar el interruptor, como no hay foco, la corriente eléctrica se cae al suelo o se distribuye por todo el cuarto o los muebles, por eso dan toques.

#### **Esquema 3 (utilitario)**

La preocupación fundamental de los que usan este esquema, es explicar la función de los alambres en los aparatos electrodomésticos. Se encontraron dos sub-esquemas:

##### **sub esquema 3y**

Se requieren dos cables para conducir corriente eléctrica, pues uno es insuficiente para que los aparatos funcionen.

Finalmente, se hace una relación entre los tres conceptos que se han estudiado para inducir la ley de Ohm.

### **3.4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Del análisis de las respuestas de los cuestionarios se pudo determinar que los entrevistados utilizan fundamentalmente cuatro esquemas, con sus respectivos sub-esquemas, para explicar los fenómenos eléctricos.

#### **Esquema 1 (circuito cerrado)**

La corriente eléctrica es un flujo de algo (energía, electrones, cargas, luz, aniones, cationes, etc.) a través de un circuito cerrado.

En la práctica los alumnos que utilizan este modelo logran construir con cierta facilidad un circuito simple, es decir, un circuito que se construye con una pila, un foco y dos alambres. Este modelo es el más cercano al científico.

#### **Esquema 2 (hidrodinámico)**

La corriente eléctrica es un fluido formado por algo (energía, electrones, cargas, luz, aniones, cationes, etc.) provenientes de una fuente y puede existir sin la necesidad de cerrar el circuito. Por ejemplo, en la pregunta 8 del cuestionario 1, los alumnos responden que al accionar el interruptor, como no hay foco, la corriente eléctrica se cae al suelo o se distribuye por todo el cuarto o los muebles, por eso dan toques.

#### **Esquema 3 (utilitario)**

La preocupación fundamental de los que usan este esquema, es explicar la función de los alambres en los aparatos electrodomésticos. Se encontraron dos sub-esquemas:

##### **sub esquema 3y**

Se requieren dos cables para conducir corriente eléctrica, pues uno es insuficiente para que los aparatos funcionen.

### sub-esquema 3ii

Se requieren dos cables en los aparatos eléctricos, porque con uno llegaría demasiada corriente al aparato y lo quemaría. Con dos alambres la corriente se reparte y sólo así los aparatos funcionarán correctamente, sin quemarse.

### Esquema 4 (dos tipos de corriente eléctrica)

La preocupación fundamental de los alumnos que presentan este esquema es la de explicar que existen dos tipos de corriente eléctrica. Se encontraron dos sub-esquemas:

#### sub-esquema 4i (corrientes + y -)

Existen dos tipos de corriente, una de cargas positivas y la otra de cargas negativas. Ambas son necesarias para que funcionen los aparatos. La corriente positiva circula por un alambre y la negativa por el otro.

#### sub-esquema 4ii (tierra y corriente)

Se necesitan dos alambres para que uno de ellos sea tierra y el otro corriente. La tierra y la corriente se repelen o se atraen. Las clavijas guardan una sola posición, si se invierte la posición de la clavija los aparatos no funcionan, se queman o funcionan al revés.

Los alumnos al responder el cuestionario usan uno, dos o una combinación de los esquemas alternativos enunciados anteriormente, como se puede observar en la tabla # 1.

De los 135 alumnos entrevistados se obtuvieron los siguientes resultados:

### Grupo A

Del grupo A, 17 alumnos de tercer semestre de Bachillerato Tecnológico, se obtuvieron los siguientes resultados (Ver tablas # 1 y # 2):

1) Dos alumnos antes del curso sólo describen lo que observan. Cuando se les preguntaba algo más sobre el circuito, contestaban "no lo sé".

**Después** del curso un alumno tiende a cambiar al esquema 1, pues logra identificar algunas características de la corriente eléctrica en circuitos y el otro tiende a combinar los esquemas 2 y el sub-esquema 4i, es decir, piensa en la corriente eléctrica como un fluido eléctrico que puede ser positivo y negativo. Por ejemplo, antes sólo contestaban si o no y comentaban que la corriente eléctrica es una forma de energía. Después, puede identificar las características de un circuito y comenta que la corriente eléctrica son partículas que pasan por los materiales conductores.

2) Tres alumnos presentaron el esquema 1, **antes** del curso y lo reforzaron **después**, incorporando más elementos académicos.

Por ejemplo, antes consideraron la corriente eléctrica como un flujo de energía y después como un flujo de electrones a través de un material conductor.

3) Cuatro alumnos **antes** del curso presentaron el sub-esquema 3i.

**Después** del curso los tres alumnos conservan el sub-esquema. En sus explicaciones posteriores incorporaron más elementos académicos, tales como: electrones libres, flujo de corriente, materiales conductores.

Un alumno cambió al esquema 1 después del curso. Sin embargo, se nota una influencia fuerte de su esquema anterior porque al mostrarle su cuestionario previo dice estar de acuerdo con sus respuestas anteriores.

4) Siete alumnos tenían el sub-esquema 4i; **antes** del curso.

**Después** del curso tres alumnos conservan su esquema, uno cambia al sub-esquema 3i y los tres alumnos restantes cambian al esquema 1.

Por ejemplo, los alumnos que hacen un cambio al esquema 1 tienen una influencia del esquema anterior, pues comentan que la corriente eléctrica es un flujo de electrones, pero no ven la necesidad de que el circuito esté cerrado para que la corriente eléctrica pueda fluir en el circuito.

5) Un alumno **antes** del curso combina los esquemas 3i y 4i.

**Después** del curso conserva su esquema.

Se observa que **después** del curso teórico-práctico de circuitos eléctricos la mayoría de los alumnos modifican sus esquemas. Los alumnos que cambian al modelo 1, ya no definen a la corriente eléctrica como un flujo de energía, cargas, luz, aniones, etc., sino como un flujo de partículas o de electrones. Con excepción de los alumnos que utilizan el esquema 2 o la combinación del esquema 2 con el sub-esquema 4i, el resto de los alumnos después del curso muestran la preocupación de cerrar el circuito para que la corriente eléctrica circule por el circuito.

## **Grupo B**

En el grupo B , 22 alumnos del primer semestre de Bachillerato Tecnológico, entrevistados antes de haber tomado un curso sobre electricidad y magnetismo en su nivel, se observa (ver tabla # 1):

1) Nueve alumnos del curso son descriptivos, ya que ellos sólo mencionan los mecanismos que se efectúan para encender un foco en un circuito simple.

2) Ocho alumnos utilizan el sub-esquema 4i.

3) Cuatro alumnos combinan los esquemas 2 y el sub-esquema 4i. Por ejemplo: "la corriente eléctrica es un flujo de electrones que corren a través de los alambres e inician su viaje en los polos de la pila. Si no hubiera foco la electricidad se depositaría en el socket". o "la corriente eléctrica es un circuito por donde pasa corriente positiva y negativa. Cuando no hay foco la corriente se desperdicia."

4) Un alumno combina el esquema 2 con los sub-esquemas 3ii y 4i del siguiente modo: "la corriente eléctrica es una fuerza o energía la cual se distribuye en la misma cantidad por los alambres; uno de ellos es positivo y el otro negativo. Si no hubiera foco la electricidad se desperdiciaría".

En este grupo se observa antes de su curso tradicional, que un poco menos de la mitad de alumnos son descriptivos y el resto utiliza el sub-esquema 4i, o lo combinan con el esquema 2 o con el sub-esquema 3ii y ninguno utiliza el esquema 1. Para la mayoría de ellos la corriente eléctrica sería una fuerza una energía, la cual se deposita en el socket o se desperdicia cuando no hay foco.

## **El grupo C**

En el grupo C, 47 alumnas de primer año de preparatoria entrevistadas después de un curso tradicional de electricidad y magnetismo, es decir, en pizarrón y gis, se observó (ver tabla # 2):

1) Un sólo alumno utiliza el esquema 1 en sus explicaciones.

2) Cuatro alumnos utilizan el sub-esquema 3i. Por ejemplo, un alumno comenta "se necesitan dos alambres para que pase mayor energía".

3) 24 alumnos dan sus respuestas en términos de dos tipos de corriente, es decir, utilizan el sub-esquema 4i. De estos 24 alumnos, 7 utilizan el esquema 4i con menor frecuencia, pues apenas empiezan a construirlo. Es sus explicaciones de vez en cuando tiende a comentar que existe la tierra y corriente.

4) Cuatro alumnos hacen una combinación del esquemas 2 con los sub-esquemas 4i y 3i como se muestra a continuación: "Se tienen dos cables para

jalar suficiente corriente y un alambre tiene cargas positivas y el otro negativas. Cuando no hay foco la corriente se deposita en el socket."

5) 12 alumnos hacen una combinación del esquemas 2 y del sub-esquema 4i de la siguiente manera: "Los cables de los aparatos electrodomésticos tienen dos alambres porque por uno circula corriente positiva y por el otro la negativa. Si no hubiera foco la corriente se liberaría."

6) Dos alumnos hacen una combinación de los sub-esquemas 3i y 4i del siguiente modo: "Hay dos puntas en los cables de los aparatos electrodomésticos para que haya mayor corriente, ya que uno es polo positivo y el otro negativo".

La característica del este grupo, es que la mayoría utiliza el sub-esquema 4i, el cual combina con el esquema 2. Un alumno utiliza el esquema 1. Entre ellos la definición de corriente eléctrica que domina, es en la que existen dos tipos de corriente eléctrica la positiva y la negativa. Cuando un circuito se cierra y no hay foco la corriente se desperdicia o libera.

### **Grupo D**

En el grupo D, siete alumnas de tercer año de preparatoria entrevistadas después de que estudiaron el tema de electricidad y magnetismo, se encontró (ver tabla # 2):

1) Una alumna es descriptiva.

2) Cinco alumnas poseen el sub-esquema 4i. "Al conectar los alambres a la pila y al foco, por un alambre pasa la corriente positiva y por otro la negativa."

3) Una alumna hace una combinación del esquema 2 con el sub-esquema 3ii, del siguiente modo: "Con dos alambres la energía fluye con mayor rapidez, mientras que con uno el aparato no funcionaría. Al no haber foco en el circuito, la corriente sigue fluyendo".

A pesar de que las alumnas decidieron inscribirse en el área físico-matemática y cursaron el tema de electromagnetismo en esa área, se observa que sigue existiendo una alumna descriptiva y la mayoría utiliza el sub-esquema 4. Entre ellas se maneja la existencia de dos tipos de corriente eléctrica, la cual puede comportarse como un fluido.

### **Grupo E**

El grupo E, 42 alumnos de Nivel Superior, se caracteriza por haber cursado y aprobado un mayor número de cursos de electricidad y magnetismo y se le

entrevistó **antes** y **después** del curso teórico-práctico de circuitos eléctricos. Los resultados obtenidos fueron los siguientes (ver tablas # 1 y # 2):

1) Un alumno **antes** del curso posee el esquema 1, el cual sigue conservando **después** del curso. Lo usa con mayor frecuencia y con términos más académicos.

2) **Antes** del curso un alumno posee el esquema 2.

**Después** del curso el alumno combina el esquema 2 con el sub-esquema 4i.

3) Tres alumnos **antes** del curso usan el sub-esquema 3i.

**Después** del curso un alumno cambia al esquema 1, otro conserva el sub-esquema 3i y el tercero cambia al esquema 1, tiene influencia del sub-esquema 4i, es decir, piensa que para que exista corriente eléctrica el circuito debía cerrarse y que puede ser que la corriente sea positiva o negativa.

4) Dieciocho alumnos, **antes** del curso, utilizan el sub-esquema 4i.

**Después** del curso cinco alumnos conservan su esquema, mientras que diez cambian al esquema 1, dos de ellos tienen una leve influencia del sub-esquema 4i y tres combinan el modelo 2 y el sub-esquema 4i.

**Antes** los dieciocho alumnos pensaban que la corriente eléctrica era una forma de energía que circulaba por dos caminos : positivo y negativo.

**Después** los alumnos que cambiaron al esquema 1 consideraron que "la corriente eléctrica es un flujo de electrones que corre por un circuito. Los alumnos que combinan el esquema 2 con el sub esquema 4i piensan: "En un circuito fluye la corriente positiva y negativa. Si en un socket no hubiera foco la corriente se esparciría por el espacio".

5) **Antes** del curso seis alumnos utilizan el sub-esquema 4ii.

**Después** del curso, sobre circuitos eléctricos, un alumno conserva su esquema y cinco cambian al sub-esquema 4i.

6) Cuatro alumnos **antes** del curso combinan el esquema 2 y sub-esquema 4i.

**Después** un alumno cambia al sub-esquema 4i, dos alumnos cambian al esquema 1 y el otro al esquema 2. **Antes** del curso definen a la corriente eléctrica como ondas con carga positiva y negativa. "Si un alambre no tiene aislante, la corriente se sale". **Después** del curso opinan: "existen dos alambres, uno para la corriente positiva y otro para la negativa".

7) Dos alumnos **antes** del curso combinan el sub-esquema 4i con el esquema 1.

**Después** del curso dos alumnos usan el esquema 1, uno de ellos tiene una leve influencia del sub-esquema 4i.

8) Tres alumnos **antes** del curso combinan el sub-esquema 4i con el 4ii.

Después del curso dos alumnos cambian al esquema 1, mientras que un alumno usa el sub-esquema 4i, del siguiente modo: Antes "los aparatos tienen dos cables porque uno es tierra y el otro corriente positiva o negativa". Después del curso opinan: "no pasa nada si invertimos la posición de la clavija, puesto que da lo mismo utilizar cada conductor como positivo o negativo. La corriente circula a través de ellos de igual modo".

9) Un alumno combina los sub-esquemas 3i con el 4i antes del curso. **Después** cambia al esquema 1.

10) Tres alumnos que **antes** del curso eran descriptivos, **después** tomaron el sub-esquema 4i para sus explicaciones.

Las respuestas de los alumnos contienen mayor información académica antes del curso pero siguen confundiendo los conceptos científicos. Después del curso se observa que existe un mayor número de alumnos que utilizan el esquema 1, y en general el lenguaje que utilizan es más académico.

TABLA # 1

Esquemas que presentan alumnos entrevistados antes de haber estudiado el tema de electromagnetismo.

MODELOS	GRUPO A	GRUPO B	GRUPO E
Descriptivos	2	9	3
esquema 1	3		1
esquema 2			1
sub-esquema 3i	4		3
sub-esquema 4i	7	8	18
sub-esquema 4ii			6
esquema 2 y sub-esquemas 3ii y 4i.		1	
esquema 2, sub- esquema 4i		4	4
sub- esquemas 3i y 4i.	1		1
esquema 1 y sub esquema 4i			2
sub-esquema 4i y 4ii			3
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>22</b>	<b>42</b>

TABLA # 2

Esquemas que presentan los alumnos después de haber estudiado el tema de electromagnetismo.

ESQUEMAS	GRUPO A	GRUPO C	GRUPO D	GRUPO E
Descriptivos			1	
Esquema 1	8	1		20
Esquema 2				2
sub-esquema 3i .	4	4		1
sub-esquema 4i	3	24	5	14
sub-esquema 4ii.				1
Esquema 2 y sub- esquemas 4i y 3i		4		
esquema 2 y sub-esquema 4i	1	12		4
sub-esquemas 3i y 4i	1	2		
Esquema 2 y sub-esquema 3ii			1	
TOTAL	17	47	7	42

De la tabla # 1 se observa en los tres grupos que antes del curso teórico-práctico sobre circuitos eléctricos, considerado innovador, y del curso de pizarrón y gis sobre electricidad y magnetismo, existen alumnos descriptivos y alumnos que sólo describen cada suceso: por ejemplo, "se encendió el foco", "es un circuito", etc. Los alumnos descriptivos que más llaman la atención son los alumnos del grupo E, porque son estudiantes de la carrera de Biología que han acreditado mayor número de cursos previos al propuesto de circuitos eléctricos. También es muy notable que sólo un alumno de Biología utiliza el esquema 1.

También se observa que en el grupo B las condiciones iniciales de conocimiento son muy pobres, lo que hace muy difícil la transmisión de conocimientos con la enseñanza tradicional.

Después del curso teórico-práctico sobre circuitos eléctricos o de los curso sobre electromagnetismo abordados en forma tradicional, se observa que, exceptuando a los alumnos del grupo D, los alumnos descriptivos empiezan a construir sus esquemas y se observan, tanto en el grupo A como en el B, más alumnos con el esquema 1 (47.05% en grupo A y 47.6% en el grupo E de Biología; ver tabla # 2). En el grupo C se encuentra un alumno que utiliza el esquema 1, que corresponde al 2.1% del total de los alumnos.

Los estudiantes que utilizan combinaciones de esquemas, están en una etapa de transición que podría ser aprovechable para aumentar el número de alumnos que utilicen el esquema 1. Para conseguirlo necesitaríamos propiciarle a los alumnos un ambiente adecuado para el aprendizaje y que el material didáctico

corresponda al nivel intelectual del sujeto. Además durante el desarrollo de estrategias didácticas se deben tomar en cuenta los esquemas alternativos, para que los alumnos le vean utilidad a lo estudiado. De no ser así, los alumnos cambiarán a un esquema no esperado o permanecerán con los suyos (Moreira, 1983).

Los resultados obtenidos son alentadores puesto que antes de que los alumnos estudiaran cualquier curso de electromagnetismo en el Nivel Medio Superior, se observa que la mayoría de ellos utilizaban, para dar sus explicaciones sobre circuitos eléctricos, el sub-esquema 4i; en el grupo A se detecta el 41.1% de los alumnos, en el grupo E 42.8% y en el grupo B el 36.3% (ver Tabla #1), porcentajes muy altos para la información científica que los alumnos anteriormente habían recibido en el Nivel Básico y Medio.

El porcentaje de alumnos que utilizan el sub-esquema 4i se reduce, después del curso sobre circuitos eléctricos, al 17.6 % en el grupo A y al 33.3% en el grupo E. Sin embargo, en el grupo C, de los 47 alumnos que estudiaron el tema de electromagnetismo, un alumno utiliza el esquema 1 y el 51% de ellos utilizan el sub-esquema 4i. El caso más extremo se observa en los alumnos del grupo D, puesto que estos alumnos ya han aprobado el curso de Física de primer y tercer años. Además, han elegido el área físico-matemática, es decir, los alumnos del grupo D prefieren estudiar temas científicos o tecnológicos y no obstante el 71.4 % utilizan el sub-esquema 4i.

La preferencia por el sub-esquema 4i de los alumnos, puede deberse a que durante la enseñanza del tema de electricidad y magnetismo, es costumbre iniciar con el tema de electrostática, de acuerdo al programa de estudio vigente; durante ese periodo de estudio se pone énfasis en la existencia de dos tipos de carga eléctrica: la positiva y la negativa. Sin embargo, durante el estudio de la electrodinámica no se destaca la movilidad de las cargas eléctricas, tanto en los materiales conductores como en los no conductores. Por otra parte la experiencia de los alumnos se centra en el uso o manejo de pilas secas o baterías de automóviles o equipos eléctricos, en las cuales se marcan las terminales con los signos positivo y negativo. Los alumnos suponen que ambas cargas se mueven entre los materiales conductores eléctricos.

Los nueve alumnos descriptivos del grupo B, representan un número muy alto (40% del grupo) de estudiantes que no han podido integrar coherentemente elementos académicos que les permita comprender la información sobre electromagnetismo transmitida en el aula; tal vez esto se deba a que en los niveles de enseñanza anteriores, no se tomaron en cuenta sus esquemas alternativos, ni el nivel de maduración intelectual. Unido a esta situación, en este grupo de estudiantes de primer semestre de Nivel Medio Superior, no

utilizan el esquema 1 para explicar el comportamiento de los fenómenos eléctricos.

### **3.4-i ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL CUESTIONARIO # 2.**

Con el fin de saber si los alumnos, que estudiaron con el enfoque del curso teórico práctico habían integrado los conceptos o no a su red de conocimiento y ver si con tales conceptos los alumnos explicaban otros fenómenos eléctricos, un semestre después de que los alumnos del grupo A aprobaron el curso de física, se les pidió que contestaran el cuestionario # 2 (citado en la sección anterior), donde se involucran conceptos de potencia, voltaje y resistencia.

El grupo piloto constituido originalmente por 17 alumnos, después de cinco meses del curso introductorio, quedó con 11 alumnos. Las razones por las que el grupo se redujo, no fueron porque hubieran reprobado física, sino por cuestiones administrativas o porque habían reprobado otras materias. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Los esquemas alternativos que utilizan los 11 alumnos, respecto a la potencia, son los siguientes.

1) Cuatro alumnos comentaron que los números de los focos deben de estar relacionados con la cantidad de energía eléctrica o voltaje que recibe el foco, pero no lo asocian con la potencia del foco.

Esos cuatro alumnos opinan que si llega mucha energía o voltaje al foco, éste se fundiría. De sus comentarios podemos citar un ejemplo: "Me imagino que el número es la capacidad que le dan o hasta qué voltaje puede emitir sin que se funda". "Es el voltaje que resisten los focos mediante la resistencia que tienen. Solo permiten cierta cantidad de voltaje".

2) Cuatro alumnos asocian la potencia con las unidades; las relacionan con la intensidad de luz. Para ellos existe una relación estrecha entre los números y la potencia, por ejemplo: "a mayor número de watts, mayor iluminación o mayor intensidad de luz".

Los alumnos que responden de esta manera intuyen una relación entre las unidades de potencia y la intensidad luminosa

3) Tres alumnos piensan en términos de cantidad de luz, de calor o de electrones que producen fricción en la resistencia del material. Algunas respuestas que dieron fueron: "Es la cantidad de electrones que se friccionan en la resistencia". "Es el número de calor que se va a producir en la resistencia". "Es la intensidad de luz". En estas respuestas se observa que los alumnos encuentran una relación intuitiva entre corriente eléctrica, calor y resistencia.

En general, los alumnos intuyen una relación entre los conceptos que mencionan y la resistencia, pero no logran integrarlos.

Los esquemas alternativos observados en los 11 alumnos, respecto al voltaje, son los siguientes:

1) Del número que se encuentra en la pila, siete alumnos opinan que es la cantidad de energía, corriente o electricidad que se encuentra almacenada en la batería. Ninguno de los siete alumnos, pudo relacionar el tamaño con la potencia de la batería, solo dos de ellos intentaron razonar en términos de tamaño. Indicaban que serviría: "para un mejor manejo en los aparatos". "La misma cantidad de corriente se debe usar en distintos aparatos eléctricos"

2) Tres alumnos se refieren a la potencia de las pilas en término de las unidades. El tamaño lo relacionan con el tamaño del aparato que puedan usar. Por ejemplo, un alumno opina del número en las pilas, como la capacidad para emitir cierto voltaje. Respecto al tamaño dice: "Se puede decir que las grandes se utilizan para hacer funcionar aparatos más grandes y las pequeñas para aparatos menos complicados". Estos alumnos intuyen una relación entre la pila y el tamaño del equipo eléctrico; a mayor equipo eléctrico mayor será el tamaño de la pila.

3) Para una alumna el número de las pilas está asociado con la resistencia, tamaño o duración de la misma.

Respecto a la resistencia:

1) Cinco alumnos utilizan una relación entre la resistencia y el grosor del alambre: "a mayor grosor (sección transversal) mayor resistencia". Esta relación no toma en cuenta la composición del alambre y mucho menos la longitud del mismo. Ejemplo: "Pienso que entre más grueso sea el alambre éste tiende a resistir más". "Cuando es corriente normal o poquita se utiliza alambre delgado y cuando haya bastante corriente uno grueso estaría bien".

2) Tres alumnos usando el modelo 2, donde la electricidad se trata como un fluido, piensan que si usan un alambre delgado pasará poca corriente y si usan uno grueso fluirá mayor corriente. Por ejemplo, al contestar la pregunta 5 del cuestionario 2, escribieron: "No podemos usarlos por que no resistirían ese tipo de corriente, además de que pasaría poquísima corriente".

3) De este grupo se encuentran tres alumnos que son descriptivos, puesto que ellos sólo señalaban las características del alambre.

4) Un alumno relaciona el grosor del material con la velocidad de los electrones. "Si el alambre es delgado y los electrones viajaran rápidamente (debido a la alta tensión) el alambre se quemaría".

Se observa que algunos alumnos utilizan el esquemas cercano al científico y el esquema hidrodinámico principalmente. Además de que confundiendo a la corriente eléctrica con el voltaje y con la energía

### **3.4.- ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MODELOS HISTÓRICOS, LOS ESQUEMAS REPORTADOS EN LA LITERATURA Y LOS OBTENIDOS CON ESTUDIANTES MEXICANOS.**

En el Capítulo I, se señaló que durante el desarrollo histórico de los conceptos de la electricidad se conformaron distintos modelos antes de conocer el modelo científico que hoy se enseña en las aulas de Nivel Medio Superior. Como resumen aquí se enuncian dichos modelos:

#### **Modelo del fluido eléctrico.**

El efluvio o fluido eléctrico es un fluido especial, que no tiene peso y que se desprende del ámbar al ser frotado con piel de gato.

#### **Modelo de dos fluidos eléctricos**

Existen dos tipos de fluido eléctrico: el vitreo y el ambarino. Ambos se repelen si son de la misma clase o se atraen si son de clase distinta.

#### **Modelo termo-eléctrico**

La electricidad se produce por calor. Cuando entre las uniones de dos materiales distintos, como el cobre y el bismuto, se coloca una flama se produce electricidad.

#### **Modelo atómico, propuesto por Demócrito y Leucipo**

La materia está compuesta por átomos, partículas indivisibles que están en constante movimiento.

#### **Modelo de fluido elástico.**

La electricidad es un fluido elástico compuesto de partículas extremadamente pequeñas, que junto con el fluido se desplaza sobre los materiales sin que el material ofrezca resistencia al paso de las partículas.

#### **Modelo de cantidades discretas.**

La corriente eléctrica se transfiere de un material a otro en cantidades discretas o múltiplos de un valor mínimo.

## Modelos contemporáneos

- La corriente eléctrica se produce, cuando en un conductor existen muchos electrones libres que se mueven en la misma dirección (Mileaf, pág. 45, 1977).
- Si los extremos de un alambre se conectan a los polos de una batería, se cierra el circuito eléctrico, con lo que se genera un campo eléctrico. El campo eléctrico generado actúa sobre los electrones para darles movimiento en dirección opuesta al campo eléctrico (Halliday, et al, pág. 1105, 1980).
- Una corriente eléctrica es un flujo de partículas eléctricas en un conductor metálico (Haber-Schaim, et al, pág. 469, 1975).

Se puede observar que durante el desarrollo histórico de la electricidad, el modelo de fluido eléctrico domina ampliamente, así como entre los estudiantes de Nivel Medio Superior domina el sub-esquema que acepta dos tipos de corriente eléctrica: la positiva y la negativa y la combinación de este esquema con el esquema 2 o hidrodinámico o con el sub-esquema 3i. Es decir, dadas las combinaciones de los esquemas, los alumnos piensan en una corriente eléctrica como un fluido eléctrico con dos tipos de cargas: la positiva y la negativa, la cual circula sin necesidad de cerrar el circuito y que se distribuye entre los alambres.

Asimismo se observa que los esquemas reportados en la literatura de investigación educativa: fuente consumidor, unipolar, colisión de corrientes, de atenuación y de corriente compartida, están fuertemente influenciados por el modelo de fluido eléctrico.

Novak afirma que el cambio conceptual en los alumnos no se da totalmente ni de inmediato; es decir, los alumnos en pocas horas o días no van a cambiar su manera de pensar. No obstante el modelo de fluido es el primer paso para que el sujeto logre un cambio conceptual, y lo será con toda certeza si al esquema de fluido eléctrico se le incluye una dirección en la corriente eléctrica y la necesidad de cerrar el circuito (Tallan, 1993). Además es necesario hacer notar a los alumnos que hacen la combinación de los esquemas 2 con el sub-esquema 4i o con el sub-esquema 3i la características del concepto de potencia eléctrica.

Durante el desarrollo histórico se observó que a pesar de que hubo hipótesis de que el fluido eléctrico estaba compuesto de partículas, no fue aceptado de inmediato sino hasta que hubo un experimento crucial y hasta que las sociedades científicas encontraron dificultad para explicar nuevos fenómenos, como el comportamiento de los rayos catódicos.

Los alumnos que mezclan las palabras académicas con su lenguaje común y que utilizan de una manera intuitiva y con poca frecuencia el modelo académico, necesitan información que les permita diferenciar los conceptos de calor, luz y energía y generar nuevas situaciones de aprendizaje, puesto que ante nuevas situaciones de aprendizaje los alumnos tienden a interpretar la nueva información con sus esquemas alternativos.

# CAPÍTULO IV

## CONCLUSIONES.

Después de haber analizados los resultados de investigación educativa reportados en la literatura y compararlos con los esquemas encontrados en estudiantes mexicanos de Nivel Medio Superior, se observa que los esquemas alternativos son universales y por su arraigo en la mente de los sujetos son muy difíciles de modificar. También se observa que los esquemas alternativos tienen similitud con los modelos científicos utilizados durante el desarrollo histórico del concepto de electricidad, por lo cual se ve la conveniencia de utilizar las similitudes durante el proceso de enseñanza como una herramienta didáctica, puesto que los alumnos pueden observar como evoluciona el conocimiento científico.

Los resultados obtenidos con el grupo A y el grupo E (de Biología), después de haber impartido el curso teórico-práctico sobre circuitos eléctricos (con el cual se pretende facilitar el modo de ofrecer experiencias a los estudiantes), son muy alentadores puesto que al comparar los resultados mostrados en las tablas # 1 y # 2, se puede observar que antes del curso teórico-práctico de circuitos eléctricos existían alumnos que sólo describían lo que observaban y después son capaces de utilizar el esquema 1, esquema cercano al modelo científico. También se observa que después del curso teórico práctico se tienen ocho alumnos que utilizan el esquema 1, cantidad que representa alrededor del 47 % del total de los alumnos del grupo A, y 20 alumnos del grupo de Biología que representa aproximadamente el 47 % del total.

Como caso particular, se observa que los alumnos del grupo A, modifican sus esquemas o los combinan con uno o más esquemas, puesto que incorporan ideas importantes a sus explicaciones como la del circuito cerrado o abierto. También hicieron algunas observaciones sobre la relación entre conceptos,

como la de voltaje con potencia o resistencia con corriente eléctrica, después del curso teórico-práctico sobre circuitos eléctricos.

Sólo tres alumnos mantuvieron el sub-esquema 4i, aún después del curso de circuitos eléctricos y cuatro alumnos del grupo piloto continuaron utilizando el sub-esquema 3i (con el cual suponen que con un cable pasa insuficiente corriente para que funcione los aparatos).

Durante el desarrollo del concepto de corriente eléctrica descrito en el capítulo I, se observó que siempre existieron modelos rivales que nunca se conciliaron, o que un modelo se impone sobre el otro, o que con el tiempo algunos modelos se mezclan y van modificado poco a poco hasta llegar a un modelo científico, tal y como hoy lo conocemos. Es posible que algo similar ocurra en la mente de los alumnos cuando tratan de construir sus esquemas académicos, puesto que existe la posibilidad de que los alumnos cambien sus esquemas por un modelo más cercano al científico.

En este trabajo se puede observar que los alumnos modifican sus esquemas paulatinamente cuando son sometidos a cursos donde existe la preocupación de que los alumnos confronten sus esquemas alternativos con los modelos científicos que se les presenta en el aula, a través de la experimentación.

Los alumnos del grupo piloto durante el desarrollo del curso se encontraron en una situación dinámica, durante la cual pudieron comprobar qué tanta validez tenían sus esquemas. Cuando los alumnos se dieron cuenta que los resultados de sus experiencias eran contrarios a lo que ellos pensaban, tuvieron la necesidad de encontrar otra forma de explicar el resultado del experimento. En esta situación los alumnos intercambiaron ideas, primero entre ellos y después con el profesor. Cuando sus esquemas modificados explicaban los resultados que habían obtenido, los alumnos quedaron satisfechos y continuaron sus tareas.

El que algunos alumnos no modificaran sus esquemas, tal vez se deba a que no se involucraron tanto en las tareas propuestas, no las hicieron o buscaron entre el grupo quien se las resolviera. El curso teórico práctico promueve que el alumno manipule los objetos, lo cual les permite desarrollar destrezas manuales y mentales. Es decir, los ejercicios que realizaron los alumnos tienden a propiciar que en ellos afloren estructuras mentales con las que toman conciencia de sus conocimientos y llegan a formular hipótesis, que al verificarlas pueden hacer que su conocimiento progrese (Muñoz, *et al.*, 1989). Los alumnos que no realizaron las tareas no tuvieron oportunidad de adquirir dichas destrezas.

Es cierto que existe una semejanza entre los esquemas alternativos de los alumnos y los modelos que se construyeron a lo largo de la historia. Pero de

ninguna manera los esquemas alternativos de los alumnos y los modelos científicos se desarrollaron de la misma manera.

Los esquemas de los alumnos se encuentran fuertemente influenciados por la tecnología del presente y por el modo de cómo se enseña, con base en la influencia socio-cultural y natural en la cual los alumnos construyen sus explicaciones. Los modelos científicos se construyen para explicar la relación existente entre distintos conceptos físicos en términos más simples y así atribuirle al fenómeno físico un conjunto de supuestos acerca su estructura interna. Una vez establecido se verifica cual es el grado de probabilidad del modelo. A partir de la refutación se establecen nuevas leyes, que a su vez son refutadas para generar un avance en el conocimiento (Barrera, *et al.*, 1982). Por ejemplo, el esquema de preferencia de los alumnos, es el esquema que admite que existen dos tipos de corriente: positiva y negativa. La fuente de este esquema se encuentra en diversos equipos eléctricos, baterías, aparatos electrodomésticos, equipos de medición, etc., donde se puede distinguir las marcas + y -, marcas que hacen suponer a los alumnos que esos lugares son almacenes de corriente positiva y negativa, respectivamente.

Una herramienta más para buscar el cambio de ideas durante la enseñanza de la ciencia, es la semejanza que existe entre los esquemas de los alumnos y los diferentes modelos científicos utilizados durante el desarrollo de la ciencia. La semejanza puede ser aprovechada para formular estrategias de enseñanza que permitan al alumno enfrentar experiencias que le hagan conocer las deficiencias de sus esquemas y así modificar sus ideas. El alumno al conocer sus deficiencias, podría modificar su forma de pensar o por lo menos tendría conciencia de los problemas conceptuales del pasado, con los cuales se enfrenta durante su enseñanza (Castro, 1992; Usabiaga, *et al.*, 1982).

El conocimiento científico de frontera tarda en llegar al sistema educativo y a la población escolar, pues con frecuencia se trasmite en el aula, información que ya ha sido superada o no actualizada. Por ejemplo, en la actualidad en el programa de estudio del Nivel Medio Superior no se contempla el estudio de la corriente eléctrica en materiales superconductores, siendo que fueron descubiertos a principios del siglo.

Se debe tener en cuenta que el conocimiento común de una población es dinámico, es decir, se va modificando conforme va adquiriendo información. Los modelos anteriores influyen en la mente de la mayoría de los sujetos y se tarda en utilizar un modelo nuevo.

La población actual presenta esquemas alternativos fuertemente influenciados por un modelo del siglo pasado, que apoyaba la existencia de dos tipos de corriente: positiva y negativa.

De esto se deduce que existe un retraso en la utilización de los modelos científicos.

Se supone que la influencia de los nuevos conocimientos en la actualidad puede ser acelerada por los medios masivos de comunicación. Ellos pueden difundir los modelos aceptados por la comunidad científica con mayor rapidez y el mensaje debe ser claro y verídico. Sin embargo, puede suceder que los conceptos sean interpretados inadecuadamente por quienes los transmiten o por quienes los reciben. Para evitar la difusión de errores conceptuales por los medios masivos de comunicación, es recomendable abrir espacios para que los profesionales de la divulgación y enseñanza realicen una transmisión de conceptos veraz.

Actualmente en Universum, Museo de las Ciencias, existe la preocupación por transmitir a los profesores, resultados de investigación educativa y su posible aplicación en el aula. Para lograr tal fin, en el Museo de las Ciencias, se ha implementado el curso "Universum: una herramienta didáctica", dirigido a profesores de Nivel Medio Superior (hasta el momento se han impartido dos cursos).

Por medio de este Curso, se muestra al profesor que el Museo de las Ciencias da oportunidades a los estudiantes de participar activamente en su aprendizaje, debido a que en el Museo, los alumnos pueden manipular objetos que los hacen visualizar analogías que les permiten conocer diferentes características de conceptos científicos que se les presentan en el aula (Ramey-Gassert, *et al*, 1994).

Además de que en el Museo de las Ciencias los alumnos pueden manipular los equipamientos también podrán interactuar con los anfitriones. Los anfitriones son jóvenes estudiantes de carreras científicas o de comunicación, con quienes los visitantes pueden intercambiar ideas que les permitan comprender un poco más los conceptos científicos. Es de esperar, que si el alumno después de la visita al Museo no logra utilizar los modelos científicos aceptados por la comunidad científica, adquieren nuevas experiencias que le dan elementos para tender a construir modelos más científicos.

Cuando en el alumno se despierta el interés por medio de la interacción con los objetos, él experimenta, vive nuevas experiencias y recibe nuevos estímulos. Lo que permite que en un momento de reflexión o en un estado contemplativo, el alumno construya su conocimiento.

Cuando el alumno llega al Museo con un contenido teórico que no ha comprendido e interactúa con los equipamientos o con los anfitriones, puede ser que el alumno integre los conocimientos a su red y obtenga un aprendizaje significativo. Es decir, los alumnos pueden lograr un aprendizaje significativo

en dos momentos: cuando se encuentran en una fase activa, donde manipulan los equipamientos y observan las características de los fenómenos que se les presentan o cuando se encuentran en un estado reflexivo, después de haber estado en su etapa activa dentro del Museo. Puede ser que el aprendizaje significativo sea instantánea o a largo plazo.

Cuando el alumno logra obtener un conocimiento significativo, realmente ha asimilado los conceptos, no sólo para pasar un examen, sino para aplicarlos a sus actividades cotidianas (Ramey-Gassert, *et al*, 1994; Reynoso, 1996).

Es recomendable que el profesor trasmita a sus alumnos, que para resolver problemas de física, en primer lugar se debe plantear el problema de modo cualitativo, en términos de conceptos físicos, antes de intentar dar una respuesta (Driver, 1988). El profesor debe tener en mente que el pensamiento cualitativo juega un papel importante en la resolución de los problemas, puesto que la solución incorrecta a un problema cuantitativo, puede deberse no tanto a la poca destreza para manipular las relaciones matemáticas, sino a dificultades conceptuales subyacentes.

Conocer las dificultades que los estudiantes tienen para comprender ciertos conceptos científicos y darles la oportunidad de construir su conocimiento a partir de las experiencias de aprendizaje, implica cambiar la manera de cómo piensan y trabajan muchos profesores (Gil, *et al*, 1992).

Dos instituciones importantes de Educación Media Superior preocupados por el alto índice de reprobación y el rechazo por el aprendizaje de la Ciencia han implementado algunas estrategias para modificar el modo de enseñar Ciencia. La Escuela Nacional Preparatoria ha promovido durante el ciclo escolar 89-90 el uso del manual sobre Circuitos Eléctricos, descrito en el Capítulo III del presente trabajo, traducido y adaptado por Mota (Mota, *et al*, 1989). En el colegio de Bachilleres se está trabajando en un curriculum que contempla los esquemas alternativos de los estudiantes y su nivel de maduración. Para llevar a cabo el desarrollo del curriculum, se está impartiendo un curso para aprender cómo aplicar en el aula los resultados de investigación educativa durante la enseñanza de los conceptos científicos. El grupo de profesores en formación, promoverán entre el resto de los profesores lo aprendido durante el curso.

En el proyecto de tesis se consideró proponer un curso teórico-práctico, con el que se tome en cuenta los esquemas alternativos de los alumnos sobre corriente eléctrica, el cual debía ser innovador, tener la posibilidad de usar material de fácil adquisición, de bajo costo, ser familiar a el usuario y que no hubiera la necesidad de instalaciones especiales para llevarlo a cabo.

De los resultados obtenidos se considera que el curso sobre circuitos eléctricos de Mc Dermontt (1996), traducido y adaptado por Mario Mota y Juan José Espinosa, cubre los requisitos del curso que se habían planteados. El curso de Mc Dermontt es innovador puesto que toma en cuenta el nivel de desarrollo intelectual de los alumnos y presenta los conceptos a partir de las experiencias anteriores del alumno, los ejercicios pueden hacerse en casa, o en el aula, o en el laboratorio de la escuela. El material necesario para el curso es de fácil adquisición y de bajo costo.

El curso sobre Circuitos Eléctricos, dado con el enfoque constructivista tanto en el grupo A como en el grupo E de Biología del primer semestre, cambió la actitud de los alumnos ante la física. Se registraron frases como: "ahora sé que la física puede ser bonita", "tiene que ver conmigo y con lo que me rodea", "esta es la segunda vez que curso la materia, la dejé durante varios trimestres porque no le veía sentido; en cambio ahora veo que me ha servido para entender cosas que había estudiado" así se expresaron algunos alumnos de Biología, después del curso de física general, en el cual estudiaron el tema de circuitos eléctricos (Segarra, 1991)

Durante el desarrollo del curso nos apoyamos en el hecho de que los alumnos perciben los efectos de los fenómenos eléctricos. Por esta razón se toma la intensidad de la luz del foco para medir cualitativamente la cantidad de corriente eléctrica que circula por el circuito. Sin embargo, es difícil encontrar focos de las mismas características; la intensidad de la luz del foco no llega a ser un parámetro totalmente eficiente que determine la cantidad de corriente eléctrica que circula en el circuito.

Para superar la deficiencia en la intensidad de la luz de los focos, es conveniente introducir desde un principio equipos de medición: voltímetros, amperímetros o multímetros, que permitan al alumno medir las cantidades de corriente, voltaje y resistencia eléctrica del circuito eléctrico y plantear a los alumnos que los equipos para medir son un medio más para observar los resultados de nuestras experiencias y que, al igual que los científicos, pueden tener confianza en los resultados que se obtengan con ellos.

También durante el desarrollo de los ejercicios que se indican en el manual de circuitos eléctricos, es necesario que el profesor concluya o ayude a concluir a los alumnos, después de cada sección, ya que ellos se ven ante un conflicto conceptual y como la tarea llega a ser difícil de superar, los alumnos tienden a abandonarla.

No se debe olvidar, que lo más importante durante la enseñanza de la ciencia es la de promover el desarrollo de los subsumidores o ideas de anclaje que

permitirán a los alumnos construir esquemas más académicos para que puedan desarrollar otras habilidades, que les permitan comprender nuevos conceptos.

El constructivismo afirma que todos los individuos aprenden; lo que no se ha podido responder es cómo aprenden los conceptos científicos. Como la respuesta no es sencilla, hoy se contempla que para obtener una mejor aproximación a esa respuesta, se deben integrar los conocimientos de la psicología del aprendizaje humano, los de la epistemología sobre la construcción del conocimiento humano, la Historia de la Ciencia y los conocimientos científicos y llevar los resultados al aula o a los medios de enseñanza formal o no formal para que se obtengan mejores resultados en la enseñanza de la Ciencia.

# BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, J.L. Alejandro Volta; Editorial Limusa, México, 1988
- Arons Arnold B. Evolución de los conceptos de la Física. Editoria Trillas, México 1970. Título de la obra original: Development of Concepts of Physysics. Traducción Lorenzo Razo Morales, Director del Departamento de Física, Facultad de Ciencias Universidad de Veracruz. Revisión Técnica. Eliezer Braun. Profesor titular de La Facultad de Ciencias, Universidad Nacional autonoma de México.
- Barrera Rubén G\*, y Gallardo Aurora\*\*. \* Instituto de Física de la U.N.A.M., Apartado postal 20-364,01000-México, D.F. \*\* Sección Matemática Educativa. CINVESTAV del I.P.N. "Sobre los problemas de la confrontación Teoría Experimento". Revista Mexicana de Física, marzo de 1982.
- Beltran, V. Principios de Física: Curso de Introducción. Editorial Trillas, México, 1972
- Bernal, J. D. La proyección del hombre: Historia de la física. Editorial siglo XXI, México 1975.
- Blatt J. Frank. Fundamentos de Física. Ed. Prentice Hall, México, 1991.
- Castro, Ruth S. -Escuela Secundaria- Anna Maria Pessoa de Carvalho - Facultad de Educação- USP: "Historia de la Ciencia como herramienta para la enseñanza en secundaria: un ejemplo en calor y temperatura". Enseñanza de las Ciencias, 1992.
- Catalán Fernández, A y Catany Escandell, M. Institut Ramon Llull, Palma Mallorca; Institut Verge de San Salvador, Felanitx:" Historia de las Ciencias y Enseñanza; contra el mito de la Historia". Enseñanza de las Ciencias, 1986, 4 (2), 163 - 166.
- Cetto, Ana María, Dominguez Héctor. Lozano Juan Manuel, Tambutti Ronilio y Valladares Ariel. El mundo de la física: Cargas y campos eléctricos; ed. Trillas, México 1989.
- Colinvaux-de-Domínguez Dominique. "Uma perspectiva piagetiana para a pesquisa em ensino-aprendizagem de física". Facultad de Educação, Universidad Federal Fluminense. Atas da II ELAPFF: Subsídios Teóricos e Metodológicos para a Pesquisa em Ensino de Física, Organizador Moreira, M.A. Porto Alegre, Brasil, del 5 al 16 de julho de 1993.
- Cruz, D. Chamizo, J.A; Garritz, A. La química en el sigloXIX: "Breve reseña histórica". Ciencia y Desarrollo, # 76 año XIII, septiembre-octubre, 1987.
- Desiderio Papp. Historia de la física: desde la Antigüedad hasta los Umbrales del siglo XXI, 2A edición Madrid, Espalsa Calpe, 1961.

•Díaz, R.I.; Trigueros, M. Doce mil grandes. Ciencias Exactas: Enciclopedia Biográfica Universal, vol. 3 Ed. Promexa, México, 1982.

• Duit, Reinders. Institute for Science Education (I.P.N.), Kiel, FR Germany, "Understanding Energy as a conserved Quantity- Remark on the article by R. U. Sexl." Eur. J.Educ. vol 3, 291-301

•Driver, R. y Easley, J. "Pupils and Paradigmas: A review of literature related to concep development in adolescent science students". Studies in Science Education, vol 5, pág. 61-84.

•Driver, R. Centre for Studies in Science and Mathematics Education. University of Leeds. Leeds (England). "Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencia." Enseñanza de las Ciencias, 1988. 6 (2) .109-120.

• Driver, Rosalind; Huense, Edith y Tiberghien; André: Ideas Científicas en la infancia y en la adolescencia: Electricidad en circuitos sencillos, cap III; Ministerio de educación y Ciencia; Centro de Publicaciones, Ciudad Universitaria 28040- Madrid, Ediciones Morata S.A. 1985.

•Eco Umberto. Cómo se hace una tesis: técnicas y procedimientos de investigación estudio y escritura. Editorial Gedisa, 1964. Título original italiano: Come si fa una tesi di laurea, Tascibili Bompiani, 1957.

•García, T. R. Michael Farady; ed. Limusa, México, 1988.

• Gil Pérez Daniel y Pessoa de Carvalho Ana María; "Tendencias y experiencias innovadoras en la formación del profesorado de Ciencias." Taller Subregional, Caracas Venezuela, 1992

•Gutiérrez Rufina. Piaget y el curriculum de Ciencias. Apuntes I.E.P.S. No 34, Departamento de Ciencias de I.E.P.S. Ed. Narcea, S.A. de Ediciones, Madrid, 1984.

•Halliday David y Robert Resnick; Física. Segunda parte Edición actualizada; traducido por Ing. Salvador Mosqueira R. Decimacuarta impresión, ed. C.E.C.S.A. México, septiembre de 1980.

•Harré, Rom. J. J. Thomson: El descubrimiento del Electrón. Antología de Física, Consejo del Sistema Nacional de Educación Tecnológica, Ed. SEP, COSNET, SEIT, 1992. tomado de Harré, Rom. J.J. Thomson en Great Scientific Experiments, Phaidon, Oxford, 1981, pp. 171-180.

•Hewitt, Paul G. Conceptual Physics. Ed. Harper Collins College Publishers, séptima edición, Estados Unidos de América, 1993.

•Hills, G. L. "Students 'Untutored' Beliefs About Natural Phenomena: Primitive Science or Commonsense?", Queen's University, Kingston, Ontario; Science Education, 1989

Hulse Stewart H., Egeth Howard y Deese James. Psicología del aprendizaje. Traducción Agustín Contin Sanz. Quinta edición McGraw-Hill, México , 1982.

•Jara Salvador Guerrero. "Enseñanza de las Ciencias: nuevos caminos". Ciencia y Desarrollo, vol. 5, núm. 88; septiembre - octubre, 1989.

• Lang da Silveira, Fernando. Instituto de Física, UFRGS, CAIXA POSTAL 15051 91501-970 Porto Alegre, RS, Brasil. "Validacao de testes de papel e lápis. Presentado en II ELAPEF, Subsídios Teóricos e Metodológicos para a Pesquisa em Ensino de Física; Porto Alegre (Canela), Brasil, del 5 a 16 de julio de 1993.

• León L.E.G. Andre-Marie Ampère, ED. Limusa, México, 1987.

• Matthews, M.R.; Education Department, Auckland, Nueva Zelanda. "*¿Uno viejo en botellas nuevas: Un problema con la Epistemología constructivista.*" Enseñanza de las Ciencias, 1994, 12 (1), 79-88.

• Mc Dermott, Lillian C., Shaffer, Peter S., Rosenquist, Mark L. and the Physics Education Group at the University of Gashgton. Physics by Inquiry: an introduction to physics and the physical sciences, vol. Ed. John Wiley and Sons, Inc. United states of America, 1996.

• Milcaf, Harry. Electricidad uno; serie uno a siete, ed. Limusa. México, 1977.

• Milikan Robert A. Consideraciones sobre la electricidad. Antología de Física; Consejo del Sistema Nacional de Educación Tecnológica. Ed. S.E.P. COSNET, SEIT, 1992. Tomado de Milikan Robert A. Primeras consideraciones sobre la electricidad. University of Chicago Press, Chicago, 1980. décima impresión. pp 6-24.

• Moreira, Marco Antonio; Instituto de Física, UFRGS, Brasil. La teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel. Facículo del CIEF, Serie Enseñanza aprendizaje, No 1, 1993. Adaptado del capítulo 2 del libro "ABORDAGEM COGNITIVISTA AO ENSINO DA FISICA", M.A. Moreira, Porto Alegre, Editora da Universidade, 1983. p 18 - 54.

• Moreira, Marco Antonio; Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Brasil. "Mapas conceptuales como recurso instruccional y curricular en Física." Segundo Congreso Internacional sobre la Didáctica de las Ciencias y de las Matemáticas, Valencia España, 23 al 25 de septiembre de 1987. Adaptado para la tercera Reunión Nacional de Educación en la Física, Córdoba, Argentina , 5 al 8 de octubre de 1983. Publicado en CONTACTOS, México, 3 (2): 38 - 57 1988.

• Moreira, Marco Antonio; Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Brasil. "La Ve epistemológica de Gowin como recurso Instruccional y Curricular en Ciencias", Fascículos del CIEF, Serie Enseñanza - Aprendizaje, No 3, 1993. Porto Alegre Brasil.

• Moreira, Marco Antonio; Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Brasil. "La Teoría de educación de Novak y el modelo de Enseñanza - aprendizaje de Gowin." II Escuela Latino - americana de Investigación en Enseñanza de la Física, Porto Alegre, Brasil, 5 al 16 de julio de 1993.; Fascículos del CIEF, Serie Enseñanza Aprendizaje, No 4, 1993, Porto Alegre Brasil.

• Moreira, Marco Antonio; Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Brasil. "Cambio Conceptual: Crítica a Modelos Actuales y una propuesta a la Luz de la Teoría del aprendizaje significativo." II Segundo Simposio sobre Investigación en educació en Física, Buenos Aires Argentina, 3 al 5 de agosto de 1994.

• Mota M. Mario y Espinosa R. Juan José; Circuitos Eléctricos, traducción y adaptación Serie Manuales Preparatorios, U.N.A.M., México, 1989.

•Muñoz A. Martín; Colegio Pablo VI Avila; Muñoz Arrabal T.; E.U. de Formación del profesorado. Avila. Rodríguez Cardena, A. Centro de Profesores. Avila: Experiencias de Investigación - "Acción sobre el aprendizaje por descubrimiento de los circuitos eléctricos." Enseñanza de las Ciencias, 1989, 7 (2), 168 - 172.

•Nagel, Ernest; La estructura de la ciencia. Editorial Paidós; Buenos Aires, 1978.

•Nardi, R.; Centro de Ciencias Exatas. Departamento de Física. Universidad Estadual de Londrina. "História da Ciência x aprendizagem: Algumas semelhanças detectadas a partir de um estudo psicogenético sobre as idéias que evoluem para a noção de campo de força". Enseñanza de las Ciencias, 1994, 12 (1) 101-106.

•Nieto Varela P., Manrique de Campo, M.J. y Favieres Martínez, A. Instituto de Bachillerato "Rey Pastor" "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), 285 - 290.

•Noce\*, Torosantucci\*\*, Vicentine M\*\*\* Dipartimento di Psicologia dei Processi di sviluppo e Socializzazione\*, Laboratorio di Didattica delle Scienze\*\*, Dipartimento di Fisica\*\*\*, Università "La Sapienza" Roma Italia. "The floating of objects on the moon: prediction from a theory or experimental Facts?" International Journal of Science Education, 10 (1), 61-70.

•Novak J. D. Cornell University. "Constructivismo" humano: un consenso emergente. Enseñanza de las Ciencias, 1988, 6 (3) 213 - 223.

•Nussbaum Joseph, Michalalah Jerusalem College for Women, Box 16078, Jerusalem, Israel, and The School of Education, Bar Ilan University, Ramat Gan, Israel. "Classroom conceptual change: philosophical perspective". Int. J. Sci. Educ. 1989. Special Issue, 530-540.

•Osborne Roger y Freyberg Peter. El aprendizaje de las Ciencias: implicaciones de las ciencias de los alumnos. Ed. Narcea, S.A. de Ediciones Madrid, Madrid, 1991.

•Pansza, M. "Una aproximación a la epistemología genética de Jean Piaget". C.I.S.E. U.N.A.M. (1988).

•Piaget, J. Psicología y Pedagogía, ed. Ariel México, segunda edición mexicana, 1977. Título original francés. Psychologie et pédagogie; Ed. Bibliothèque "Médiations" Editions Denoël primera edición 1969.

•Piaget J. Seis estudios de psicología. Colección Obras Maestras del Pensamiento Contemporáneo. Ed. Planeta-Agostini, Buenos Aires Argentina, 1993. Título original: Six études de psychologie. Ed. Gonthier, Ginebra.

•Psillos Dimitri and Panagiotis Koumaras, University of Thessaloniki, Greece and Andrée Tiberghien, University of Paris 7, France. "Voltage presented as a primary concept in an introductory teaching sequence on DC circuit". Int. J. Sci. Educ., 1988, vol. 10, No. 1 29 - 43.

•Ramey- Gassert, Linda\*, Walberg III Herbert J. y Walberg Herbert J\*\*;  
\*Chicago Botanic Garden, Chicago, Il, University of Illinois at Chicago, Chicago, Il.  
"Reexamining Connections: Museums as Science Learning Environments", Science Education 78 (4): 345-363 (1994), 1994 John Wiley and Sons. Inc.

•Reynoso H Elaine, Fierro H. Enrique, y Torres O. G.; Centro Universitario de Comunicación de las Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México; Vicentini-Missoni Matilde, Dipartimento di Fisica, Universidad di Messina, Italia; y Josefina Pérez de Celis, H. Centro de Instrumentos, Universidad Nacional Autónoma de México. "The alternative Frameworks presented by Mexican Students and teacher concerning the free fall of bodies"; Int. J. Sci. Educ. 1992, vol. 14.

Reynoso H. Elaine: "El potencial didáctico de un museo de Ciencias Interactivo". Centro. Revista Mexicana de Pedagogía, Año VI, N° 22.

•Rinaldi Carlos. Concepções Alternativas em Electricidade Básica: Dissertação realizada sob a orientação da Dra. Maria Celia Dibar Ure, para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Universidade Federal Fluminense Instituto de Física. Trabalho financiado pela Universidade de Federal de Mato Grosso e Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), Nitroí, 1989.

•Ruggiero, S., Castelli, A., Vicentini-Missoni, M. (1975): "Weight, gravity and air pressure: Mental representation by Italian middle school pupils", Eur. J. Educ. vol 7 # 2.

•Shayer Michael y Adey Philip. La ciencia de la enseñanza de las ciencias: desarrollo cognitivo y exigencias del currículo. Ed. Narcea, S.A. de Ediciones Madrid; segunda edición 1986.

•Sánchez Ron, J. M., Departamento de Física Teórica, Universidad Autónoma de Madrid: Historia de las Ciencias y Enseñanza; "Uso y abusos de la historia de la física en la enseñanza". Enseñanza de las Ciencias (1988), pag 179-188.

•Segarra Alberu María del Pilar (1989): "Corrientes actuales en la didáctica de la ciencia", Reporte interno, Fac. de Ciencias, U.N.A. M. México.

•Segarra Alberu María del Pilar, Departamento de Física, Facultad de Ciencias, U.N.A.M. (Licencia sabática Universidad Autónoma Metropolitana). "Hacia el cambio Conceptual. Experiencia realizada con universitarios". Revista Mexicana de Física 37 No 3 (1991) 531 - 539.

•Serrano Gisbert Teresa\* y Blanco López Angel\*\*; Licenciada en Ciencias Biológicas. Máster en Didáctica de las Ciencias. Departamento de Didáctica de las Ciencias del IEPS. Madrid, \*\* Licenciado en Ciencias Químicas. Profesor de E.G.B. en el C.P. Luis Pasteur. Málaga.: Las Ideas de los Alumnos en el Aprendizaje de las Ciencias, Departamento de la Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza del I.E.P.S. NARCEA, S.A. DE EDICIONES, MADRID, 1988.

•Shipstone D.M. University of Nottingham, UK, C.v. Rhöneck, Pädagogische Hochschule, Ludwigsburg and W. Jung, Universität Frankfurt, FR Germany, C. Kärrqvist, Göteborgs Universitet, Mölndal, Sweden, J. - J. Dupin, Université de Provence and P. Licht, Vrije Universiteit, Amsterdam. The Netherlands. "A study of students' understanding of electricity in five European countries". Int. J. Sci. Educ., 1988, vol. 10, No 3, 303 - 316.

•Solomon Joan, University of Oxford Department of Educational Studies, Paul Blak and Heather Stuart, King's College (KQC) University of London. "The pupils' view of electricity revisited: social development or cognitive growth" Int. J. Sci. Educ. 1987, vol 9 No 1, 13 - 22.

•Solomon Joan , STIR Group, Paul Black, Valerie Oldham and Heather Stuart, King's College, University of London, UK. "The pupils' view of electricity". Eur. J. Sci. Educ. 1985, vol. 7, No 3, 281 - 294.

•Tallant P. David, Emory University, Atlanta, G.A. USA. "A REVIEW OF MISCONCEPTIONS OF ELECTRICITY AND ELECTRICAL CIRCUITS". A paper presented to the third Internacional Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, Cornell University, Ithaca, N.Y. August 1 -4, 1993.

•Usabiaga Bernal Maria del Carmen y Valle Rezero María del Carmen. La Historia de la Ciencia en el Aula. Apuntes I E P S No 28. Narcea, S.A. de Ediciones Madrid, 1982.

•Vera Granda A. I.B. Pedro Espinosa. Antequera (Málaga); "Esquemas conceptuales previos de los alumnos en geología". Enseñanza de las Ciencias, 1988, 6 (3), 239 - 243.

•Vicentini-Missoni Matilde (1982) Departamento de Física, Universidad de la Sapienza, Roma: Paradigmas Humanos; Problemas en la enseñanza y en el Aprendizaje de la Ciencia; Curso Internacional sobre la Enseñanza de la Física, Cali, Colombia.

•Viennot, L. (1979), "Spontaneous learning in elementary dynamics". European Journal of Science Education, 1 (2), 205-21.

•Wandersee J. H.; Dr. Martin Luther King College, New Ulm, Minesota 560773; "Can the history of science help science educators anticipate student's Misconceptions?"; Journal of Research in science teaching, Vol. 23, No. 7, pp. 581-597 (1986).

•Whittaker, E. (1958): A History of the Theories of Aether and Electricity , ed. Thomas Nrlson and Sons; Gran Bretaña.

•Young, Hugh D. University Physics: Extended Version with Modern Physics. Ed. Addison-Wesley Publishing Company, octava edición, United Stated of America, 1992.

# APÉNDICE

## Respuestas del cuestionario # 1

### CUESTIONARIO # 1

1.- ¿Qué es la corriente eléctrica?

En general la corriente eléctrica es un flujo de cargas que circulan por los conductores eléctricos.

Como las cargas eléctricas tienden a moverse a regiones de menor potencial, al quedar en contacto dos regiones que tienen diferente potencial, las cargas se moverán de la región del potencial mayor al de menor y la corriente eléctrica queda establecida. En el caso de un conductor metálico que tiene electrones libres pueden moverse libremente, la corriente eléctrica consiste en el movimiento de los electrones libres. En el caso de un conductor líquido o electrolito, la corriente consiste en el movimiento de iones positivos en un sentido y de iones negativos en el sentido opuesto.

Cuantitativamente la corriente eléctrica que circula en un circuito eléctrico es la cantidad de cargas  $\Delta q$  que fluyen por una sección transversal dada de un conductor eléctrico en un tiempo  $\Delta t$ , expresada como:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

2.- ¿Por qué supones que los cables de los aparatos electrodomésticos tienen dos alambres?

Para unir las dos regiones de diferente potencial y para cerrar el circuito.

3.- ¿Por qué se necesitan dos terminales en la clavijas de los alambres de los aparatos electrodomésticos y qué pasa si invertimos la corriente?

Las clavijas forman parte de los conductores eléctricos de electrodomésticos y unen las dos regiones de diferente potencial para cerrar el circuito.

En la actualidad, los aparatos electrodomésticos, internamente, poseen un rectificador para corriente alterna. El rectificador mantiene la polaridad uniforme, de tal modo que al invertir la clavija no se altera el funcionamiento de los aparatos.

Si el aparato electrodoméstico no tuviera el puente rectificador, al invertir la clavija el motor, en caso de tenerlo, funcionaría al revés. Esto se debe al comportamiento de la corriente alterna. La corriente alterna cambia de dirección cada sesentavo de segundo.

4.- ¿Por qué tiene los alambres una cubierta de plástico?

El plástico no es un buen conductor de la electricidad y no permite que la electricidad circule por otros conductores como nuestro cuerpo.

5.- ¿Qué es un corto circuito?

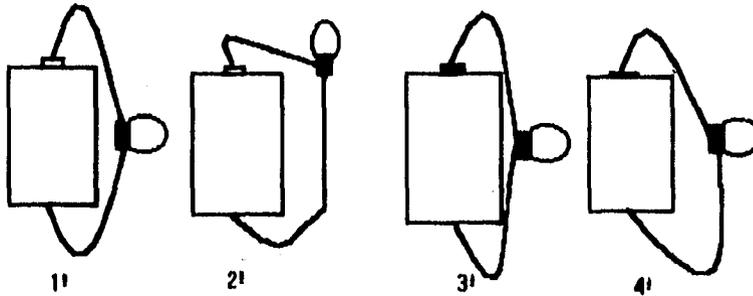
Se observa que circula mayor cantidad de corriente eléctrica, en materiales que poseen menor resistencia.

Si existiera parte de un circuito con resistencia menor que la del resto del circuito, la corriente eléctrica circula por esa parte del circuito, formando así un "corto circuito. Como la corriente eléctrica circula "libremente", en el alambre genera calor hasta el punto de fundirlo.

6.- Se conecta un foco a los extremos de una pila, por medio de alambres y el foco se prende ¿cómo explicas este suceso?

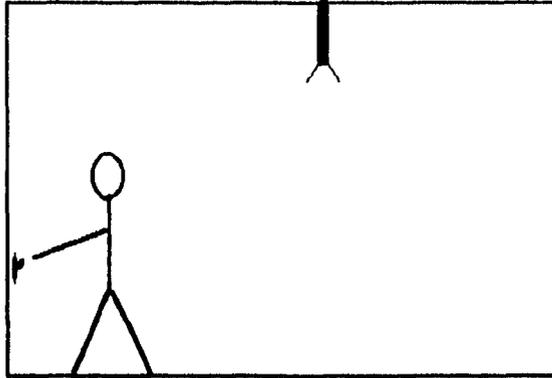
Cuando circula corriente eléctrica por el filamento del foco, el filamento se calienta se enciende y emite luz.

7.- ¿En cuál de los siguientes circuitos no encenderá el foco? ¿cuál será la causa de que no encienda?



El foco no enciende en el primer arreglo y en el tercero, por que los alambres están en el mismo punto y no se cierra el circuito.

8.- Observa la siguiente figura, ¿qué sucede si la persona acciona el interruptor?  
¿qué pasa con la corriente eléctrica?



A pesar de que la persona acciona el interruptor, el circuito eléctrico sigue abierto, por lo que la corriente eléctrica no circula.

## Respuestas del cuestionario # 2.

### CUESTIONARIO # 2

1.- ¿Qué significan los números que tienen los focos sobre las ampollas de vidrio?

Es la potencia (W) eléctrica de los focos, entendida como la energía disipada por unidad de tiempo. Expresada en términos de la resistencia del circuito R, aplicando la ley de Ohm ( $V = RI$ ):

$$W = VI = RI^2 = \frac{V^2}{R}$$

en donde

I es la corriente eléctrica y

V el voltaje

Cuando el foco tiene mayor potencia, la resistencia eléctrica del filamento es menor, por el filamento circula mayor cantidad de cargas eléctricas y el foco brilla más.

Cuando el foco es de menor potencia, la resistencia eléctrica del filamento es mayor; por ella circula menor cantidad de corriente eléctrica y la intensidad luminica del foco es menor.

2.- ¿Por qué se emplean alambres de distinto grosor?

Para que pueda circular diferentes cantidades de corriente eléctrica a través de los alambres. La resistencia eléctrica de los alambres cuantitativamente se expresa como:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

en donde

R es la resistencia eléctrica

$\rho$  la resistividad

l la longitud del alambre

A la sección transversal del alambre

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

3.- ¿Qué significan los números que tienen las pilas?

Con el número se especifica el voltaje de la pila.

4.- Es común encontrar pilas de diferente tamaño, pero muchos de ellas tienen el mismo número. ¿A que se debe tal similitud y diferencia?

El tamaño de la pila nos indica que pila dura más suministrando la misma cantidad de corriente eléctrica. Como una pila tiene electrodos y electrolitos, por medio de ellos se transforma la energía química en corriente eléctrica. En una pila de mayor tamaño, se tiene mayor cantidad de electrolitos y electrodos más grandes, por lo tanto la batería dura más.

5.- ¿Podremos usar alambre delgados en torres de alta tensión para conducir la corriente eléctrica?

No, La cantidad de corriente eléctrica que circula por ellos, los quemaría, puesto que la resistencia del alambre es muy grande.