

APRENDER Y COMPRENDER LOS CONCEPTOS CLAVES DE LA ELECTRICIDAD

Reinders Duit, Institute for Science Education at the University of Kiel, Germany

Christoph von Rhöneck, Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Germany

Introducción

Este capítulo tiene dos objetivos principales: el primero es resumir brevemente los resultados sobre las concepciones de los alumnos dentro del campo de la electricidad antes y después de la enseñanza, así como el doble rol de esas concepciones en los procesos de enseñanza y aprendizaje. En ese doble rol, las concepciones constituyen los obstáculos en el aprendizaje y son los elementos claves en el proceso de la construcción de la comprensión por parte de los estudiantes. El segundo objetivo es de utilizar el conocimiento de las dificultades del aprendizaje en electricidad para llamar la atención sobre los aspectos más generales del rol de las concepciones antes de la enseñanza en el aprendizaje de la física.

La electricidad es uno de los campos básicos de la física, cuya importancia es fundamental sin importar el nivel de enseñanza. En la escuela primaria, los niños adquieren experiencia con los circuitos eléctricos simples. En los niveles siguientes, la electricidad es sistemáticamente enseñada y constituye un tema importante para todo tipo de estudios. Por razones de brevedad en la descripción, este resumen no se centrará sobre la evolución de las concepciones de los alumnos con la edad y el nivel de enseñanza. En cambio, serán presentadas y discutidas a lo largo de este capítulo las diferentes concepciones.

Concepciones de los alumnos sobre la intensidad, la tensión y la resistencia

Significaciones cotidianas de la intensidad

El discurso cotidiano y el de la física relativos a la electricidad y los aparatos eléctricos son sensiblemente diferentes; los términos básicos de la física para la electricidad, la intensidad, la tensión y la resistencia, por ejemplo, son usados cotidianamente en el discurso de la vida diaria, pero con significaciones bien diferentes a la física. Existen diferencias innegables entre los lenguajes por vinculación a las significaciones dadas, por ejemplo, para los términos básicos de la física mencionados arriba, no es posible dar una conclusión que se mantenga sean cuales sean los lenguajes. Es posible afirmar que las significaciones de las palabras para la intensidad en las lenguas europeas están generalmente más próximas de la significación de física de la energía que de la intensidad. En otros términos, la palabra intensidad dentro del lenguaje cotidiano comprende un gran abanico de significaciones con una predominancia por la idea de energía. Así, es posible una mala comprensión en las clases de física, si el profesor no es advertido de las diferencias existentes entre su manera de hablar de los fenómenos eléctricos y la de los estudiantes.

Efecto causal lineal entre las pilas y las bombillas

Podría ser fructífero preguntarles a los niños de la escuela primaria que no han recibido ninguna enseñanza formal, de circunscribir sus conceptos sobre los procesos eléctricos. Pero es igualmente posible analizar como los niños manipulan las pilas y las bombillas y cuáles son las explicaciones que dan en relación con sus acciones, como la planteada por Tiberghien y Delacôte (1976). El resultado de este estudio es que los niños utilizan explicaciones muy generales para el funcionamiento de un circuito eléctrico simple.

Habitualmente, ellos establecen una vinculación causal entre la pila y el bombillo y explican que un agente se desplaza de la pila al bombillo. El agente puede ser llamado electricidad o corriente eléctrica.

La electricidad, la corriente es almacenada dentro de una pila y puede “residenciarse” dentro de sus hilos. El agente es consumido dentro de la pila, es decir que no existe idea de conservación de la electricidad en los alumnos. El efecto causal lineal entre la pila y el bombillo no implica un circuito cerrado. Un número significativo de alumnos piensan que un hilo dentro de los circuitos funcionando en la cotidianidad sirve simplemente para llevar más corriente al bombillo. Ellas son algunas veces llamadas corrientes “más” o “menos” (ver más abajo). En el bombillo, existe un conflicto entre las dos corrientes, noción que ha sido llamada “las corrientes antagonistas” (Osborne, 1983), o bien hay una especie de reacción (química) que conduce la luz provista por el bombillo.

La investigación mostró que la idea de consumo de corriente no desaparece con la enseñanza formal. Esta idea y otras concepciones de alumnos pueden ser discutidas a través de un test que ha sido administrado después de la enseñanza en cinco países europeos a más de 1200 alumnos de 14-15 años de la escuela secundaria (Shipstone y al., 1988). El resultado general de ese test es que a pesar de los diferentes sistemas escolares y de los lenguajes diferentes – se encuentra, en esos países, aproximadamente el mismo tipo de dificultades de aprendizaje.

Consumo de la corriente

- La concepción a través la cual la corriente es consumida, es persistente en los alumnos, después de la enseñanza. El consumo engloba los dos aspectos de devaluación y de disminución de la corriente eléctrica. En una de las tareas que se refiere a la idea de consumo, son presentadas a los estudiantes tres afirmaciones (en vinculación con un bombillo atado a una pila, estando el bombillo alumbrado), y se le solicita indicar si esas afirmaciones son verdaderas o falsas. Solo una minoría de la muestra total aprueba la conservación de la corriente (afirmación 3):

1: “el bombillo utiliza toda la corriente eléctrica”

2: “el bombillo utiliza poca corriente eléctrica”

3: “Toda la corriente eléctrica que va de la pila al bombillo y regresa a la pila”

El consumo de corriente es persistente porque, para numerosos alumnos, la conservación de la corriente está en desacuerdo con el hecho que la pila debe “vaciar”. En otra tarea (figura 1), se solicita a los alumnos comparar las indicaciones de algunos amperímetros. Cerca del 5% de los alumnos dan la respuesta correcta: $I = \text{constante} = 2$.

En el circuito que aparece más abajo las resistencias R_1, R_2 son diferentes.

Agregar Figura 1

Hay cuatro amperímetros dentro del circuito A_1 indica 2^a .

Escriba sobre cada uno de los otros amperímetros eso que usted piensa que él indica.

Razonamiento local

El razonamiento local descrito hace que los alumnos concentren su atención sobre un punto del circuito e ignora lo que pasa afuera. Un ejemplo del razonamiento local es que muchos alumnos consideran la pila como una fuente en intensidad constante y no como una fuente en tensión constante, independientemente al cual es atada la pila.

En el circuito que aparece descrito posteriormente las bombillas son del mismo tipo.

Agregar Figura 2

Complete las corrientes I_1, I_2, I_3 .

En las tareas de la figura 2, el razonamiento local está relacionado al concepto de intensidad. Cerca del 60% de los alumnos de la muestra estiman que $I_1 = 0,6A$ y que $I_2 = I_3 = 0,3A$. Las intensidades son compartidas en cada nudo de un circuito en dos partes iguales. Los alumnos señalan que “a nivel de los nudos, la corriente no sabe lo que pasa después dentro del circuito”. La representación gráfica inhabitual de esta tarea pone en evidencia que numerosos alumnos presentan una tendencia a justificar su respuesta sobre la sola base de las corrientes. La intensidad en una sola porción del circuito no es percibida como una consecuencia de la tensión de los bornes de la resistencia en esta parte.

Tensión dentro de los circuitos cerrados.

Uno de los conceptos más difíciles en electricidad es el concepto de tensión o de diferencia potencial. Antes de la enseñanza, la tensión está vinculada a la “fuerza de la pila” o a “la intensidad o fuerza de la corriente”. Igual para después de la enseñanza, los alumnos utilizan el concepto de tensión con las mismas propiedades que el concepto de intensidad. La tarea siguiente (figura 3) muestra la ausencia de diferenciación entre esos dos conceptos.

Observe el círculo siguiente:

Figura 3

Complete los valores de las tensiones entre los puntos 1 y 2: ...V, 2 y 3: ... V3 y 4: ... V

Cerca del 40% de la muestra previó una tensión de 6V a los bornes de todos los pares de puntos del circuito y no diferencia los dos conceptos de tensión y de intensidad dentro de la situación presentada.

Razonamiento secuencial

Si, dentro de un circuito, un elemento tal como la resistencia es modificado, se manifiesta un tipo de razonamiento denominado razonamiento secuencial. El razonamiento secuencial significa que los alumnos analizan un circuito en términos de “antes” y “después” que la corriente “pasa” en ese lugar. Una modificación al “principio” del circuito influye sobre los elementos que están después, entonces una modificación “al final” no influye los elementos situados antes.

La información de la modificación es transmitida por la corriente eléctrica. La corriente en un circuito es influenciada por una resistencia desde que llega a ese elemento y transmite esa información en la dirección del flujo y no en la dirección opuesta.

En la figura 4 se muestra una tarea presentando el razonamiento secuencial. Cerca de una tercera parte de la muestra utiliza un razonamiento de este tipo, lo mismo sucede en las tareas similares y más elaboradas. De igual manera los estudiantes de la universidad utilizan un razonamiento secuencial en ciertas situaciones (Closset, 1983).

En el circuito presentado acá abajo la corriente es de 0,4A:

Figura 4

Primeramente la resistencia R_1 , y enseguida la resistencia R_2 , son cambiadas por las resistencias de 20Ω . Comparar la intensidad luego del primer cambio con la intensidad inicial y señale en la casilla correspondiente la respuesta correcta. Señale la casilla.

Resistencia

Ciertas dificultades ligadas al concepto de resistencia pueden ser discutidas a partir de una actividad en la cual dos porciones del circuito están en paralelo (figura 5).

Observe el circuito siguiente:

Figura 5

La resistencia $R_2=40\Omega$ será reemplazado por una resistencia de 50Ω . Señale la casilla correspondiente a la respuesta correcta

La intensidad de la corriente I_2 aumenta

La intensidad de la corriente I_2 disminuye

La influencia del cambio de la resistencia R_2 sobre las diferentes intensidades I_1 , I_2 , y I se revela ser extremadamente complicado para la mayor parte de los alumnos: solamente el 20% detectan que I_1 queda igual y que las otras intensidades disminuyen. 12% utilizan una relación inversa entre la resistencia y la intensidad y piensan que un aumento de R_2 conduce a una disminución de I_2 , I_1 aumenta e I queda igual. Cerca del 10% utilizan un razonamiento secuencial y predicen que todas las intensidades serán las mismas porque la resistencia R_2 es colocada “al final” de la porción del circuito y que el cambio de R no influyó las corrientes.

La mezcla compleja de argumentaciones incorrectas en la última tarea muestra que la enseñanza no conduce generalmente a una clara representación de los conceptos utilizados en física. Frecuentemente, encontramos, mismo después de la enseñanza, los elementos de

las concepciones, antes de la enseñanza, aproximadamente ligadas a ciertos elementos de los conceptos enseñados. Fuera de ello, la investigación ha mostrado de manera general que las concepciones de los alumnos son específicas del contexto, es decir, que ellos dependen de la tarea concreta que es presentada. Si la situación cambia entre un primer ejercicio y otro similar (del punto de vista del físico), los alumnos pueden emplear concepciones muy diferentes para resolver la tarea.

Las concepciones pueden ir más allá de las pruebas empíricas – lo sesgado de la confirmación

Este es un resultado general bien conocido de la investigación sobre la concepción de los alumnos, que esas concepciones tienen mucha influencia sobre lo que los alumnos ven efectivamente en las experiencias. Es más, los alumnos no están dispuestos a modificar sus concepciones si su respuesta está basada en una sola experiencia (Chinn & Brewer, 1993). Schlichting (1991) provee un ejemplo que llama la atención, él muestra que los alumnos no ven lo que debería verdaderamente ser visto, pero ven, y por lo tanto dicen lo que les permite su concepción. Él ha presentado el dispositivo experimental indicado en la figura 6 en una clase de alumnos de edades entre 14 y 15 años y pregunta desde que el circuito está cerrado, en cuál sitio el hilo comienza a ser incandescente. Hubo tres predicciones posibles: (1) el hilo será incandescente al inicio del lado izquierdo o del lado derecho según la hipótesis de la dirección de la corriente desde que ella penetra en ese lugar del hilo; (2) El hilo se vuelve incandescente al principio del medio porque dos tipos de corriente (ver más adelante) llegaron juntos al medio; (3) el hilo se volverá incandescente simultáneamente en cualquier punto (el punto de vista correcto). Después de la predicción, fue mostrada la experiencia. Casi todos los alumnos han visto lo que ellos habían previsto.

Figura 6: En qué lugar el hilo comienza a brillar cuando se cierra el circuito?

Como se ha mencionado acá arriba, numerosos alumnos sostienen el punto de vista que la corriente es consumida dentro de una bombilla, y por tanto que regresa menos corriente (según el punto de vista de los alumnos) a la pila. Gauld (1989) colocó en cuestión esta concepción para la experiencia montada en la figura 7. Después de un proceso difícil y laborioso, logró convencer a sus alumnos de 14 años, que las desviaciones idénticas de los amperímetros, pueden ser explicadas mejor con el punto de vista de la física sobre la conservación de la corriente.

Tres meses más tarde, interrogó a sus alumnos sobre sus concepciones de la corriente. La mayoría de ellos no habían utilizado más las concepciones físicas que habían adquirido de manera evidente durante la enseñanza. Desde que se les solicitó leer la indicación de los amperímetros, un cierto número de ellos han dicho que eran diferentes, a pesar de que tres meses antes habían reconocido que las desviaciones eran iguales.

Figura 7: la indicación de los amperímetros es un desafío para los alumnos para interpretar el consumo de corriente.

Procesos de aprendizaje de los alumnos

Numerosos estudios como los resumidos acá abajo, relativos a la encuesta europea sobre las concepciones en electricidad (Shipstone y al., 1988) han mostrado que el éxito de la enseñanza de la física, correspondiente a la adquisición por los alumnos del punto de vista de la física, es generalmente limitado (ver lista de cerca 280 estudios sobre el aprendizaje de la electricidad en Pfundt & Duit, 1994). La mayoría de los estudios se apoyan en los resultados antes o después de la enseñanza. Pero existen, igualmente, estudios sobre los procesos de aprendizaje de los aprendices tomados individualmente (ver las contribuciones en Duit, Goldberg & Niedderer, 1992); que muestran de manera evidente que los progresos del aprendizaje seguidos por los alumnos son muy complicados: hay progresos y retrocesos, desarrollos paralelos e impases. De hecho, un desarrollo sobre el punto de vista de la ciencia se vuelve visible solamente después de un largo tiempo, el desarrollo conceptual acerca de las ideas de la física, por ejemplo para la electricidad es un proceso largo y arduo. Los trabajos revelan igualmente que hay desarrollos que van en la dirección opuesta del propuesto por el profesor.

Por ejemplo, en un estudio de Niedderer y Goldberg (1995), aplicando una encuesta guiada a un grupo de tres alumnos de la enseñanza superior, abordó las ideas físicas del circuito eléctrico simple. Esos alumnos al principio tuvieron mucha dificultad para conectar, de forma correcta, un bombillo a una pila. La solución de esta tarea les tomó alrededor de 30 minutos. La intención del profesor fue de proveer a los alumnos experiencias concretas permitiéndole establecer ideas sobre los circuitos eléctricos. Los alumnos han desarrollado una concepción bien conocida por los otros estudios presentada anteriormente. Consideraban la corriente como una especie de combustible que se deslizaba de la pila al bombillo, momento en el cual era consumida. Se referían igualmente a un saber previamente enseñado en clase de ciencia sobre las cargas positivas y negativas. Fusionaron esas dos concepciones (la idea del consumo y la noción de las corrientes más o menos) de tal manera que alcanzaron una estructura que los proveía de explicaciones fructuosas. Inicialmente, el profesor sostuvo sus ideas, y no se dio cuenta que las ideas de los alumnos se desarrollaban en otra dirección que el no había deseado, y que hacía entrever el desarrollo ulterior del punto de vista de la física. Esos estudiantes no estaban ni dispuestos ni capaces a cambiar sus ideas que, para ellos, se habían revelado muy fructíferas y convincentes. En otras palabras, la guía y el soporte aportados por el profesor los condujo a una concepción que verifica ser un obstáculo más serio que sus ideas iniciales de la vida de todos los días.

Enseñar la electricidad teniendo en cuenta las dificultades de aprendizaje de los alumnos

La investigación en el dominio del aprendizaje de la electricidad no ha sido restringida al momento que surgen las dificultades de aprendizaje. Se han revisado un substancial número de estudios sobre las aproximaciones del aprendizaje y de la enseñanza. No fue posible proveer aquí una revisión completa de esos puntos de vista. Solo se mencionaran algunos resultados generados (cf. Cosgrove & Osborne, 198; Shaffer & McDermott, 1992; se

pueden recomendar también las contribuciones de Duit, Jung y v. Rhöneck, 1985, y la lista de estudios de referencia en Pfundt & Duit, 1994).

Cambio conceptual

En el campo de investigación que se examina aquí, el aprendizaje es generalmente considerado como una construcción activa para el alumno a partir de los saberes preexistentes. Lo que el aprendiz ya conoce, es considerado como el factor clave en el aprendizaje de un campo cualquiera. Esta idea del aprendizaje es llamada habitualmente “constructivista” (Tobin, 1993) lo que denota la adquisición de los conocimientos es un proceso de construcción del individuo dentro de un cierto contexto social. El término “cambio conceptual”, que es largamente utilizado y que representa frecuentemente las ideas constructivistas para el aprendizaje en general, indica que aprender las ciencias implica más frecuentemente reestructuraciones fundamentales de los conocimientos antes enseñados (Vosniadou, 1994). Dicho de otra forma, el término representa el hecho que habitualmente, las ideas de los alumnos, de la vida de todos los días y antes de la enseñanza, sobre los fenómenos de la ciencia están en fuerte oposición con los principios y los conceptos que deben ser aprendidos de la ciencia.

El término de cambio conceptual no es el mejor, porque él puede ser mal comprendido. El cambio no representa un intercambio de (o igual la extinción) las concepciones antes de la enseñanza con los conceptos físicos. La investigación ha mostrado que eso no es posible, ni deseable. Como se subrayó previamente, los alumnos aprenden generalmente mejor de las ideas híbridas que reagrupan las facetas de las concepciones antes enseñadas y de los conceptos de la física. Numerosas concepciones de los alumnos antes de la enseñanza han demostrado su efectividad en el contexto de la vida cotidiana, proveen una guía suficiente para actuar sobre los aparatos eléctricos y permiten las conversaciones cotidianas fructíferas sobre la mayor parte de los temas relativos a la electricidad. La idea del intercambio de las concepciones cotidianas de los alumnos antes de la enseñanza deben así ser reemplazadas por una idea de dependencia por vinculación al contexto: es necesario tolerar una cierta coexistencia entre esos dos tipos de conocimiento; los alumnos deben aprender en clase de física que el punto de vista de esta provee estructuras más potentes en ciertas situaciones y en ciertos contextos.

Cambio conceptual y cambio conceptual bajo condiciones

El cambio conceptual en el sentido precedente, es decir en los términos de un progreso del aprendizaje de los alumnos, de sus concepciones antes de la enseñanza acerca de los conceptos físicos, mostró que pone en juego las cuestiones racionales (lógicas) y las emocionales. Existen muchos casos conocidos en la literatura donde los alumnos comprenden el punto de vista de la física pero no lo creen (Jung, 1993). Así, el cambio conceptual debe inscribirse en las condiciones que ayuden a los alumnos a desarrollar sus ideas y a intercambiar sus puntos de vista con los otros alumnos, y dónde las ideas de los alumnos son generalmente consideradas como tentativas serias para dar al sentido en un fenómeno presentado por el profesor. De la misma manera, el interés y la motivación de los alumnos juegan roles claves.

Es evidente la importancia de los factores mencionados, en otro estudio sobre la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos básicos de la electricidad (Grob y al., 1994). Las chicas y los chicos abordan el aprendizaje de la física diferentemente. Las chicas tienen la tendencia en tomar distancia con la física. Esto no significa que no aprenden física. Las niñas de ese grupo muestran un comportamiento de aprendizaje estable, la motivación intrínseca es un factor determinante para aprender física. Esta motivación intrínseca no depende de la disciplina e indica que sus alumnos son generalmente alumnos brillantes. Los chicos tienen un acceso emocional a la física a través del interés y se revelan ser de buenos y continuos aprendices en la medida que encuentran interés.

Caminos de aprendizaje continuo y discontinuo

Las concepciones que poseen los alumnos sobre los circuitos eléctricos antes de la enseñanza están en fuerte contraste con los conceptos referenciales de la física. En numerosas estrategias de enseñanza y de aprendizaje disponibles en la literatura, se plantea la necesidad de conocer las ideas de los alumnos y la posibilidad de definir la experiencia sobre los fenómenos en cuestión. Ese es el caso del plan de enseñanza constructiva del proyecto CLIS (Children's Learning in Science, Driver, 1989), igualmente en otras experiencias, los alumnos (por ejemplo con las pilas y los bombillos), desarrollan y cambian sus puntos de vista sobre fenómenos estudiados. A partir de tal base, el profesor trata de guiar a sus alumnos acerca de un punto de vista de la física por un procedimiento etapa por etapa. Estimular las ideas de los alumnos es una parte crucial en este periodo, en otros términos, los conflictos cognitivos juegan un rol mayor. La estrategia de Gauld (1988) tratada brevemente precedentemente puede ser considerada como un ejemplo paradigmático. Después que, el punto de vista de la física es aplicado en un cierto número de situaciones inéditas. Un peso importante es igualmente dado a la reflexión de los alumnos sobre su propio proceso de aprendizaje, de modo que se den cuenta de que sus ideas iniciales de la vida cotidiana son diferentes de los nuevos puntos de vista de la física.

Esas estrategias pueden ser llamadas discontinuas porque ellas se apoyan deliberadamente en los conflictos cognitivos.

Las estrategias de conflicto cognitivo, generalmente superiores a las aproximaciones tradicionales (Guzetti & Glass, 1993), conllevan a un cierto número de dificultades. La más importante es la de tomar conciencia del conflicto de los alumnos. La larga discusión acerca de la opinión de los alumnos antes de la enseñanza refuerza simplemente este criterio. Así, las investigaciones tratan sobre las estrategias evitando el conflicto cognitivo, es decir que ellos proponen comenzar la enseñanza por las facetas de las concepciones de los alumnos antes de la enseñanza que ya comparten a menos ciertos aspectos comunes con el punto de vista de la física. A partir de ese núcleo de conformidad se realiza un desarrollo del punto de vista de la física a través de un camino principalmente continuo. Un tipo de tales estrategias puede ser llamado "reinterpretación" (Jung, 1986). Grayson (1996) suministró el ejemplo siguiente para esta estrategia (su término es "sustitución de concepto"). En lugar de estimular las visiones de los alumnos sobre el consumo de corriente como se esbozó precedentemente, ella propone la interpretación siguiente: la idea de que algo es consumido no es del todo falsa, si es considerado en término de energía. La energía se derrama, y ella es "consumida", es decir transformada en calor y en luz.

Existen otras posibilidades de progreso continuos acerca del punto de vista de la física sobre los conceptos de la electricidad. En esos casos, la enseñanza limita inicialmente las concepciones previas de los alumnos sobre el circuito eléctrico, y comienza con ciertos métodos más generales donde establece las analogías con los dominios ya familiares a los alumnos. La estrategia más popular de ese tipo es establecer unas analogías con los circuitos hidráulicos variados. El problema de esta analogía usual de la enseñanza de la física es que ella puede conducir a graves dificultades si ello no es manipulado con cuidado. Las investigaciones han mostrado notablemente que los alumnos poseen principalmente las mismas concepciones (que son falsas desde el punto de vista de la física) dentro de los circuitos eléctricos e hidráulicos (ver Schwedes, 1996 para una aproximación abordando ese problema).

Estructura orientada de los contenidos científicos de los alumnos

En todas las nuevas investigaciones relativas a lograr el cambio conceptual en la enseñanza y el aprendizaje de la electricidad, se han hecho numerosas tentativas para modificar la estructura del contenido físico, de tal manera que las dificultades de aprendizaje reveladas en numerosos estudios disponibles sean abordadas convenientemente. En este sentido, aparecen tres puntos clave:

- (1) El flujo de corriente y el flujo de energía deben ser claramente diferenciados desde el principio, de manera de tomar en cuenta las ideas de los alumnos sobre el consumo de la corriente las cuales son muy resistentes a la enseñanza.
- (2) La intensidad y la tensión deben ser diferenciadas prematuramente de forma de proveer a los alumnos una noción del fenómeno de flujo de corriente que conlleva la idea de un flujo de algo en el circuito y de una “fuerza” directriz de ese flujo, permitiendo distinguir esas dos ideas.
- (3) Para tratar el razonamiento “local” y “secuencial”, discutido previamente, que domina las ideas de los alumnos sobre el flujo de corriente, es necesario guiar tempranamente a los alumnos acerca de la “idea de sistema” del circuito eléctrico (Härtel, 1985). Desde que se produce un cambio de algo en un punto del circuito, hay también cambios simultáneos en los otros puntos. Un modelo apropiado no se debe fundamentar en las cargas (o las partículas) desplazándose individualmente, sino sobre todas las partículas íntimamente interconectadas.

Advertencias concluyentes

En los estudios sobre la enseñanza de la electricidad es donde se han encontrado una gran cantidad de dificultades sobre de aprendizaje de esta rama de la física. Los resultados de este importante cuerpo de investigaciones demuestran claramente que las concepciones de los alumnos antes de la enseñanza influyen profundamente en el aprendizaje. La mayor parte de estas concepciones han mostrado que constituyen los obstáculos para el aprendizaje, puesto que por causa de ellas los alumnos se oponen al aprendizaje de los verdaderos conceptos físicos.

Las concepciones de los alumnos antes de la enseñanza deben constituir ser manejadas de manera inteligente. En este sentido, las investigaciones ha provisto de puntos de vistas que

pueden conducir a las enseñanzas y a los aprendizajes más eficaces para los profesores y para los alumnos, dentro del campo de la electricidad como dentro de otros dominios. Muchas cosas se han hecho, muchas ideas interesantes están disponibles, pero todavía queda mucho por hacer.

Referencias bibliográficas

- Chinn, C.A., & Brewer, W.F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science education. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.
- Closset, J.L. (1983). Sequential reasoning in electricity. In *Research on Physics Education. Proceedings of the First International Workshop*. La Londe les Maures: Editions du CNRS, 313-319.
- Driver, R. (1989). Changing conceptions. In P. Adey, Ed., *Adolescent development and school science* (pp.79-99). London: Falmer Press.
- Duit, R., Goldberg, F., & Niedderer, H., Eds., *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*. Keil, Germany: Institute for Science Education at the University of Keil.
- Gauld, C. (1989). A study of pupils' responses to empirical evidences. In R. Millar, Ed., *Images of science in science education* (pp.62-82). London, UK: Falmer Press.
- Grayson, D. (1996). Improving science and mathematics learning by concept substitution. In D. Treagust, R. Duit & B. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (152-161). New York: Teacher College Press.
- Grob, K., Lompscher, S., Rhöneck, C. von, Schnaitmann, G.W., & Volker, B. (1994). Cognitive abilities, motives, learning strategies, and social interactions as components of long-term learning in basic electricity. In H.-J. Schmidt, Ed., *Problem solving and misconceptions in chemistry and physics -- Proceedings of the 1994 International Seminar*, University of Dortmund (pp.174-183). Petersfield, UK: ICASE Publications.
- Guzetti, B.J., & Glass, G.V. (1992, April). Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco.
- Härtel, H. (1985). The electric circuit as a system. In R. Duit, W. Jung., & Ch. von Rhöneck, Eds., *Aspects of understanding electricity* (pp.343-352). Keil, Germany: Schmidt & Klaunig
- Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. [Everyday conceptions and learning physics]. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie* 34, (April), 2-6.
- Jung, W. (1993). Hilft die Entwicklungspsychologie dem Naturwissenschaftsdidaktiker. [Is developmental psychology of any help for a physics educator?] In R. Duit, & W. Graber, Eds., *Kognitive Entwicklung und Lernen der Naturwissenschaften* (pp.86-108). Keil, Germany: Institute for Science Education at the University of Keil.
- Niedderer, H., & Goldberg, F. (1995). Lernprozesse beim elektrischen Stromkreis. [Learning processes in case of the electric circuit]. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 1, 73-86.

- Pfundt, H., & Duit, R. (1994). *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education. 4th edition*. Keil, Germany: Institute for Science Education at the University of Keil.
- Osborne, R. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science and Technology Education* 1, 73-82.
- Schlichting, H.J. (1991). Zwischen common sense und physikalischer Theorie - wissenschaftstheoretische Probleme beim Physiklernen. [Between common sense and physical theory - philosophy of science issues in learning physics] . *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht* 44, 74-80.
- Shipstone, D.M., Rhöneck, C. von, Jung, W., Karrqvist, C., Dupin, J.J., Joshua, S., & Licht, P. (1988). A study of secondary students' understanding of electricity in five European countries. *International Journal of Science Education* 10, 303-316.
- Schwedes, H. (1996). Analogie-orientierte Elektrizitätslehre als Aufbau mentaler Modelle. [Analogy oriented formation of mental models in electricity]. In R. Duit, & Ch. von Rhöneck, Eds., *Lernen in den Naturwissenschaften*. Kiel; Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel (in press).
- Schwedes, H., & Schmidt, D. (1992). Conceptual change: A case study and theoretical comments. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer, Eds., *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp.188-202). Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel.
- Tiberghien, A., & Delacôte, G. (1976). Manipulation et representations de circuits électrique simples chez des enfants de 7 à 12 ans. *Revue Francaise de Pédagogie* 34, 32-44.
- Tobin, K., Ed. (1993). *The practice of constructivism in science education*. Washington, DC: AAAS Press.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction* 4, 45-69.