

PROBLEMÁTICA DE LA ENSEÑANZA

CONSTRUCCIÓN DEL CONCEPTO DE POTENCIAL ELÉCTRICO MEDIANTE EL APRENDIZAJE POR INVESTIGACIÓN

CARLOS FURIÓ ¹ Y JENARO GUIASOLA ²

¹ Departament de Didáctica de les Ciències Experimentals.
E.U. de Formació del Professorado de E.G.B. de Valencia.
Universitat de Valencia

² Departamento de Física Aplicada I.
E.U. de Ingeniería Técnica Industrial de San Sebastián.
Universidad del País Vasco.

RESUMEN

El propósito de este trabajo es por un lado, mostrar de forma resumida los estudios realizados para detectar las dificultades de los estudiantes de Bachillerato en el aprendizaje del concepto de potencial eléctrico y, por otro, exponer el tratamiento realizado para superar las dificultades utilizando el modelo de enseñanza-aprendizaje por investigación

ABSTRACT

The aim of this article is, on the one hand, to present the difficulties of students of secondary school when they learn electric potential, and, on the other hand, to expose the treatment that we have done to overcome these difficulties by using the model of teaching-learning by investigation.

INTRODUCCIÓN

Una de las líneas de investigación en Didáctica de las Ciencias que más auge ha tomado en los últimos diez años ha sido la de detección de ideas previas o preconcepciones de los alumnos (Wandersee et al., 1994; Furió, 1996; Gil 1994). Los resultados de estas investigaciones han servido para poner en evidencia los problemas de aprendizaje de los estudiantes en diferentes campos de la Física, Química y Biología. En concreto, en el caso de la Electricidad, los estudios sobre dificultades de los estudiantes están enfocados principalmente

hacia los circuitos de corriente continua (Duit, 1993), y muestran que uno de los problemas más frecuentes es la dificultad que presentan los estudiantes en explicar la causalidad del movimiento de las cargas utilizando el concepto de diferencia de potencial. Esto se refleja en ideas alternativas como por ejemplo, considerar que el voltaje es debido a la existencia de corriente eléctrica o considerar que la función de la pila en un circuito es la de un contenedor de cargas, siendo los cables tubos huecos por donde éstas circulan (Cohen et al. 1983, Closset 1983, Eylon

y Ganiel, 1990).

Sin embargo, los primeros esfuerzos de conceptualización de los estudiantes en fenómenos de corriente eléctrica vendrán condicionados por las ideas adquiridas en electrostática, ya que la gran mayoría de programas de Electricidad para Secundaria no Obligatoria en España (16-18 años) secuencian los contenidos de Electricidad de forma que se introducen en primer lugar las ideas básicas de electricidad (campo y potencial eléctricos) en este contexto (Guisasola, 1997). Así pues, si suponemos que los estudiantes razonarán sobre fenómenos electrocinéticos a partir de una base conceptual que incluye conocimientos más o menos intuitivos de electrostática, será necesario analizar las dificultades de aprendizaje del concepto de potencial, no sólo en un contexto electrocinético, sino también en un contexto electrostático.

De acuerdo con lo anterior, el propósito de este trabajo es, en primer lugar, mostrar de forma resumida los estudios realizados para detectar las dificultades de los estudiantes de Bachillerato (Secundaria no Obligatoria) en el aprendizaje del concepto de potencial eléctrico y, en segundo lugar, exponer el tratamiento realizado para superar las dificultades utilizando estrategias de enseñanza ubicadas dentro del marco constructivista (Driver, 1986; Duschl y Gitomer, 1991), y en concreto, en el denominado el modelo de aprendizaje por investigación (Furió y Gil 1978, Furió, 1994; Gil y Carrascosa 1994).

Para el diagnóstico de las dificultades, además de los resultados de la investigación didáctica (Hierrezuelo y Montero 1988; Carmichael et al., 1990), hemos tenido en cuenta las aportaciones de diversos autores (Piaget y García, 1975; Glasersfeld, 1989; Wandersee, 1992) que postulan cierto paralelismo entre las dificultades que surgieron en la construcción de las teorías científicas y las dificultades que tienen los estudiantes en el aprendizaje de las mismas. Esta comparación no debe significar la aceptación de un paralelismo estricto entre las dificultades cognitivas de los alumnos y las que existieron en una determinada época histórica, ya que ni los contextos culturales son iguales, ni el pensamiento humano puede estar históricamente determinado (Saltiel y Viennot, 1985). De acuerdo con lo anterior, hemos recurrido a la Historia como fuente epistemológica de obstáculos al avance de la Ciencia, tratando de detectar las dificultades que surgieron en la construcción científica del potencial eléctrico (Whittaker

1987, Furió y Guisasola, 1993).

DIAGNÓSTICO DE LAS DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE

El estudio se ha llevado a cabo en dos etapas. En la primera, se ha pasado a una muestra amplia de estudiantes un cuestionario (ver anexo) de preguntas de tipo abierto, tratando de identificar las dificultades centrales que los estudiantes tienen en este área. La segunda etapa incluye entrevistas con una pequeña muestra de estudiantes, en la que tratamos de diagnosticar con mayor profundidad la naturaleza de las dificultades y sus causas.

El cuestionario se ha pasado a una muestra de 61 alumnos de 3º de Bachillerato (17 años) y 60 alumnos de COU (18 años). Estos lo han cumplimentado inmediatamente después de haberse dado los temas de electrostática y corriente continua correspondientes a sus respectivos programas. Se realizó durante una clase de 50 minutos de duración en "situación de examen", es decir, sin que se pudieran comunicar entre sí.

Los tres primeros ítems del cuestionario se plantean en un contexto electrostático. En el ítem 1 se pide que los estudiantes expliquen de forma cualitativa el concepto de potencial eléctrico dentro de un ámbito escolar, y a continuación, en los ítems 2 y 3, presentan dos situaciones problemáticas donde los estudiantes deben aplicar el concepto de diferencia de potencial eléctrico para determinar si existe movimiento de cargas. Los tres ítems restantes del cuestionario van dirigidos a indagar cómo explican los estudiantes el movimiento de cargas en un contexto electrocinético.

En el análisis de las respuestas del ítem 1 se encuentra que alrededor de un tercio de los estudiantes (30% en 3º de BUP y 35% en COU) explica de forma cualitativa el concepto de potencial eléctrico como la energía potencial por unidad de carga o a partir de la idea de trabajo realizado. Sin embargo una parte importante de los estudiantes (39% en 3º de BUP y 18% en COU) explican la situación utilizando el concepto de fuerza eléctrica, presentando una confusión entre este concepto y el de potencial eléctrico. El resultado de éxito obtenido es bajo si consideramos que esta pregunta es muy familiar a los estudiantes dentro del contexto académico.

Del análisis de las respuestas a los ítems 2 y

3 se obtiene que la mayoría de los estudiantes atribuyen la causa del movimiento de las cargas en un contexto electrostático a la nivelación o neutralización de las cargas en los cuerpos cargados al ponerse en contacto (51% en 3° y 50% en C.O.U. para el ítem 2 y, 71% en 3° y 75% en C.O.U. para el ítem 3). Por el contrario el porcentaje de estudiantes que explica correctamente la causalidad del movimiento de cargas en un contexto electrostático utilizando el concepto de diferencia de potencial es prácticamente nulo (2% en 3° y 0% en C.O.U. para el ítem 2 y, 0% en 3° y 0% en C.O.U. para el ítem 3).

De acuerdo con los resultados obtenidos parece que las interpretaciones de los estudiantes sobre la causalidad del movimiento de cargas presentan mayoritariamente una concepción de la electricidad como fluido compuesto por partículas. En este modelo, similar al propuesto históricamente por Franklin, los fenómenos de movimiento de cargas pueden ser explicados fácilmente por un modelo hidrostático (resultados ítems 2, 3 y 6) donde el movimiento de cargas no requiere ninguna condición energética.

El modelo descrito también es utilizado por los estudiantes en un contexto electrocinético explicando que el movimiento de las cargas es "natural" y sólo depende de la "cantidad de cargas" o de "corriente" contenida en el generador, concebido como un contenedor de las mismas (70,5% en 3° y 66,6% en C.O.U. para el ítem 6). Así mismo, las explicaciones que utilizan el concepto de energía potencial y/o potencial son minoritarias (en torno al 20% en 3° de B.U.P. y al 25% en C.O.U. para los ítems 4, 5 y 6). Estos resultados coinciden con otros obtenidos en la investigación didáctica en los que se muestra que la mayoría de los estudiantes presenta una confusión entre los conceptos de diferencia de potencial e intensidad de corriente o densidad de cargas en un punto (Benseghir y Closset, 1996).

Respecto de la segunda parte del diseño consistente en realizar entrevistas en profundidad a una muestra reducida de estudiantes, se procedió, en primer lugar a realizar un cuestionario y un estadillo que sirviera de guía para seguir el razonamiento de los estudiantes ante las cuestiones planteadas. Estas proponen "situaciones transitorias" para que los estudiantes expliquen el movimiento de cargas existente entre dos esferas. En primer lugar se varía la cantidad de cargas y el signo de las mismas manteniendo constante el tamaño de las esferas (problema 1, similar al ítem 2). En segundo lugar se varía el tamaño de las esferas y la cantidad de cargas

manteniendo constante el signo de las mismas (problema 2, similar al ítem 3).

Se entrevistó a 6 estudiantes (tres chicos y tres chicas) de cada nivel (3° de B.U.P. y COU) durante aproximadamente 20 minutos cada uno. Los estudiantes habían estudiado los temas de electrostática y corriente continua correspondientes a sus respectivos programas.

Las entrevistas fueron grabadas y han sido totalmente transcritas a un protocolo donde también se anotaban las características del diálogo (pausas, tonos de la frase, palabras que se enfatizaban ...etc.) para no perder información a la hora de analizarlo. El análisis cualitativo del protocolo se ha realizado mediante un estadillo constituido por ítems encaminados a conocer las formas de razonamiento que desarrollan los estudiantes cuando tratan de explicar el movimiento de cargas entre dos cuerpos cargados unidos por un conductor (Domínguez y Moreira, 1986).

De acuerdo con el objetivo descrito el protocolo de cada estudiante ha sido analizado, habiéndose obtenido un número importante de características comunes. De entre ellas, hemos considerado como más representativas desde un punto de vista conceptual, las siguientes:

1. Ninguno de los doce estudiantes entrevistados responde correctamente a la causalidad del movimiento de cargas en los dos problemas planteados, en términos de energía potencial o potencial.

2. En ninguna de las explicaciones aparece el concepto de diferencia de potencial como uno de los posibles factores a tener en cuenta en el análisis del movimiento de las cargas.

3. El razonamiento que utilizan los estudiantes para explicar el movimiento de las cargas se basa fundamentalmente en un modelo "hidrostático" y en el criterio universal de que cargas de distinto signo se anulan.

Vamos a reproducir algunos fragmentos de las conversaciones mantenidas entre el entrevistador y los estudiantes, donde se refleja la forma de razonamiento utilizado tal y como fue saliendo en las entrevistas.

1. Ejemplo de respuesta basada en un modelo hidrostático, que usa criterios diferentes para explicar el movimiento de las cargas en el problema 1 (neutralización de cargas) y en el 2 (equilibrio de la cantidad de cargas).

P (profesor) : ¿Se mueven las cargas en el

problema 1?

E (estudiante) : Al conectar las dos esferas son como un solo cuerpo y tenderá siempre a encontrar un estado para no variar, o sea, para estar compensado.

P : ¿Cómo se produce esa compensación?

E : Pues si uno está cargado positivamente y el otro negativamente, quiere decir que a uno le faltan electrones y el otro tiene de más. Pasarán electrones al que le faltan y los que sobren se los reparten.

P : De acuerdo con tu criterio, ¿en qué casos hay movimiento de cargas?

E : en el primero que quedará una carga negativa en cada esfera y en el tercero que quedará una carga positiva en cada esfera.

P : y en el problema dos ¿cuando hay movimiento de cargas?

E : Eso no sé si la masa influye o no. La esfera que es ¿un átomo, una masa o qué?

P : Es un cuerpo esférico conductor.

E : Pues al conectarlo forman un nuevo cuerpo y se compensan las cargas. Quedan las mismas cargas a un lado que al otro.

P : y ¿qué ocurre en el tercer caso?

E : En este es el único en que no pueden quedar el mismo número de cargas en cada esfera ya que son nueve en total a repartir entre dos, entonces pensaba que igual hay más en la pequeña, pero no lo sé.

2. Ejemplo de respuesta incoherente que busca una respuesta rápida sin tener en cuenta que la esfera es un cuerpo extenso uniformemente cargado, y que asimismo, aplica criterios diferentes para explicar el movimiento de las cargas en cada problema.

P : ¿por qué se mueven las cargas en el problema 1?

E : pues, se atraen, al ser positivos y negativos se atraen, y tienden a neutralizarse.

P : y las cargas que no se neutralizan ¿cómo quedan?

E : se quedarían en una de las esferas.

P : ¿no se repartirían?

E : no lo sé. Si son del mismo signo se repelerían.

P : y en el segundo problema ¿qué sucede?

E : Pues que las cargas tenderían a igualarse. En el primer caso se quedarían igual, en el segundo la esfera grande le daría a la pequeña y en el tercero al revés.

P : ¿influirá el tamaño de las esferas?

E : no lo sé, me parece que no.

3. Ejemplo de respuesta basada en un modelo hidrostático, donde se cumple el criterio de

equilibrio de la cantidad de cargas en ambas esferas.

P : ¿existe movimiento de cargas en el problema 1?

E : pienso que tiene que haber el mismo número de cargas en ambas esferas, si son iguales pues no habrá movimiento, pero si falta alguna, tendrá que pasar una negativa al otro lado en el primer caso y una negativa en el tercer caso.

P : y para el problema dos ¿cuándo hay movimiento de cargas?

E : habrá movimiento hasta que se equilibren las cargas, igual que antes.

P : ¿influirá el tamaño de las esferas?

E : el radio de las esferas creo que no influye.

Como conclusión podemos decir que los resultados de los dos diseños son convergentes e indican que los estudiantes no tienen una significación clara del concepto de potencial eléctrico en un contexto electrostático, no existiendo una diferenciación neta entre este concepto y los de cantidad de carga o densidad superficial de carga. De la misma forma en un contexto electrocinético se confunde la diferencia de potencial con la fuerza para llevar las cargas o con la intensidad de corriente.

ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS PARA SUPERAR LAS DIFICULTADES

Las dificultades encontradas en el aprendizaje significativo del concepto de potencial eléctrico dentro de una teoría eléctrica elemental para estudiantes de Bachillerato, es un ejemplo más de dificultades encontradas en otros campos de las Ciencias y que han llevado a la comunidad científica a una crítica fundamentada del modelo de enseñanza-aprendizaje por transmisión verbal de los conocimientos científicos acabados, en el que podemos situar a la enseñanza habitual que hoy mayoritariamente se practica.

Esta crisis ha impulsado la aparición de una nueva orientación constructivista del aprendizaje de las Ciencias y de las Matemáticas (Resnick 1983, Novak 1988). Esta nueva orientación donde el estudiante debe tomar parte activa en el aprendizaje construyendo los conocimientos científicos, está originando modelos diferentes de intervención didáctica que tienen como denominador común el uso de estrategias de aprendizaje basadas en el cambio conceptual (Postner et al. 1982). Pero los resultados que se están encontrando al experimentar estas estrate-

gias dirigidas explícitamente al cambio conceptual -no tan positivos como se esperaban- junto a la necesidad de dar solución a viejos problemas didácticos como los trabajos prácticos (Salinas, 1996) o la resolución de problemas (Furió et al., 1994), y a otros más nuevos como el de las actitudes negativas de los estudiantes hacia la ciencia y su aprendizaje (Welch 1985), requieren ampliar su fundamentación teórica con nuevas componentes epistemológicas, metodológicas y axiológicas relativas a aquello que se enseña. En este sentido están apareciendo en la literatura, cada vez más, trabajos que llaman la atención sobre la necesidad de tener presente el cambio epistemológico y axiológico (Duschl y Gitomer 1991) o el cambio metodológico (Gil et al. 1991) en el aprendizaje, si se quiere lograr el cambio conceptual.

Estas últimas aportaciones han permitido superar el reduccionismo de los modelos de cambio conceptual centrados exclusivamente en los contenidos conceptuales, y recuperar como objetivo la familiarización de los estudiantes con las formas de razonamiento científico. Este cambio ha dado lugar a un modelo constructivista de aprendizaje como investigación que prima estrategias centradas en el tratamiento de situaciones problemáticas abiertas de interés para los estudiantes (Gil 1993). De forma muy resumida, se puede decir que estas estrategias tienen por objeto familiarizar a los estudiantes con la metodología científica a través de la resolución de problemas, proceso en el que se favorecerán las siguientes fases:

a) Proponer situaciones problemáticas interesantes que faciliten una concepción preliminar de la tarea y que sirvan a la construcción de un cuerpo de conocimientos.

b) Aproximación cualitativa a las situaciones problemáticas para precisarlas y así llegar a definir las como problemas. Fase en la que será necesario que los estudiantes expliciten sus esquemas conceptuales y los pongan a prueba como algo consustancial con la tarea de resolución del problema.

c) Enfoque científico para abordar la solución del problema ya acotado. Fase compleja que implica la introducción de conceptos, la emisión de hipótesis, la elaboración de estrategias de resolución o de diseños experimentales, la resolución de los mismos, el análisis de resultados con la posibilidad de conflictos entre concepciones diferentes.

d) Proponer la utilización de los nuevos conocimientos en situaciones diversas y, en particular, dando importancia especial a las relaciones Ciencia/Técnica/Sociedad y a la propues-

ta de nuevas situaciones problemáticas para continuar la construcción de conocimientos a nivel más profundo.

De acuerdo con este modelo de aprendizaje como investigación y con el fin de facilitar el desarrollo del currículo se ha elaborado un programa de actividades que aborda el estudio de la unidad temática de electrostática (que incluye el concepto de potencial eléctrico) en forma de situación problemática, donde se integran tanto la introducción de conceptos, la discusión sobre las implicaciones sociales, la resolución de problemas y el trabajo experimental. Este conjunto de actividades, debidamente articuladas, son realizadas por los estudiantes organizados en pequeños grupos de investigación, bajo la dirección del profesor. En este modelo el papel del profesor como transmisor continuo de información que le asigna la enseñanza habitual queda sustituido por el de facilitador del aprendizaje entendido como mediador entre la Ciencia y los estudiantes (Giordan y Vecchi 1989).

Debido a la necesaria brevedad de este artículo no es posible reproducir todas las actividades realizadas para introducir el concepto de potencial y diferencia de potencial en primer curso de Bachillerato (16-17 años). No obstante, a continuación se ha tratado de resumir la secuenciación y organización de las actividades de la parte de la unidad didáctica encaminada a introducir los conceptos mencionados.

1) Organización en torno a dos situaciones problemáticas que pretenden plantear interrogantes como: ¿Hasta cuándo se intercambian cargas dos cuerpos cargados en contacto?, ¿por qué en, en ocasiones, a pesar de estar cargados y en contacto no se intercambian cargas?, ¿por qué se dice que la electricidad es una energía "almacenada" o potencial?. Una de las situaciones problemáticas propuesta se indica a continuación :

A.2. En muchos aparatos eléctricos suelen tener un cable a "tierra" para descargar las posibles cargas estáticas que se acumulan en el aparato y que pueden producirnos una descarga eléctrica al tocarlo. ¿Sabrías explicar por qué un cuerpo cargado se descarga al conectarlo con el suelo? (Para realizar el análisis puedes suponer que el cuerpo es una esfera pequeña y la tierra una esfera muy grande).

2) La discusión de las situaciones problemáticas permite, en primer lugar, detectar

las ideas de partida y la forma de razonar de los estudiantes sobre el tema y, en segundo lugar, establecer un hilo conductor para resolver el problema (en este caso para introducir los conceptos de potencial y diferencia de potencial). Este hilo conductor nos permite descomponer el problema en otros más simples y accesibles. De forma que las soluciones que vayamos obteniendo nos permitan resolver finalmente los interrogantes planteados al comienzo. Así pues, la introducción de los nuevos conceptos no se realizará de forma arbitraria y aporreada sino como respuesta a una necesidad en el análisis de la situación planteada.

3) La secuencia de actividades resultado del apartado anterior es la siguiente :

a) Establecer de forma cualitativa cómo cambia un sistema simple formado por una carga puntual creadora del campo eléctrico y otra testigo, al moverse esta última. Introducción del concepto de trabajo realizado al desplazarse una carga testigo en un campo eléctrico y de la idea de energía potencial en un campo eléctrico.

b) Introducción de una magnitud que sea independiente de la carga testigo y que nos permita centrarnos en la carga creadora del campo: potencial eléctrico.

c) Análisis del movimiento de cargas en un campo eléctrico e introducción del concepto de diferencia de potencial.

d) Hasta ahora hemos considerado que las cargas eran puntuales. Esta simplificación nos viene muy bien para realizar un primer análisis sencillo de los fenómenos electrostáticos, pero en la vida cotidiana nos encontramos con cuerpos extensos cargados. Así pues, pasaremos a analizar lo que sucede en estos casos para una geometría sencilla : Definición del potencial eléctrico para un conductor esférico cargado.

e) Aplicación de los conceptos construidos a la resolución de las situaciones problemáticas planteadas al comienzo y a otras diferentes. Algunas de las situaciones propuestas están relacionadas con problemas técnicos que aparecen en la vida cotidiana.

Una vez elaborado el programa de actividades (Guisasola, 1996) ha sido aplicado por dos profesores en dos centros de Bachillerato de la Comunidad Autónoma Vasca (I.N.B. de Hondarribia y el Liceo Pasaia). La intervención pedagógica a través del programa de actividades se ha desarrollado durante cuatro semanas que corresponden a la parte de electrostática del programa oficial para el curso de 3º de B.U.P. (16-17 años). Es necesario indicar que los estudiantes que han realizado la experiencia estaban

acostumbrados a trabajar con programas de actividades.

Los diseños elaborados para evaluar el aprendizaje logrado (conceptual, metodológico y actitudinal) han sido de dos tipos y se describen a continuación.

3.1. Diseño para analizar los razonamientos y procedimientos empleados por los estudiantes al enfrentarse a situaciones problemáticas.

Este primer diseño trata de realizar un acercamiento cualitativo a la forma de razonar de los estudiantes cuando interpretan diversas situaciones problemáticas. Estas situaciones se plantean a los alumnos en el desarrollo de una clase normal dentro de su actividad de trabajo en grupo. Una de las situaciones propuestas ha consistido en que expliquen la causalidad del movimiento de cargas entre dos esferas de diferente radio (uno doble que el otro) conectadas por un hilo conductor y con diferente carga cada una (situación que se presenta en el ítem 3).

Al finalizar la discusión los estudiantes debían realizar un informe explicando sus conclusiones y justificándolas. Del análisis de los informes realizados se puede deducir que el razonamiento utilizado por los estudiantes cuando responden correctamente puede agruparse en dos variantes que vamos a describir a continuación.

Variante 1: utilizan de forma adecuada el concepto de potencial para analizar el movimiento de las cargas en las tres situaciones planteadas en el ítem 3. Un ejemplo de esta forma de razonamiento sería el siguiente:

"En la primera situación el potencial de la esfera A es mayor que el de la B debido a que la acumulación de cargas es mayor en la superficie pequeña de la esfera A. Además, como la cantidad de cargas en A y B son iguales pero el radio de B es doble que el de A, el potencial en B tiene que ser más pequeño. Por tanto, cuando se unan las dos esferas las cargas pasarán de la esfera A a la B hasta que el potencial de las dos sea igual. Teniendo en cuenta las superficies y la cantidad de carga, el dibujo final tendrá 4 cargas en la esfera A y 8 cargas en la esfera B.

Para el segundo caso existe un equilibrio entre las dos esferas ya que el radio de las esferas y la cantidad de carga se corresponden. Por tanto, están al mismo potencial y no hay movimiento de cargas.

En el tercer caso la esfera B es mayor que la A y tiene menos cargas, por tanto el potencial de la esfera A es mayor que el de la B y se produce un movimiento de cargas de A a B hasta que las dos esferas logran tener el mismo potencial". (Liceo Pasaia, curso 94/95).

Variante 2 : utilizan la proporcionalidad entre cantidad de carga y tamaño de la superficie para indicar el movimiento de las cargas. Un ejemplo de esta forma de razonamiento sería la siguiente:

"En el primer caso las cargas se moverán de A a B, se repartirán proporcionalmente según el tamaño de forma que quedarán 4 cargas en A y 8 en B.

En el segundo caso las cargas no se moverán ya que están proporcionalmente bien repartidas.

En el tercer caso ocurre una cosa especial ya que nos sobra una carga al ser la proporcionalidad de 3 en la A y 6 en la B, suponemos que se quedará fuera de las dos esferas." (Liceo Pasaia, curso 94/95)

Respecto del razonamiento de los estudiantes en las respuestas incorrectas, las contradicciones que aparecen en el discurso de los estudiantes no permiten deducir una línea de razonamiento coherente sino que se puede constatar que el discurso intuitivo de los estudiantes se caracteriza por su inestabilidad, incoherencia y contradicciones.

Sin embargo, es cierto que aparecen razonamientos que consideran el factor "cantidad de carga" de las esferas como fundamental a la hora de explicar el movimiento de cargas (modelo hidrostático), que es el razonamiento que más aparece en alumnos que siguen una enseñanza tradicional, tal y como hemos señala-

do anteriormente.

De acuerdo con lo anterior, los resultados se pueden agrupar en la siguiente tabla:

centro	respuestas correctas	respuestas incorrectas
I. Hondarribia	100% (71% v.1 y 29% v.2)	0%
Liceo Pasaia	86% (57% v.1 y 29% v.2)	14%

Así mismo, en dos grupos de cada clase, se procedió a grabar la discusión realizada por los estudiantes. Las discusiones han sido totalmente transcritas a un protocolo y el análisis del mismo se ha realizado en función de las categorías provisionales que se habían establecido a partir del diagnóstico inicial realizado. A lo largo del análisis las categorías previas fueron matizadas de acuerdo con los resultados obtenidos y con el intercambio de opiniones entre los analistas del protocolo (De Jong, 1995). En definitiva, se ha intentado que los resultados de esta aproximación cualitativa al razonamiento de los estudiantes sean lo más fiables y válidos posibles.

De los cuatro grupos de estudiantes grabados, dos de ellos (Grupo 1) responde correctamente explicando el fenómeno sobre la base de la proporcionalidad entre cantidad de carga y "tamaño de la superficie" para producirse el movimiento de las cargas. Cuando los estudiantes hablan de "tamaño" de la esfera no quieren decir "superficie de la esfera" en sentido estricto, ya que ésta es proporcional al cuadrado del radio y por tanto, el resultado del razonamiento sería incorrecto. Más bien se refieren a una idea intuitiva previa a una justificación formal (utilización del potencial eléctrico) en base a la "presión eléctrica" que tiene la esfera (Steinberg, 1992). En los otros dos grupos

* Veamos el análisis de los comentarios del grupo 1:

Protocolo 1

- 01 **Ibon:** En el primer caso las cargas se moverán de la esfera A a la B.
 02 **Arkaitz:** Sí se repartirán de forma que en B haya el doble de cargas que
 03 en A.
 04 **Koldo:** Entonces, ¿Se repartirán según el tamaño?, ¿en B debe haber el
 05 doble de cargas que en A?
 06 **Arkaitz:** Eso es se repartirán de forma proporcional.
 07 **Egoi:** Si eso es, en la esfera A habrá cuatro y en la B que es doble ocho
 08 **Ibon:** En el segundo caso las cargas no se moverán porque están

- 09 repartidas proporcionalmente.
 10 **Arkaitz:** Eso es, como la esfera B es de doble tamaño que la A y tiene el
 11 doble de cargas están en equilibrio.
 12 **Arkaitz:** Ahora el tercer caso, las cargas se repartirán
 13 proporcionalmente. Pero aquí no sale.
 14 **Koldo:** Claro aquí hay que dividir una de las cargas, pero no es posible.
 15 **Ibon:** Ponemos que el movimiento de cargas se produce de A a B hasta
 16 que se logre un reparto proporcional y no ponemos el reparto
 17 final porque no es posible
 18 **Arkaitz:** No!, ponemos que en la esfera A hay 3, en la B 6 y una queda
 19 fuera de las esferas.
 20 **Ibon:** Vale, ponemos eso.

(Grupo 2) los alumnos emplean explícitamente el concepto de potencial para razonar el movimiento de las cargas, contestando también correctamente.

El Protocolo 1 corresponde al final de la discusión cuando los alumnos deben justificar las hipótesis que han realizado al comienzo sobre la existencia de movimiento de cargas y el estado final. El análisis del protocolo 1 nos confirma que una de las formas de razonamiento de los

alumnos del grupo experimental es sobre la base de la proporcionalidad entre cantidad de carga y "tamaño de la superficie" para producirse el movimiento de las cargas, utilizando la noción "intuitiva" de potencial como "presión eléctrica" que se ha trabajado en el programa de actividades (Arkaitz línea 06, Ibon líneas 08 y 09, Arkaitz líneas 10 y 11, Ibon líneas 15 y 16).

* Análisis de los comentarios del grupo 2 :

Protocolo 2

- 01 **Unai:** En el primer caso la esfera B tiene doble radio que la A y en
 02 las dos hay la misma cantidad de carga, por tanto pasará carga.
 03 **Aitor:** ¿Cuánta carga pasará?
 04 **Koldo:** Pasará carga hasta que los potenciales de las dos esferas sean
 05 iguales. En general, hasta que las dos esferas no tengan el
 06 mismo potencial pasará carga de una a otra.
 07 **Aitor:** En este caso como el diámetro de una esfera es doble que la de la
 08 otra
 09 **Koldo:** El radio de una doble, esto es la superficie de una doble que el de
 10 la otra.
 11 **Mikel:** O sea, En la esfera B debe haber doble cantidad de carga que en
 12 la A al final del proceso.
 13 **Koldo:** Sí de esta forma el potencial de las dos esferas es igual.
 14 **Unai:** Sí cuando el potencial se iguala no se mueven las cargas.

Protocolo3

- 01 **Aitor:** ¿Y en el segundo caso? ¿se mueven las cargas?.
 02 **Unai:** Aquí la esfera de doble tamaño tiene el doble de cargas, por
 03 tanto no habrá movimiento de cargas.
 04 **Koldo:** Si, no hay movimiento de cargas ya que el potencial es el mismo
 05 en las dos esferas.
 06 **Aitor:** Vale, ponemos eso.

Protocolo 4

- 01 Mikel:** En el caso tres se produce movimiento de cargas ya que en la
02 esfera pequeña tenemos 6 cargas y en la grande 4 cargas.
03 Unai: pondremos cinco en cada esfera
- 04 Koldo:** No!, en una doble que la otra.
05 Aitor: Pero no queda bien, ¿en la A 3 cargas y en la B 7?
06 Mikel: Sería 3 y media y siete para que el potencial de las dos esferas
07 fuera igual.
08 Koldo: Ponemos que las cargas se mueven hasta que las dos esferas
09 tengan el mismo potencial.
10 Mikel: Vale!, y dejamos la situación final sin llegar a un equilibrio la
11 esfera A con 4 cargas y la B con 6.

Los protocolos 2, 3 y 4 corresponden a diferentes partes de las discusión referidas a cada una de las situaciones que se les presentan para resolver. Del análisis de los protocolos se puede deducir que existe en el grupo un consenso general sobre la base de utilizar el concepto de diferencia de potencial como causa del movimiento de las cargas (Koldo líneas 4, 5 y 6, Unai línea 14 del protocolo 1; Koldo líneas 4 y 5 del protocolo 2). Incluso en el tercer caso planteado, que no guarda una proporcionalidad exacta entre radio y cantidad de carga, los alumnos utilizan el mismo criterio. Así, Mikel trata de lograr una proporcionalidad exacta (líneas 6 y 7 del protocolo 3) para que se pueda utilizar el criterio empleado, es decir, los potenciales deben ser iguales (Koldo líneas 8 y 9). Sin embargo es preciso indicar que por lo menos un alumno de este grupo 2 no parece entender que la superficie de la esfera es función del radio al cuadrado y no del radio (Koldo 09 del protocolo 2).

3.2. Prueba para comparar el aprendizaje conceptual logrado en la unidad didáctica por los grupos experimentales y el de control.

Este segundo diseño se ha realizado al terminar todas las actividades del tema de electrostática y ha consistido en una prueba de cuestiones abiertas que recoge los objetivos de aprendizaje propuestos al diseñar la unidad didáctica. Uno de los objetivos a cumplir es que los estudiantes comprendan el interés de introducir el concepto de potencial eléctrico para explicar el movimiento de las cargas y sepan aplicarlo. Respecto de este objetivo se prepararon dos cuestiones referentes al concepto de potencial eléctrico, una de ellas (C.1.) trata de que los estudiantes expliquen de forma cualitativa el concepto de potencial eléctrico dentro de un contexto escolar. En la otra cuestión (C.2.) los estudiantes tienen que aplicar el concepto de diferencia de potencial eléctrico en una situación problemática, donde deben analizar desde un punto de vista energético el movimiento de una carga puntual en los alrededores de una placa plana cargada.

Los resultados obtenidos para ambas cuestiones se muestran en la tabla siguiente, junto con el valor del estadístico "t" de Student para poder hacer comparaciones acerca de la significatividad de los resultados (Sierra, 1983).

Nº de ítem y concepto	Porcentaje de respuestas correctas (desviación estándar)				t de student
	Grupo 1 (a) N=28	Grupo 2 (b) N=26	Grupo E (c) N=54	Grupo 3 (d)	
C.1 potencial eléctrico	74,5 (8,2)	70 (9)	72 (6,1)	29,5 (5,8)	p<< 0,01
C. 2 energía potencial eléctrica de un sistema	57 (9,4)	51 (9,7)	54 (6,7)	10 (3,8)	p<< 0,01

(a) Instituto de Hondarribia, (b) Liceo Pasaia, (c) Media de grupos experimentales, (d) Control

Los alumnos que han sido tratados experimentalmente presentan un mejor porcentaje de respuestas acertadas en ambas cuestiones. Estos resultados pueden interpretarse como exponentes de un aprendizaje significativamente mayor del concepto de potencial eléctrico que el logrado en el grupo de control.

CONCLUSIONES

En el primero de los diseños realizados para evaluar el aprendizaje logrado se observa que los razonamientos realizados por la gran mayoría de los grupos de trabajo en la clase experimental son coherentes con el modelo teórico estudiado, superando las deficiencias conceptuales y metodológicas que aparecían en los razonamientos de los estudiantes entrevistados de la clase de control.

En el segundo diseño los resultados muestran que se ha producido una mejora del aprendizaje del concepto de potencial siendo el número de respuestas correctas dos veces mayor para una cuestión dentro de un contexto escolar y cuatro veces mayor para la cuestión de aplicación del contexto en una situación problemática. Sin embargo los resultados en términos absolutos de la segunda cuestión pueden parecer menos positivos de lo esperado, en nuestra opinión, esto puede ser debido a la dificultad del propio concepto de potencial eléctrico.

Por último indicar que los resultados de los dos diseños realizados son convergentes pudiéndose decir que se ha obtenido una mejora en el aprendizaje del concepto del potencial eléctrico por parte de los alumnos tratados experimentalmente con respecto a los del grupo de control.

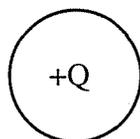
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENSEGHIR A. y CLOSSET J.L., 1996, The electrostatics-electrokinetics transition: historical and educational difficulties, *International Journal of Science Education*, 18 (2), 179-191.
- CARMICHAEL, P., WATTS, M., DRIVER R., HOLDING B., PHILLIPS I. y TWIGGER D., 1990, Research on students' conceptions in science: A bibliography, Leeds, Children's Learning in Science Research Group. (University of Leeds).
- CLOSSET J.L., 1983, Le raisonnement sequentiel en electrocinétique, Tesis doctoral, Paris VII, Laboratoire de Didactique de la Physique dans l'Enseignement Supérieur.
- COHEN, R., EYLON, B. y GANIEL, U., 1983, Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' conceptions, *American Journal of Physics*, vol 51, pp 407-412
- DE JONG, O. (1995). Classroom protocol analysis: A fruitful method of research in science education. Proceedings of the second Ph. D. summer school. (Edited by D. Psillos. Thessaloniky. Greece).
- DOMINGUEZ M.E. y MOREIRA M.A., 1986, Detección de conceptos intuitivos de electricidad a través de entrevistas clínicas, *Revista de Enseñanza de la Física*, 2 (1), 7-15.
- DRIVER, R. 1986, Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 3-16.
- DUIT, R., 1993, Research on student's conceptions-developments and trends, paper presented at the "Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics". Cornell. Ithaca.
- DUSCHL R. y GITOMER D, 1991, Epistemological perspectives on conceptual change: implications for educational practice, *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), 839-858.
- EYLON, B.S. y GANIEL, U., 1990, Macro-micro relationships: the missing link between electrostatics and electrodynamics in students' reasoning, *International Journal of Science Education*, 12(1), 79-94.
- FURIO C., 1994, La Enseñanza de las Ciencias como investigación: un modelo emergente, Proceedings International Conference "Science and Mathematics Education for the 21 st. Century: Towards innovatory approaches". Universidad de Concepción. Concepción (Chile).
- FURIO, C. 1996, Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique*, 7, 7-17.
- FURIO C. y GIL D., 1978, El program-guía: una propuesta para la renovación de la didáctica de la Física y Química. Servicio de publicaciones del ICE de la Universidad de Valencia.
- FURIO C. y GUIASOLA J., 1993, ¿Puede ayudar la Historia de la Ciencia a entender por qué los estudiantes no comprenden los conceptos de carga y potencial eléctricos?, *Revista Española de Física*, vol 7, nº3, 46-50.
- FURIO C., ITURBE J. y REYES V., 1994, Contribución de la resolución de problemas como investigación al paradigma constructivista de aprendizaje de las ciencias, *Investigación en la Escuela*, 24, 89-99.

- GIL D., 1993, Contribución de la historia y filosofía de la ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, vol 11, nº 2, 197-212.
- GIL D., 1994, Diez años de investigación en Didáctica de las Ciencias: realizaciones y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 154-164.
- GIL, D. y CARRASCOSA, J., 1994. Brnging pupils learning closer to a scientific construction of knowledge: a permanent feature in innovations in science teaching, *Science Education* , 78 (3), 301-315.
- GIL D, CARRASCOSA J., FURIO C. y MARTINEZ-TORREGROSA J., 1991, *La Enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria* , (Horsori. Barcelona).
- GLASERSFELS E. VON, 1989, Cognition, Construction on Knowledge and Teaching, *Synthese*, 80 (1): 121-140.
- GIORDAN, A. y DE VECCHI, G., 1988, *Los orígenes del saber* , (Díada Editoras: Sevilla).
- GUISASOLA J., 1996, Análisis crítico de la enseñanza de la Electrostática en el Bachillerato y propuesta alternativa de orientación constructivista, Tesis doctoral. (Departamento de Física aplicada I de la Universidad del País Vasco. San Sebastián.España).
- GUISASOLA J., 1997, El trabajo científico y las tareas en la electrostática en textos de bachillerato, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 11, 45-54.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A., 1988. *La ciencia de los alumnos*. (Edit Laia- MEC).
- NOVAK J.D., 1988, Constructivismo humano: un consenso emergente, *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 213-223.
- PIAGET J. y GARCIA R., 1982, *Psigogénesis e Historia de las Ciencias*, (Editorial Siglo XXI. México)
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.V. y GERTZOG, W.A., 1982. Accomodation of a scientific conception: Towrds a theory of conceptual change. *Science Education* , 66, pp 211-227.
- RESNICK L.B., 1983, *Mathematics and Science Learning: a new conception*, *Science*, 220, 477-487.
- SALINAS J., 1996, Las prácticas de Física básica en laboratorios universitarios, *Revista de Enseñanza de la Física*, volumen extraordinario de Abril.
- SALTIEL E. y VIENNOT L., 1985, ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?. *Enseñanza de las Ciencias*, 3(2), 137-144.
- SIERRA R., 1983, *Técnicas de investigación social*, (Parainfo. Madrid).
- STEINBERG M. S., 1992, What is electric potencial? connecting Alessandro Volta and contemporary students. *Proceeding of the Second International Conference on the History and Philosophy of Science and Science Teaching* , vol.II, 473-480. Kingston. [72].
- WANDERSEE J.H., 1992, The Historicity of cognition: implications for Science Education Research, *Journal of Research in Science Education* , 29 (4), 423-434.
- WANDERSEE J.H., MINTZES J.J. y NOVAK J.D., 1994, *Research on alternative conceptions in Science*, Handbook of research on Science teaching and learning , McMillan Publishing Company. New York.
- WELCH W., 1985, *Research in Science Education: review and recomendations*, *Science Education*, 75 (1), 9-21.
- WHITTAKER, E., 1987, *A History of the Theories of Aether and Electricity vol I*, American Institute of Physics.

ANEXO

Item 1. Explica que significa para ti el concepto de potencial eléctrico en un punto P próximo a una carga positiva Q (véase el dibujo). Aplica esta idea para el caso concreto de que el potencial valga 7 voltios.



x P

Explicación:

.....

Item 2. En la figura tenemos dos esferas iguales, cargadas en tres situaciones diferentes. Se conectan entre sí mediante un hilo conductor. Indica si habría movimiento de cargas y dibuja (figura final) cómo quedaría la carga de cada esfera.

Estado eléctrico inicial	Movimiento de cargas	Estado eléctrico final
	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	
	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	

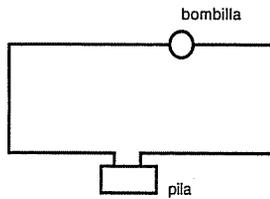
Explicación:

Item 3. En la figura tenemos representadas dos esferas cargadas en tres situaciones diferentes, donde la A tiene la mitad de diámetro que la B. Se conectan entre sí mediante un hilo conductor. Explica en cada caso si habría movimiento de cargas y dibuja (figura final) cómo quedaría la carga de cada esfera.

Estado eléctrico inicial	Movimiento de cargas	Estado eléctrico final
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">A </div> <div style="text-align: center;">B </div> </div>	<input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">A </div> <div style="text-align: center;">B </div> </div>	<input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">A </div> <div style="text-align: center;">B </div> </div>	<input type="checkbox"/> sí <input type="checkbox"/> no	

Explicación:

Item 4. Explica qué significa para ti el concepto de diferencia de potencial de una pila situada en un circuito (ver figura) Aplica esta idea para el caso concreto de que la pila tenga una diferencia de potencial de 4,5 voltios.

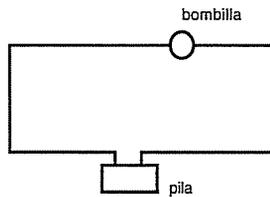


Explicación:

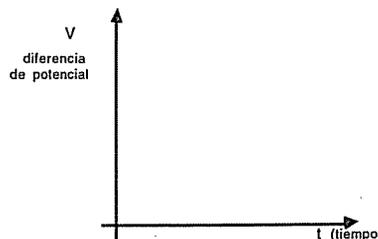
.....

Item 5. Al conectar un circuito como el de la figura se observa que la bombilla se enciende, hecho que se interpreta diciendo que hay un paso de cargas a través del circuito debido a que:

- A_ La pila proporciona la fuerza necesaria para que se muevan las cargas.
- B_ La pila proporciona la cantidad de electricidad que necesita la bombilla para encenderse.
- C_ La pila proporciona la corriente necesaria para que haya una diferencia de potencial.
- D_ Otra respuesta :



Item 6. Tenemos una pila conectada a un circuito durante bastante tiempo hasta que se agota. Explicar cómo variará la diferencia de potencial (V) de la pila a lo largo del tiempo (t), y dibuja esa variación en la gráfica de la figura.



Explicación:

.....

APFA EN INTERNET

Ahora los navegantes de Internet pueden tener la ocasión (y la satisfacción) de obtener información muy completa sobre **APFA** y sus actividades, si arriban al puerto o página mantenida por nuestro socio de Bariloche, Dr. Ernesto Martínez, tanto en español como en inglés.

La dirección para llegar a buen puerto es:

<http://www.cab.cnea.edu.ar/apfa/apfa.htm>