

INVESTIGACIÓN DE LAS IDEAS DE LOS ALUMNOS DE ENSEÑANZA SECUNDARIA SOBRE LA CORRIENTE ELÉCTRICA

RUIZ SÁENZ DE MIERA, A.⁽¹⁾, ROSADO, L.⁽²⁾ y OLIVA, J. M.⁽³⁾

(1) I. B. Silverio Lanza, Getafe.

(2) UNED. Facultad de Ciencias. Madrid.

(3) I. B. Fuerte de Cortadura, Cádiz.

SUMMARY

This paper deals with the ideas on electric current of secondary education (BUP and COU) students who have been given traditional tuition. The study was based on open-choice questionnaires, word-choice tests and concept trees. The results obtained show that the students' experiential and environmental models acquired from their everyday physical and social experience are preserved throughout their secondary education. However, their vocabulary gradually conforms to the «scientific model» of electric current.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las ideas de los alumnos en Ciencias, de sus modelos representacionales, constituye la base de cualquier desarrollo curricular y, por supuesto, del aprendizaje posterior. Como dice Ausubel: «De todos los factores que influyen en el aprendizaje, el más importante consiste en lo que el alumno ya sabe» (Ausubel 1983). Acceder a las ideas de los alumnos supone un proceso complejo, existiendo distintos procedimientos desde diversas perspectivas y con objetivos diferentes. Por un lado se dispone de técnicas de entrevistas clínicas y cuestionarios escritos destinados a revelar los conocimientos en acción de los estudiantes, mediante la interpretación y/o predicción de fenómenos (Osborne 1980, Osborne y Gilbert 1980, Novick y Nussbaum 1978 y 1981). Por otro, en la bibliografía podemos también encontrar estrategias de elaboración de mapas o diagramas conceptuales, utilizando como técnicas de trabajo la entrevista clínica (Novak y Gowin 1988), técnicas de asociación de palabras (Preece 1976, Johnstone y Moynihan 1985, Kempa y Nicholls 1983), definiciones de conceptos (Kempa y Hodgson 1976) y construcción de árboles conceptuales (Mathews et al. 1984, Novak y Gowin 1988).

Algunos autores se han ocupado de las ideas de los alumnos sobre la corriente eléctrica. Osborne (1985) establece la existencia de diversos modelos sobre el modo en que la corriente fluye por un circuito formado por una pila y una bombilla, en alumnos comprendidos entre 10 y 17 años: unipolar, de corrientes encontradas, de atenuación de la corriente a lo largo del circuito y científico. Shipstone (1984, 1985) estudia las opiniones de los alumnos de la escuela secundaria sobre la corriente eléctrica en circuitos que constan de varios elementos. En dichos trabajos se pone de manifiesto que un alto porcentaje de alumnos de todos los cursos, consideran que el brillo de una serie de bombillas situadas consecutivamente va disminuyendo paulatinamente a lo largo del circuito, y que una resistencia sólo es capaz de afectar el brillo de una bombilla cuando es intercalada delante de la misma. Este tipo de razonamiento, según el cual la corriente se comporta como si se agotase a medida que avanza por el circuito, ha sido también observado por Closset (1983) y recibe el nombre de «razonamiento secuencial» por considerar al circuito como una sucesión de elementos dispuestos secuencialmente, sin retroacción, en lugar de considerarlo como un

sistema global en el que sus elementos se encuentran en mutua interacción (Viennot 1989). Solomon (1985) investiga el punto de vista de los alumnos de primero y tercero de secundaria (11-12, 13-14) sobre la electricidad, empleando un cuestionario con tres preguntas: ¿qué es la electricidad?, ¿a qué se parece la electricidad?, y ¿dónde hay electricidad? Los resultados ponen de manifiesto que en ambos grupos existe un tronco común de conocimiento social, con una variación muy pequeña en sus interpretaciones, no apreciándose un avance significativo en las concepciones del grupo de mayor edad. En nuestro país son escasas las investigaciones realizadas en este terreno, los pocos trabajos realizados al respecto parecen haber detectado las mismas deficiencias que en alumnos de otros países (Criado y Merino 1987, Varela et al. 1988, Acevedo 1989).

En este trabajo se estudian las ideas de los alumnos de BUP y COU en torno a la corriente eléctrica, mediante cuestionarios de preguntas de respuesta abierta, tests de elección de palabras y árboles conceptuales.

PARTE EXPERIMENTAL

Características de la muestra

La investigación se ha llevado a cabo sobre tres grupos mixtos de alumnos de segundo de BUP, tercero de BUP y COU, con edades comprendidas entre 15 y 19 años. Todos pertenecen al Instituto de Bachillerato Silverio Lanza de Getafe (Madrid), en el que reciben una enseñanza tradicional, con exposiciones del profesor, resolución de ejercicios y problemas numéricos, incluyendo una hora de laboratorio quincenal. El centro está situado en una zona eminentemente industrial de la periferia de Madrid. Sociológicamente, los alumnos pertenecen a la clase media y media baja. En un porcentaje elevado sus padres son obreros con poca cualificación, existiendo también pequeños comerciantes y una minoría de cargos intermedios. En la tabla I se recogen algunas características de los grupos que han intervenido en la investigación.

Tabla I
Características de los alumnos sobre los que se ha realizado la investigación.

GRUPO	N. Alumnos	Edad media	Nivel de estudios de los padres		
			superiores	medios	primarios
2º BUP	37	16,5	2,7	5,5	91,9
3º BUP	34	17,1	2,9	14,7	82,5
COU	36	18,3	1,4	13,8	79,1

Todos los alumnos cursaban la asignatura de Física o Física y Química, aunque en el momento de realizar el estudio todavía no habían llegado al tema de electricidad. Por consiguiente las ideas que pusieron de manifiesto sobre la corriente eléctrica, se referían a concepciones pre y postinstruccionales adquiridas en etapas

anteriores (García Hourcade y Rodríguez de Ávila 1988). Académicamente, los alumnos de segundo de BUP solo habían estudiado aspectos muy genéricos de electricidad 2 o 3 años antes, según su procedencia, en la Educación General Básica; los de tercero de BUP habían tratado la corriente eléctrica el curso anterior y los de COU lo habían hecho en los dos cursos anteriores.

Metodología

1. Recopilación de datos

La recogida de datos entre los alumnos se ha llevado a cabo en tres fases (cuestionario de introducción, test de selección de palabras y construcción de árboles conceptuales), separadas por períodos de 7 a 10 días, según los grupos, y siempre en el tiempo habitual de clase.

a) Cuestionario introductorio

Constituido por un párrafo inicial, en el que se informaba a los alumnos de que iban a participar en una investigación cuyo objeto era estudiar sus ideas sobre la corriente eléctrica, y un cuestionario de 9 preguntas con definiciones, explicaciones y valoración de distintos fenómenos relacionados con la corriente eléctrica. El tiempo para responder al cuestionario fue de 30 minutos.

b) Test de selección de palabras

A partir de los resultados obtenidos en el cuestionario de introducción, la bibliografía al respecto (Osborne y Freyberg 1985, Solomon et al. 1985), y de los conceptos seleccionados por un grupo de profesores del centro, junto a otros extraídos del programa de Física de estos niveles, se elaboró una lista de 103 palabras con el siguiente contenido: conceptos fundamentales de la corriente eléctrica, magnitudes eléctricas, unidades eléctricas, conceptos sacados de otras partes de la electricidad (campo eléctrico, electromagnetismo), palabras del lenguaje coloquial relacionadas con la electricidad, conceptos y términos de otras partes de la Física y de la Química, y nombres de aparatos de medida de magnitudes físicas. A cada alumno participante en la investigación se le ofreció esta lista ordenada alfabéticamente, pidiéndoles que marcasen las 20 palabras que considerasen fundamentales para explicar la corriente eléctrica y sus propiedades. El número de 20 es sólo orientativo, admitiéndose también como válidos los cuestionarios que se desviasen de esta cantidad en 2 o 3 por exceso o por defecto, pero rechazando aquéllos que lo hicieran en un número mayor. De todos los cuestionarios considerados como válidos en un grupo se seleccionaron las palabras que presentaban una frecuencia superior al 50%. Estas palabras, que denominaremos «universo conceptual» del grupo, se utilizaron en etapas posteriores para construir árboles conceptuales.

c) Obtención de árboles conceptuales

En primer lugar, se adiestró a los alumnos en la construcción de diagramas arbóreos, mostrándoles distintos ejemplos ya realizados, explicándoles el procedimiento de elaboración y pidiéndoles que realizasen un ensayo a partir de una

lista de conceptos sobre relaciones familiares (padre, madre, hijo, tío, etc.). A continuación se les ofreció la lista de palabras componentes del «universo conceptual» del grupo, obtenido en la etapa anterior, y se les pidió que, de forma individual, construyesen un árbol conceptual con ellas. Para esta última tarea dispusieron de un tiempo comprendido entre 35 y 45 minutos, según los grupos.

El procedimiento para la construcción de diagramas arbóreos es el empleado por Mathews et al. (1984).

2. *Obtención de la matriz de aproximación*

a) *Lectura de los árboles y obtención de la matriz de aproximación*

El procedimiento de lectura de los árboles y de construcción de su matriz correspondiente es el seguido por Mathew et al. (1984).

b) *Obtención de la semimatriz de aproximación del grupo*

Para obtener la semimatriz de aproximación de cada grupo de alumnos, se sumaron las semimatrices individuales correspondientes a cada integrante del mismo. Los valores de los elementos de la semimatriz resultante fueron normalizados dividiéndolos por el de valor más alto. De esta forma, al final, todos los elementos quedaron comprendidos entre 0 y 1.

3. *Construcción de diagramas bidimensionales de la matriz de aproximación*

El método empleado para la obtención de estos diagramas constituye una versión modificada del empleado por Mathews et al. (1984).

a) A partir de la semimatriz de aproximación de cada grupo de alumnos se obtuvo una semimatriz simétrica completa, calculando su matriz traspuesta y sumando ambas. En la matriz simétrica obtenida todos los elementos de la diagonal principal permanecen en blanco.

b) Los elementos de la diagonal principal se calcularon sumando todos los elementos de cada fila y situando el resultado en el elemento de la diagonal correspondiente. Simbólicamente

$$m_{ij} = \sum_{j=i}^n m_{ij}$$

siendo n el número de conceptos. La matriz resultante tiene tantas filas y columnas como conceptos forman el árbol conceptual. El valor de un elemento m_{ab} de esta matriz es una medida del inverso de la relación entre los conceptos A y B. El valor del elemento m_{ii} de la diagonal principal determina el orden de colocación del concepto I en el diagrama posterior.

c) Para situar los conceptos de la matriz de aproximación en el diagrama se procedió de la siguiente manera: el concepto correspondiente al mínimo valor de la diagonal

principal (p. e., concepto A) se colocó en el origen de un sistema de coordenadas cartesianas. El concepto correspondiente al segundo valor más bajo de dicha diagonal (p. e. concepto B) se colocó en el eje Y, a una distancia de A igual al valor del elemento m_{ab} de la matriz. El siguiente elemento (p. e., C), tercer valor más bajo de la diagonal principal, se situó en un punto del primer cuadrante, de forma que la distancia CA fuera igual al elemento m_{ca} de la matriz y la distancia CB igual al elemento m_{cb} .

El siguiente concepto, D, ya no pudo ser situado por este procedimiento, pues, en general, no existe ningún punto tal que su distancia a los tres ya situados coincida de forma exacta con los valores correspondientes de la matriz de aproximación. Por ello, el concepto D se situó en un punto tal que hiciera mínimas las diferencias entre las distancias a los conceptos ya situados (DA, DB y DC) y los valores de la matriz correspondientes (m_{da}, m_{db}, m_{dc}). Matemáticamente las coordenadas de tal punto pueden calcularse por el método de mínimos cuadrados haciendo mínima la ecuación:

$$D = \sum_{k=1}^{n-1} (d_{nk} - m_{nk})^2$$

que desarrollando la expresión de la distancia, d_{nk} , entre dos puntos toma la forma:

$$D = \sum_{k=1}^{n-1} [\sqrt{(x_n - x_k)^2 + (y_n - y_k)^2} - m_{nk}]^2$$

siendo k los conceptos ya situados expresados mediante su orden de colocación, n el número de orden del concepto que se desea situar, x e y sus coordenadas y m_{nk} el elemento de la matriz correspondiente a la fila del concepto N y a la columna del concepto K.

Los siguientes conceptos se siguen situando por el mismo procedimiento, ajustando su posición por mínimos cuadrados a la posición de los conceptos ya situados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuestionario introductorio

En la tabla II se resumen los resultados del cuestionario introductorio expresados en %. Únicamente la primera pregunta podía contestarse eligiendo una opción (sí/no), las demás eran de respuesta libre, pudiendo presentarse el caso de que un alumno escribiese más de una respuesta, con lo cual el porcentaje total puede superar el 100%.

Respecto al contenido de la tabla, en la primera pregunta resulta interesante comprobar la evolución de la idea de corriente eléctrica «como algo que fluye», que apenas está presente en segundo, aumenta en tercero y alcanza el máximo en COU, casi un 70%. Las respuestas a la segunda pregunta muestran un gran desconocimiento,

en los alumnos de todos los cursos, de cuáles son las magnitudes que intervienen en la corriente eléctrica; así como una confusión, que se va consolidando de segundo a COU, entre magnitudes y unidades. En la tercera pregunta se pueden destacar los altos porcentajes que alcanzan las dos primeras contestaciones en todos los cursos, respuestas que corresponden a experiencias vivenciales muy arraigadas en los alumnos; también puede detectarse una deficiencia importante en el conocimiento y utilidad de los aparatos de medida de magnitudes eléctricas; de todos los alumnos, tan sólo un 5,5% de los de COU considera el amperímetro, como algo adecuado para saber si en un sitio hay corriente eléctrica. En el mismo sentido se aprecia una confusión entre el uso del voltímetro y el amperímetro, que se consolida de segundo a COU. En la cuarta pregunta el sentido de las respuestas es coincidente con el de las anteriores; por un lado, el porcentaje de alumnos que consideran, de forma explícita, la corriente eléctrica como un flujo de electrones, aumenta sistemáticamente de segundo a COU. Las dos

Tabla II
Resultados al cuestionario de introducción.

¿Significa lo mismo la palabra "corriente" en corriente eléctrica y corriente de agua?			
	2º BUP	3º BUP	COU
Si	27,7	58,8	69,3
No	58,8	35,3	19,4
No contesta	13,9	5,9	11,2
¿Qué magnitudes físicas conoces relacionadas con la corriente eléctrica?			
	2º BUP %	3º BUP %	COU %
Diferencia de potencial	0	23,5	19,4
Intensidad	5,5	20,6	30,5
Resistencia	13,9	20,6	25,0
Potencia	47,2	26,5	8,3
Da unidades en vez magnitudes	11,1	29,5	55,5
Otras respuestas	55,5	17,6	11,1
¿Cómo puedes saber si en un "sitio" hay corr. eléctrica?			
	2º BUP %	3º BUP %	COU %
Metiendo los dedos da calambre	47,2	41,2	27,7
Al enchufar un aparato funciona	33,3	41,2	30,5
Con aparatos eléctricos	2,7	8,8	0
Con un amperímetro	0	0	5,5
Otras respuestas	19,3	2,9	11,1
Con un voltímetro	0	14,7	22,2
¿Qué es para ti la corriente eléctrica?			
	2º BUP %	3º BUP %	COU %
Permite utilizar aparatos	25,0	17,6	11,1
Resuelve problemas vida diaria	19,4	20,6	19,4
Movimiento o flujo de cargas	11,1	35,3	41,7
Energía	30,5	0	2,8
Otras respuestas	11,1	14,7	5,5

primeras respuestas, con altos porcentajes, nos remiten de nuevo a una idea utilitaria y vivencial de la corriente eléctrica.

Test de elección de palabras

La tabla III resume los resultados obtenidos en el test de elección de palabras, en ella aparecen aquéllas que fueron elegidas por más de un 50% de los alumnos en, al menos, uno de los grupos, indicando el porcentaje de elección en cada caso y ordenadas alfabéticamente.

Tabla III
Resumen de los resultados al test de elección de palabras.

	% de alumnos que marcan la palabra		
	2º BUP	3º BUP	COU
Alta tensión	63,3	33,3	16,6
Amperio	43,3	69,7	72,2
Asociación paralelo	20,0	54,5	47,2
Cargas eléctricas	73,3	72,7	66,7
Campo eléctrico	70,0	66,7	72,2
Circuito	53,3	48,5	80,5
Conductor	36,7	51,5	72,2
Corriente alterna	73,3	66,7	61,1
Corriente continua	53,3	63,6	80,5
Electrones	63,3	42,4	47,2
Diferen. potencial	3,3	75,7	72,2
Generador	46,7	72,7	66,6
Interruptor	60,0	30,0	16,6
Intensidad	23,3	69,7	63,8
Ley de Coulomb	50,0	69,7	83,3
Ley de Ohm	83,3	75,7	86,1
Ohmio	60,0	87,9	58,3
Pila	50,0	36,4	25,0
Potencia	6,7	60,6	33,3
Resistencia	46,7	90,9	94,4
Vatio	83,3	90,9	80,5
Voltímetro	53,3	39,4	33,3
Asociación serie	20,0	51,5	47,2

De nuevo se observa, que aquellas palabras del lenguaje habitual que forman parte de lo que puede llamarse un modelo «vivencial» de corriente eléctrica, consiguen los porcentajes de elección más altos en segundo, descendiendo al pasar a tercero y COU; tal es el caso de alta tensión, interruptor y pila. A la inversa, palabras con una importancia básica en el modelo «científico» de corriente eléctrica, apenas son elegidas en segundo, aumentando los porcentajes al pasar a tercero y COU. Esto sucede con amperio, conductor, diferencia de potencial, intensidad, y en menor medida, asociación en paralelo, circui-

to, corriente continua, generador y resistencia. Además, en la tabla III se pueden detectar algunas confusiones graves compartidas por porcentajes muy altos de alumnos de todos los grupos. Así ocurre con conceptos como vatio (83,3/ 90,9/ 80,5), ley de Coulomb (50/ 69,7/ 83,3) o campo eléctrico (70/ 66, 6/ 72,2), que presentan porcentajes de elección claramente superiores a su importancia en un modelo científico de corriente eléctrica. También resulta interesante la sustitución que tiene lugar, de segundo a COU, del concepto de pila (46,7/ 36,4/ 25) por el más adecuado de generador (46,7/ 72,2/ 66,6).

Aunque no aparece en la tabla, resulta indicativo del tipo de modelo de corriente eléctrica presente en los alumnos, el concepto de fuerza electromotriz, que se incluía en la lista de palabras y, de todos los alumnos, únicamente fue elegido por un 5,5% de los de COU.

Árboles conceptuales

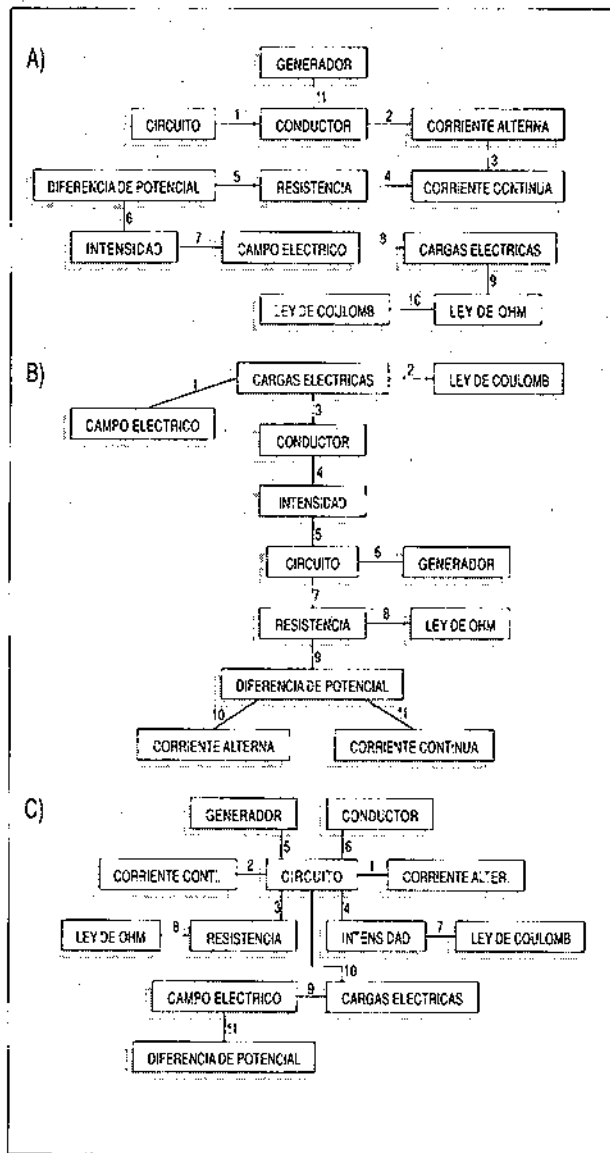
Se han analizado las características estructurales de los árboles conceptuales dibujados por los alumnos en los distintos grupos, según criterios: longitud de la cadena más larga, número de ramificaciones y tipo de ramificaciones (triples, cuádruples, etc.). En general, los diagramas de segundo de BUP resultan menos ramificados, con una estructura marcadamente lineal. En tercero y COU los diagramas presentan mayor riqueza, con cadenas más cortas y mayor número de ramificaciones.

En la figura 1 se incluyen tres árboles construidos por alumnos de COU. El A, con una disposición lineal, apenas permite descubrir alguna estructura que denote un modelo de corriente eléctrica; el alumno sitúa los conceptos atribuyéndoles un orden de importancia, pero es incapaz de establecer otro tipo de relación entre ellos. En segundo se obtuvieron 11 diagramas de este tipo sobre un total de 22. El diagrama B supone un estado intermedio; en él se establecen algunas relaciones significativas entre grupos de 2 o 3 conceptos: campo eléctrico –cargas eléctricas– ley de Coulomb, diferencia de potencial como magnitud característica de la corriente alterna y continua, resistencia –ley de Ohm. El árbol C presenta una buena estructuración; todo el diagrama se conforma, acertadamente, en torno al concepto de circuito, sin embargo incurren algunos errores de bulto: la diferencia de potencial se considera únicamente una magnitud del campo eléctrico, la ley de Coulomb se relaciona con la intensidad, la ley de Ohm se relaciona sólo con la resistencia; en COU, de 22 árboles considerados, 15 incurían en ese mismo error, asociando la ley de Ohm únicamente a la resistencia (curiosamente, en todos los casos la ley de Ohm ocupaba el final de una rama, solamente un alumno asocia la ley de Ohm con resistencia, intensidad y diferencia de potencial).

Matrices de aproximación y representaciones bidimensionales

Las figuras 2, 3 y 4 muestran las matrices de proximidad de cada grupo (calculadas a partir de sus árboles con-

Figura 1
Árboles conceptuales construidos por alumnos de COU:



ceptuales) y sus representaciones bidimensionales. Las palabras situadas a la derecha de cada matriz constituyen el «universo semántico» del grupo, formado por las palabras que han elegido más de un 50% de los alumnos del grupo en el test de elección de palabras, omitiendo aquellas que fuesen unidades. Se aprecia cómo de segundo a COU el «universo semántico» se va adecuando mejor al utilizado para explicar la corriente eléctrica según un modelo científico; en COU solo sería discutible la presencia de campo eléctrico y ley de Coulomb. Los valores de los elementos de la semimatriz son una medida del inverso de la relación entre los conceptos correspondientes (valores bajos de correlación corresponden a conceptos estrechamente relacionados).

El radio de la circunferencia en los diagramas equivale al valor 1.00 de la matriz. Hasta el concepto 6 o 7 se

consigue una buena concordancia entre los valores de correlación en la semimatriz y las distancias entre conceptos en el diagrama. A partir del concepto 8 la bondad del ajuste resulta más deficiente. El número situado al lado de cada concepto indica el orden en que ha sido colocado en el diagrama, así como la importancia que atribuyen los alumnos a dicho concepto (números bajos y posiciones centrales indican conceptos relevantes, números altos y posiciones periféricas indican conceptos secundarios. Según esto, para segundo de BUP el concepto más relevante sería cargas eléctricas (fig. 2), mientras que para tercero y COU es circuito (figs. 3 y 4).

Solamente el «universo conceptual» de COU (fig. 4) incluye las magnitudes fundamentales de la corriente eléctrica: resistencia, intensidad y diferencia de potencial; en tercero falta la intensidad (fig. 3) y en segundo no aparece ninguna (fig. 2). Sin embargo, la mejora que pueda suponer este hecho en el modelo de corriente eléctrica existente en COU se ve mitigada por la situación poco relevante que ocupan estos conceptos en el diagrama, especialmente intensidad y diferencia de potencial (8 y 10 respectivamente).

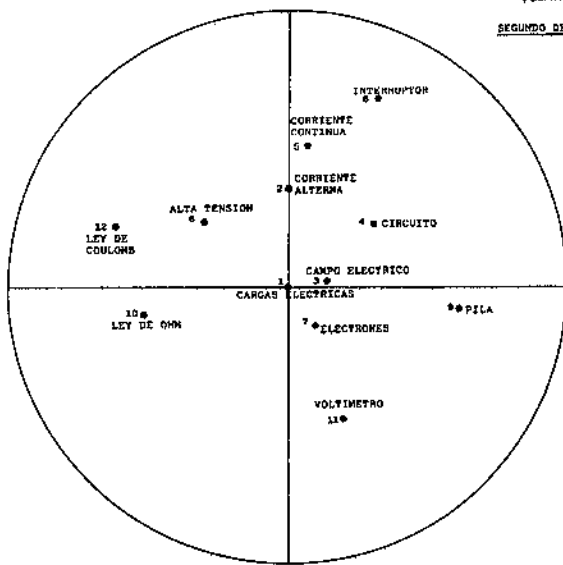
Para analizar los diagramas de forma más sistemática, se han dividido los conceptos en tres grupos, según su

Figura 2
Matriz de proximidad de segundo de BUP y su representación bidimensional.

CAMPO ELÉCTRICO	CARGAS ELÉCTRICAS	CIRCUITO	CORRIENTE ALTERNIA	CORRIENTE CONTINUA	ELECTRIONES	INTERRUPTOR	LEY DE COULOMB	LEY DE OHM	PILA	VOLTIMETRO	
0,455	0,481	0,484	0,426	0,472	0,541	0,559	0,817	0,730	0,897	0,812	ALTA TENSION
	0,123	0,309	0,383	0,458	0,250	0,710	0,714	0,700	0,828	0,716	CAMPO ELÉCTRICO
		0,328	0,382	0,438	0,210	0,889	0,937	0,588	0,558	0,678	CARGAS ELÉCTRICAS
			0,340	0,408	0,416	0,529	0,744	0,748	0,840	0,745	CIRCUITO
				0,245	0,473	0,446	0,753	0,680	0,624	0,697	CORR. ALTERNIA
					0,568	0,472	0,783	0,700	0,652	0,682	CORR. CONTINUA
						0,785	0,900	0,769	0,584	0,725	ELECTRIONES
							0,911	0,826	0,813	0,813	INTERRUPTOR
								0,526	0,986	0,930	LEY DE COULOMB
									1,000	0,783	LEY DE OHM
										0,680	PILA
											VOLTIMETRO

MATRIZ DE PROXIMIDAD 2º BUP

SEGUNDO DE BUP



orden de colocación: conceptos importantes (los cuatro primeros), conceptos secundarios (los cuatro últimos) y conceptos intermedios (todos los demás). De acuerdo con tal criterio, no se observan diferencias importantes entre los tres diagramas que permitan descubrir una evolución de los modelos interpretativos de la corriente eléctrica. Sí se advierte, por el contrario, algunas coincidencias que resultan significativas. De los cuatro primeros conceptos situados en los diagramas (conceptos considerados más importantes) tres son comunes a los tres grupos de alumnos (cargas eléctricas, circuito y campo eléctrico). Como ocurría en el test de elección de palabras el campo eléctrico ocupa una posición excesivamente relevante, situación que se refuerza aún más si tenemos en cuenta que en las tres semimatrices de aproximación, los conceptos más estrechamente relacionados son cargas eléctricas y campo eléctrico, con índices de proximidad de 0,132, 0,203 y 0,282 respectivamente (figs. 2, 3 y 4.) También existe gran similitud entre los conceptos situados en los últimos lugares del diagrama, que en tercero y COU son ocupados por ley de Ohm y ley de Coulomb, mientras que en segundo estos conceptos ocupan los lugares 10 y 12 del diagrama; como ya se puso de manifiesto en la lectura directa de los árboles conceptuales, en ninguno de los grupos de alumnos existe una valoración adecuada del interés de la ley de Ohm para la corriente eléctrica, y erróneamente se equipara en importancia a una ley electrostática como es la ley de Coulomb.

CONCLUSIONES

Los resultados pueden interpretarse considerando que en los alumnos existen dos modelos de corriente eléctrica, uno «vivencial» o «ambiental», que les sirve para desenvolverse material y socialmente en aspectos de la vida cotidiana relacionados con la «electricidad», y otro pretendidamente «científico», adquirido durante el aprendizaje académico. Este último modelo es incipiente en segundo, siendo más rico, con más elementos conceptuales, en tercero y COU; elementos, que por desgracia, presentan bastante indefinición y se encuentran débilmente interrelacionados, conteniendo en muchos casos errores conceptuales graves. El modelo «vivencial» o «ambiental» sigue presente en todos los cursos.

En los tres cursos el modelo «científico» de corriente eléctrica considera como conceptos fundamentales: cargas eléctricas, circuito y campo eléctrico. Este último denota una deficiencia común a los tres cursos, que establecen una escasa diferenciación entre electrostática y electrocinética, hecho que se manifiesta, también, en la atribución de una importancia análoga para la corriente eléctrica a la ley de Ohm y a la de Coulomb. En segundo todavía no está presente la idea de corriente eléctrica como flujo de cargas, que sí se incorpora de forma generalizada en COU. Ninguno de los cursos considera importante el concepto de fuerza electromotriz, si bien de segundo a COU se incorporan, al menos en su aspecto semántico, resistencia, intensidad y diferencia de potencial. Aunque el desarrollo cognitivo global de los alumnos, a

lo largo de estos cursos, se traduce en una mayor capacidad en los niveles superiores para organizar la información disponible (construyen árboles de estructura más rica), sólo un alumno en COU ha sido capaz de relacionar correctamente los conceptos de resistencia, intensidad y diferencia de potencial con la ley de Ohm.

En síntesis, no se aprecia una mejora clara en el modelo de corriente eléctrica de segundo a COU. Sí se detecta un aumento de la precisión semántica. Los alumnos de tercero y COU se encuentran familiarizados con ciertos términos tras haberlos utilizado en cursos anteriores, e incluso son capaces de reconocerlos y de elegir los que más se adecúan a un modelo «científico» de corriente eléctrica, pero no han llegado a comprender su significado preciso y, menos aún, sus interrelaciones; algo típico de un aprendizaje repetitivo de tipo memorístico,

absolutamente alejado del aprendizaje significativo propuesto como paradigma desde todas las instancias que se ocupan de la didáctica de la Física (Driver 1986 1988, Novak 1988a, b)

Esperamos que los resultados de esta investigación sirvan como fuente informativa para el profesor que considera el aprendizaje como un proceso que construyen los propios alumnos. Al margen de la dificultad que la corriente eléctrica puede presentar para los estudiantes de estos niveles, consideramos que algunos de los errores conceptuales y deficiencias de aprendizaje puestos de manifiesto, pueden corregirse incluyendo más situaciones en el aula que impliquen discusión y razonamiento, con un enfoque más globalizador y menos fragmentario del aprendizaje; especialmente en aspectos tan básicos como la diferenciación entre electrostática y electrocinética, o entre magnitudes y unidades.

Figura 3

Matriz de proximidad de tercero de BUP y su representación bidimensional.

	CONTEINER DE MATERIAL	CAMPO ELECTRICO	CARGAS ELECTRICAS	INTENSIDAD	CONDUCTOR	CORRIENTE ALTERNIA	CORRIENTE CONTINUA	DIFERENCIA POTENCIAL	GENERADOR	LEY DE COULOMB	LEY DE OHM	POTENCIAL	RESISTENCIA
0.320	0.424	0.841	0.788	0.878	0.883	0.748	0.861	1.000	0.815	0.783	0.718	0.718	ASOC. PARALELO
0.832	0.811	0.418	0.857	0.473	0.578	0.784	0.845	0.846	0.850	0.788	0.831	0.831	ASOC. SERIE
0.203	0.359	0.371	0.378	0.519	0.482	0.932	0.855	0.789	0.484	0.438	0.438	0.438	CAMPO ELECTRIC
	0.281	0.510	0.476	0.481	0.284	0.948	0.515	0.883	0.382	0.638	0.638	0.638	CARGAS ELECTRIC
		0.388	0.448	0.488	0.482	0.321	0.681	0.754	0.483	0.400	0.400	0.400	CIRCUITO
			0.477	0.482	0.522	0.452	0.784	0.782	0.509	0.448	0.448	0.448	CONDUCTOR
				0.517	0.819	0.920	0.888	0.551	0.704	0.711	0.711	0.711	CORRIENTE ALTERNIA
					0.814	0.508	0.871	0.821	0.481	0.701	0.701	0.701	CORRIENTE CONTINUA
						0.438	0.525	0.709	0.438	0.814	0.814	0.814	DIF. POTENCIAL
							0.483	0.785	0.470	0.484	0.484	0.484	GENERADOR
								0.794	0.841	0.728	0.728	0.728	LEY DE COULOMB
									0.715	0.580	0.580	0.580	LEY DE OHM
										0.483	0.483	0.483	POTENCIAL

MATRIZ DE PROXIMIDAD 3º BUP

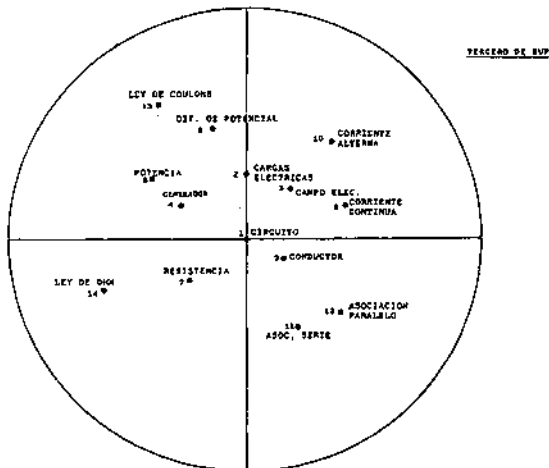
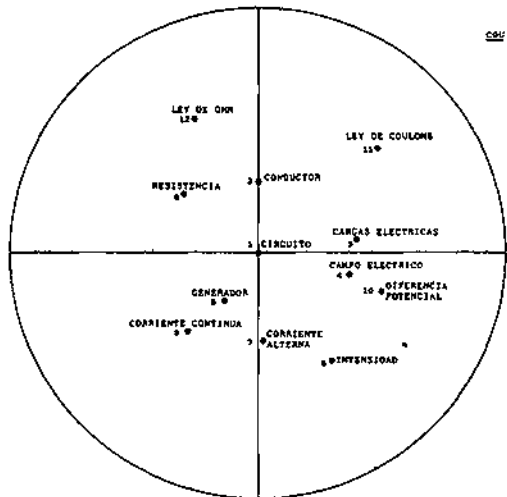


Figura 4

Matriz de proximidad de COU y su representación bidimensional.

	CARGAS ELECTRICAS	CIRCUITO	CONDUCTOR	CORRIENTE ALTERNIA	CORRIENTE CONTINUA	DIFERENCIA POTENCIAL	GENERADOR	INTENSIDAD	LEY DE COULOMB	LEY DE OHM	RESISTENCIA		
0.168	0.288	0.484	0.383	0.828	0.581	0.890	0.488	0.488	0.510	0.838	0.838	CAMPO ELECTRICO	
	0.400	0.481	0.383	0.383	0.518	0.488	0.450	0.471	0.743	0.893	0.893	CARGAS ELECTRICAS	
		0.382	0.382	0.614	0.518	0.828	0.508	0.471	0.814	0.431	0.431	CIRCUITO	
			0.383	0.538	0.874	0.453	1.000	0.733	0.781	0.448	0.448	CONDUCTOR	
				0.356	0.883	0.484	0.573	0.608	0.787	0.574	0.574	CORRIENTE ALTERNIA	
					0.700	0.487	0.583	0.834	0.812	0.812	0.812	CORRIENTE CONTINUA	
						0.568	0.587	0.887	0.887	0.612	0.612	DIF. POTENCIAL	
							0.488	0.797	0.888	0.582	0.582	GENERADOR	
								0.881	0.784	0.489	0.489	INTENSIDAD	
									0.846	0.800	0.800	LEY DE COULOMB	
										0.448	0.448	LEY DE OHM	
											0.448	0.448	RESISTENCIA

MATRIZ DE PROXIMIDAD COU



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUSUBEL, D., NOVAK, J. D. y HANESIAN, H., 1983. *Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo*. (Trillas: México).
- ACEVEDO, J. A., 1989. Las interpretaciones de los estudiantes de BUP sobre electrocinética. Ejemplos con circuitos de corriente continua, *Investigación en la escuela*, 7, pp. 107-115.
- CLOSSET, J., 1983. Le raisonnement sequencial en Electrocinétique, *Atelier International d'été: Recherche en Didactique de la Physique*. La Londé les Maures.
- CRIADO, A. y MERINÓ, J., 1987. Representaciones de los alumnos sobre el comportamiento de circuitos de corriente continua. *Actas V Jornadas de Estudio sobre la Investigación en la Escuela*. Sevilla. pp. 97-99.
- DRIVER, R., 1986. Psicología Cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos, *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), pp. 3-15.
- DRIVER, R., 1988. Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en Ciencias, *Enseñanza de la Ciencia*, 6(2), pp. 109-120.
- GARCÍA HOURCADE, J.I. y RODRÍGUEZ DE ÁVILA, C., 1988. Ideas previas, esquemas alternativos, cambio conceptual y trabajo en el aula, *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), pp. 161-166.
- KEMPA, R. F. y HODGSON, G. H., 1976. Levels of concept acquisition and concept maturation in students of chemistry, *British Journal of Educational Psychology*, 62, pp. 253.
- KEMPA, R. F. y NICHOLLS, C. E., 1983. Problem-solving ability and cognitive structure: an exploratory investigation, *European Journal of Science education*, 5(2), pp. 171-184.
- JOHNSTONE, A. H. y MOYNIHAN, T. F., 1985. The relationship between performances in word association and achievement in chemistry, *European Journal of Science Education*, 7(1), pp. 57-66.
- MATHEWS, G.P., BROOK, V. G. y KHAN-GANDAPUR, T. H., 1984. Cognitive structure determinations as a tool in science teaching, *European Journal of Science Education*, 6(2), pp. 169.
- NOVAK, J. D., 1988a. Constructivismo humano: un consenso emergente, *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), pp. 213-223.
- NOVAK, J. D., 1988b. Learning Science and the Science of learning, *Studies in Science Education*, 15, pp. 77-101.
- NOVAK, J. D. y GOWIN, D. B., 1988. *Aprendiendo a aprender*. (Martínez Roca: Barcelona).
- NOVICK, S. y NUSSBAUM, J., 1978. Junior high school Pupils' understanding of the particulate nature of matter: an interview study, *Science Education*, 62(3), pp. 273-281.
- NOVICK, S. y NUSSBAUM, J., 1981. Pupils' understanding of the particulate nature of matter: a cross-age study, *Science education*, 65(2), pp. 187-196.
- OSBORNE, R. y FREIBERG, P., 1985. *Learning in Science*. (Heinemann: Auckland).
- OSBORNE, R. y GILBERT, J., 1980. A method for the investigation of concept understanding in science, *European Journal of Science Education*, 2(3), pp. 311.
- OSBORNE, R. 1980. Some aspects of students' views of the world, *Research in Science Education*, 10, pp. 11.
- PREECE, P. F. W., 1976. Mapping cognitive structure: a comparison of method, *Journal of Educational Psychology*, 68(1), pp. 21.
- RAPOPORT, A., 1967. A comparison of two tree-construction methods for obtaining proximity measures among words, *Journal of Verbal Learning Behavior*, 6, p. 884.
- SHIPSTONE, D., 1984. A study of children's understanding of electricity in simple D.C. circuits, *European Journal of Science Education*, 6(2), pp. 185-198.
- SHIPSTONE, D., 1985. Electricity in simple circuits, en R. Driver (comp.), *Children's ideas in science*. (Open University Press. Milton Keynes).
- SOLOMON, J., 1985. The Pupil's view of electricity, *European Journal of Science Education*, 7(3), pp. 281.
- VARELA, P., MANRIQUE, M. J. y FAVIGRES, A., 1988. Circuitos eléctricos: una aplicación de un modelo de enseñanza aprendizaje basado en las ideas previas de los alumnos, *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), pp. 285-290.
- VIENNOT, I., 1989. La didáctica en la enseñanza superior ¿para qué?, *Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), pp. 3-13.
- WATTS, D.M. y ZYLBERSTAIN, J., 1981. A survey of some ideas about force, *Physics Education*, 16, pp. 360-365.