



CONCEPCIONES DE LOS ALUMNOS. IMPLICACIONES DIDACTICAS

*Aportaciones acerca del
aprendizaje por analogía:
modelos analógicos y
conceptuales de la corriente
eléctrica*

José Antonio Acevedo Díaz (*)

RESUMEN

Después de pasar revista brevemente al estado de la cuestión desde una perspectiva psicológica, se discute sobre las posibilidades didácticas y las dificultades del aprendizaje por analogía. Dentro del campo de la Electrocínética, se muestra cómo los estudiantes son capaces de construir un sistema analógico, versión intuitiva del símil hidráulico, capaz de servirles de apoyo para realizar predicciones experimentales y explicaciones sobre la corriente eléctrica

(*) Avda. Federico Molina, 53
Portal 1-8 A
21006-Huelva



continúa en circuitos sencillos. La relevancia psicológica del razonamiento analógico se pone de manifiesto por el hecho de que las creencias y limitaciones del modelo analógico de partida tienen su fiel reproducción en las interpretaciones conceptuales aplicadas sobre el dominio de la Electricidad.

PALABRAS CLAVES

Aprendizaje por analogía. Sistemas analógicos. Modelización. Símil hidráulico. Circuitos eléctricos.

El papel de las analogías en el aprendizaje

Es un hecho conocido que cuando una persona se enfrenta ante una situación novedosa, suele recurrir a ciertas ideas que le resultaron útiles en casos aparentemente similares. Sin embargo esta forma de hacer analogías, suele basarse con demasiada frecuencia, en rasgos de similitud bastante superficiales (Pozo, 1986). Se plantea entonces una cuestión relevante: *¿suponen o no las analogías algo más que una forma de hablar, utilizada por la gente al discutir sobre campos conceptuales poco familiares?*

Gentner y Gentner (1983) han mostrado pruebas acerca del papel conceptual que juegan las analogías en el pensamiento científico, a partir del análisis de los diarios, notas y otros escritos de científicos creativos como, por ejemplo, Kepler y Glashow. Pero, esto no resulta suficientemente concluyente como para poder hablar de la relevancia psicológica de los sistemas analógicos en los procesos cognitivos de las personas.

Algunos trabajos de psicología, realizados en la década de los ochenta, han puesto de manifiesto, no obstante, que las analogías facilitan la comprensión de relaciones estructurales y funcionales entre los conceptos de nuevas áreas de conocimiento en la que los sujetos no pueden aplicar estrategias analíticas (Rumelhart y Norman, 1981). Asimismo, mediante la aplicación de la *Hipótesis de las Analogías Generativas* (Gentner y Gentner, 1983) se han aportado algunas pruebas sobre la posibilidad de generar inferencias y relaciones entre los conceptos de un dominio poco conocido a partir de las ideas que se tienen en el marco de un dominio analógico más familiar.

En definitiva, la psicología cognitiva ha venido mostrando su interés por el razonamiento analógico, contemplado como una de las estrategias de aprendizaje que puede resultar fecunda para la adquisición de conocimientos con nuevos contenidos, habiéndose obtenido algunos éxitos en el aprendizaje escolar (Sierra y Zaccagnini, 1989) desde el enfoque de los esquemas de conocimientos (Cubero, 1988).

Por el contrario, la dedicación de la investigación didáctica al análisis y la validación de modelos analógicos en áreas específicas no tienen una larga tradición, a pesar de constituir éstos uno de los recursos más extendidos, con amplia utilización en el aula para intentar facilitar el aprendizaje conceptual. Sin embargo, recientemente ha aumentado el interés por la construcción de modelos explicativos y predictivos capaces de funcionar en la enseñanza/aprendizaje de las Ciencias Experimentales, por lo que empiezan a aparecer algunos trabajos en torno al tema, aunque todavía no en la cantidad que probablemente merece la cuestión.

Desde el punto de vista del aprendizaje escolar se ha señalado que, por muy diversos motivos, muchas veces las analogías, lejos de ayudar a los estudiantes, pueden crearles más dificultades, así como obstáculos adicionales (Giordan y De Vecchi, 1987), hasta el punto de haberse llegado a afirmar, en ocasiones, que son manifiestamente ineficaces,



sobre todo para los/as alumnos/as más jóvenes (Hierrezuelo y Montero, 1989). Posiciones extremas que parecen sostenerse por los resultados de algunos trabajos, como los de Shayer y Adey (1981), de los que se colige que la comprensión adecuada de los modelos es un rasgo característico del pensamiento formal avanzado, en el sentido piagetiano del término. En efecto, estos autores sostienen que, incluso en un nivel de desarrollo formal inicial, un modelo suele considerarse como algo real y verdadero antes que hipotético, lo que, sin duda, dificultaría en extremo la comparación crítica entre varios modelos alternativos, así como la transferencia adecuada de aquellos elementos que fueran más relevantes.

Otras razones apuntadas por Gentner y Gentner (1983) para justificar algunos resultados ineficaces observados en ensayos de aprendizaje por analogía, hacen referencia al hecho de que los errores conceptuales que pudieran darse en el modelo analógico de partida sean transferidos al dominio aplicado. Estos autores señalan, también, que el aprendizaje correcto de un sistema analógico determinado, que sirva de soporte adecuado para establecer relaciones estructurales, puede ser bastante lento y se ve obstaculizado, además, por las ideas preconcebidas que sobre el mismo pudieran tener los sujetos, apareciendo entonces dificultades similares a las ya conocidas en la problemática del cambio conceptual. De un modo parecido se manifiesta Osborne (1983) cuando señala que las analogías pueden ser usadas a veces para soportar los errores conceptuales que han sido generados por la experiencia.

En las líneas señaladas, parece necesaria una profunda reflexión para orientar investigaciones sobre las posibilidades del aprendizaje por analogía y la modelización en la Didáctica de las Ciencias. Este trabajo tiene como objetivo contribuir en alguna medida a explorar algunos de los aspectos indicados anteriormente, con una aplicación concreta al caso de la Electrocínica elemental, dominio de la Física en donde está bastante extendido el uso de modelos analógicos (Shipstone 1985), habiéndose descrito varios de ellos destinados a explicar los circuitos eléctricos simples (Gentner y Gentner, 1983; Härtel, 1982; Osborne, 1983).

Versiones intuitivas del modelo hidráulico como sistema analógico

Con todas sus dificultades y limitaciones, la analogía hidráulica es la más popular de las usadas en la enseñanza de la Electricidad (Schwedes, 1985). A pesar de ello, los estudiantes parecen tener una pequeña comprensión de la misma, lo que fue mostrado por una investigación realizada en Gran Bretaña, donde casi la mitad de los sujetos de una pequeña muestra no fueron capaces de apreciar ninguna semejanza entre el flujo de agua por tuberías y la corriente eléctrica a través de los cables de un circuito, y solamente 2 de los 33 estudiantes encuestados llegaban a utilizarla correctamente.

En nuestro estudio, que forma parte de un trabajo más amplio sobre Didáctica de la Electricidad (Acevedo, 1989), realizado con 36 estudiantes onubenses de 2º de BUP durante el transcurso de unas clases complementarias de Física y Química, diseñadas como un taller de trabajo en pequeños grupos de 4 alumnos/as, hemos podido comprobar que, en las citadas condiciones de aula, todos los grupos llegaban a elaborar un modelo analógico intuitivo de circulación del agua después de haber tenido la oportunidad de experimentar con circuitos eléctricos sencillos de corriente continua durante dos o tres sesiones.



El modelo intuitivo tiene algunas de las características del símil hidráulico que, a veces, se propone en los libros de texto y utilizan los profesores en sus explicaciones, pero también presenta profundas diferencias con éste, además de ausencia de significativas correspondencias analógicas. En efecto, mientras que en el símil de la que podríamos denominar la visión científica del profesor o del divulgador el flujo del agua se compara con la corriente eléctrica, la tubería hace el papel de resistencia y la diferencia de altura, o la presión del agua, equivale a la diferencia de potencial; el modelo analógico que construyen los escolares supone básicamente:

- a) Considerar la pila como un depósito de corriente similar a uno de agua.
- b) Entender que la corriente eléctrica que se desplaza por los hilos conductores se asemeja al flujo de agua por una tubería, la cual no es considerada, sin embargo, como una resistencia.
- c) Comparar analógicamente las bombillas con pequeños recipientes a llenar de agua (corriente eléctrica, las cuales tendrían una pérdida constante de ésta (en forma de luz y calor en las bombillas).
- d) No hacer ninguna analogía con relación a la diferencia de potencial o voltaje.

Como puede observarse, en los supuestos analógicos anteriores hay elementos que se corresponden con una de las ideas intuitivas más persistentes y generalizadas: "la corriente eléctrica se almacena en la pila y/o en los cables para ser consumida por las bombillas" (Rhöneck, 1983; Shipstone, 1985; Tiberghien, 1983). Además, hemos encontrado al menos dos variantes de este modelo hidráulico, que parecen relacionarse con ciertas respuestas frecuentes de los estudiantes sobre el flujo de la corriente eléctrica en un circuito simple, las cuales han sido caracterizadas en distintos países por diversos autores como modelos conceptuales comunes de la corriente eléctrica (Hierrezuelo y Montero, 1989; Osborne, 1981 y 1983; Shipstone, 1985; Varela et al., 1988).

La *variante A* del modelo analógico (ver la figura 1), elaborada por la tercera parte de los grupos, guarda relación directa con la interpretación conocida como *corrientes antagonistas*, saliendo cada una de un borne de la pila y concurrendo en la bombilla. La *variante B* (ver la figura 2), que es mayoritaria, se corresponde con representaciones de la corriente circulando de un polo a otro de la pila aunque sin conservarse en conjunto, de acuerdo con los denominados *modelos de atenuación y de reparto*.

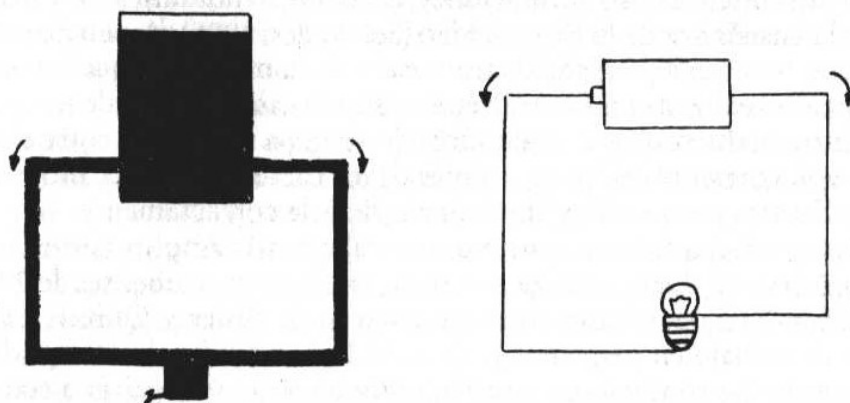


Fig. 1. Variante A del modelo de circulación de agua elaborado por los estudiantes de 2º BUP y su equivalente analógico en un circuito eléctrico con corrientes antagonistas.

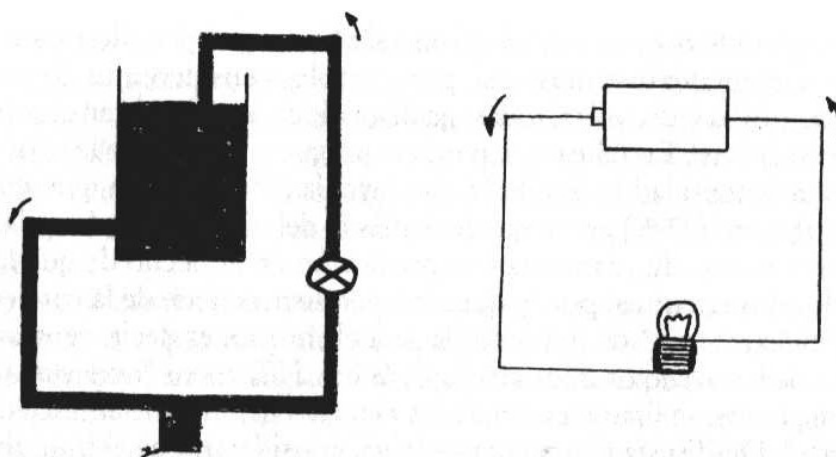


Fig. 2. Variante B del modelo de circulación de agua elaborado por los estudiantes de 2º BUP y su equivalente analógico en un circuito eléctrico con corriente circulante que no se conserva.

Predicciones experimentales e inferencias a partir del sistema analógico

El trabajo experimental y el uso de amperímetros conduce, generalmente, al abandono de la *alternativa A*, pero no de la *versión B* que, con pequeñas correcciones *ad hoc*, puede verse incluso reforzada al permitir algunas predicciones con éxito. Por ejemplo, ante un conjunto de circuitos con una pila cada uno, con una bombilla el primero, con dos en serie el segundo, con tres en serie el tercero, y así sucesivamente, siendo siempre iguales todas las pilas y bombillas utilizadas, es posible anticipar desde el modelo analógico que éstas lucirán por igual dentro de cada circuito, por reparto o compartición de la corriente, aunque al comparar entre sí los diferentes circuitos el brillo de las bombillas será menor conforme aumenta el número de éstas en serie; previsiones que se ven confirmadas por los hechos experimentales. Los escolares tampoco advierten ninguna dificultad para justificar que un amperímetro marque lo mismo a ambos lados de cada bombilla, porque consideran que el flujo es "instantáneamente" repuesto por la "pila-depósito", que irá "gastando" corriente paulatinamente.

En cambio, frente a otra situación experimental, en la que ahora cada circuito tiene una bombilla más en paralelo que el anterior, algunas de las predicciones ya no resultarán acertadas. En efecto, si bien es posible deducir correctamente que las bombillas de los diferentes circuitos lucirán por igual dentro de cada uno de ellos; siguiendo un razonamiento parecido al del caso anterior, en cambio, al comparar los circuitos entre sí, la respuesta dada es, de nuevo, que el brillo de las bombillas se irá reduciendo conforme aumenta el número de éstas en aquellos. Previsión que no está de acuerdo con la observación experimental.

La primera interpretación se basa en que la corriente se repartirá en partes iguales por cada derivación con bombilla. La segunda se sostiene suponiendo que la intensidad de corriente es la misma en todos los circuitos antes de derivarse, porque... ¡la pila es la misma en todos ellos! Esto es, los sujetos se centran en un aspecto del modelo analógico, en este caso que la "pila-depósito" no cambia en los diferentes circuitos, con lo cual la misma corriente, al repartirse, dará lugar a brillos de las bombillas cada vez menores conforme aumenta el número de éstas.



También es posible que, usando el mismo sistema analógico, lleguen a inferirse predicciones experimentales distintas. Así, por ejemplo, consideremos dos circuitos, cada uno con una bombilla y dos pilas, todas iguales, colocadas en serie en el primero de ellos y en paralelo en el otro. En tal caso, cuando se pregunta en cuál de los dos circuitos brillará con mayor intensidad la bombilla, la mayoría (78 %) piensa que igual en ambos, mientras que algunos (22 %) creen que luce más la del circuito con las pilas en paralelo.

Los primeros sujetos fundamentan su predicción en el hecho de que la bombilla es la misma en los dos circuitos, por lo que, independientemente de la corriente que aporten las pilas, el "consumo" de la bombilla será el mismo; es decir, centran sus explicaciones en uno de los aspectos de la analogía: *la bombilla como "recipiente-sumidero"*. En cambio, los segundos, se fijan en otro de los aspectos del modelo intuitivo: *la pila como "depósito-fuente"*. Desde esta última perspectiva, consideran que el flujo de corriente es mayor en el circuito con las dos pilas en paralelo, con el aporte de dos "depósitos de corriente", que en el de las dos pilas en serie, donde una de ellas se limitaría a ir completando la corriente "gastada" por la otra.

Estas predicciones divergentes pueden producir conflictos cognitivos cuando el estudiante advierte puntos de vista que no había considerado previamente. Aunque en estas situaciones muchas veces el sujeto suele aceptar la interpretación mayoritaria, la posterior observación experimental, comprobando cómo luce más intensamente la bombilla del circuito con las pilas en serie, produce gran perplejidad. Entonces, el modelo empieza a mostrar sus puntos flacos e, incluso, a ser claramente insatisfactorio para algunos de los estudiantes. Este puede ser un buen momento para revisar el modelo analógico, introduciendo el profesor nuevas aportaciones al mismo o, también, considerar la oportunidad de sustituirlo por otro sistema analógico alternativo, que también deberá ser aceptado como parcial/limitado, pero que podrá servir, a partir de la confrontación, para hacer posible un cambio de perspectiva que permita nuevas explicaciones.

Algunas reflexiones a modo de conclusión provisional

Creemos haber mostrado cómo los/as alumnos/as del nivel de Secundaria considerado en este trabajo (2º BUP) son capaces de desarrollar, bajo ciertas condiciones de aula y en pequeños grupos, modelos analógicos que traten de explicar el funcionamiento de un proceso en conjunto, al menos en el caso analizado sobre la corriente eléctrica continua en circuitos sencillos. Los problemas que se presentan en estas edades no parecen provenir, pues, tanto de la capacidad o competencia de los escolares para construir un sistema analógico, como de su actuación, mediatizada por las ideas que poseen acerca de los elementos del modelo analógico elaborado.

Así pues, desde nuestro punto de vista las analogías suponen, entonces, algo más que un lenguaje al uso; esto es, presentan relevancia psicológica en los procesos de razonamiento, ya que, según hemos mostrado aquí, se dan transferencias de relaciones e inferencias causales en la modelización realizada dentro del dominio conceptual aplicado (la Electrocínética), hasta el punto de reproducirse fielmente las creencias y limitaciones que subsisten en el modelo analógico intuitivo (el símil hidráulico).

Debido probablemente a la influencia cultural, así como al impacto de la experiencia física, los componentes básicos de la elaboración de los modelos son bastante pare-



cidos para la mayoría de los sujetos. Además, como éstos no pueden eludir hacer conexiones causales dentro del proceso, incluso cuando éste resulta poco familiar, el modelo elaborado tendrá algunos elementos del considerado como científico o más correcto. No obstante, también hay que tener en cuenta que pequeñas diferencias en la estructura cognitiva y en la experiencia acumulada de los estudiantes pueden dar lugar a variedades diferenciadas del modelo construido "espontáneamente", como de hecho hemos podido comprobar.

Los escolares utilizan frecuentemente las analogías en sus respuestas del tipo "es como si...". Pensamos que, por muy simples que puedan parecernos los modelos elaborados, la creación de sistemas analógicos como soporte para explicar e interpretar campos conceptuales desconocidos puede resultar muy adecuada en el aprendizaje bajo ciertas condiciones. Ahora bien, debe tenerse en cuenta que la construcción y validación de los mismos no es, no puede ser, un proceso rápido, sino que se realiza mediante aproximaciones sucesivas, que precisan de la confrontación sistemática con los datos de los experimentos, con otros modelos que no refuercen los obstáculos conceptuales, ni originen otros nuevos, lo que obligará a la reelaboración, a nuevas interpretaciones e invenciones..., actividades todas ellas que caracterizan la producción científica y el aprendizaje humano.

Por último, aunque no ha sido abordada en este trabajo, la técnica basada en la aplicación de esquemas de conocimientos con contenidos familiares como base de la analogía (Sierra y Zaccagnini, 1989) podría resultar una alternativa útil, a la que habría que prestar una mayor atención para investigar las posibilidades didácticas, además de psicológicas, del aprendizaje por analogía en el aula.

REFERENCIAS

- 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.
- CUBERO, R. (1988). Los marcos conceptuales de los alumnos como esquemas de conocimientos. Una interpretación cognitiva. *Investigación en la Escuela*, 4, pp. 3-11.
- GENTNER, D. y GENTNER, D. R. (1983). Flowing waters or Teeming crowds: mental models of Electricity. En D. Gentner y A. L. Stevens (Eds.): *Mental Models* (N. J.: LEA), pp. 99-129.
- GIORDAN, A. y DE VECCHI, G. (1987). *Les origines du savoir*. (Delachaux y Niestlé S. A.: Neuchâtel). Versión castellana de A. Martínez Geldhoff (1988): *Los orígenes del saber*. (Díada: Sevilla).
- HARTEL, H. (1982). The electric circuit as a system: A new approach. *European Journal of Science Education*, 4 (1), pp. 45-55.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1989). *La ciencia de los alumnos*. (Laia/MEC: Barcelona/Madrid).
- OSBORNE, R. J. (1981). Children's ideas about electric current. *New Zealand Science Teacher*, 29, pp. 12-19.
- OSBORNE, R. J. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science and Technological Education*, 1 (1), pp. 73-82.
- POZO, J. I. (1988). Procesos psicológicos en el cambio conceptual en Química. En T. Escudero (Coord.): *Aspectos Didácticos de Física y Química*, nº 3, ICE de la Universidad de Zaragoza, pp. 11-35.
- RHONECK, C. VON (1983). Semantic structures describing the electric circuit before and after instruction. *Recherche en Didactique de la Physique. Actes du Premier Atelier International*. (La Londe les Maures, France), pp. 303-312.



- RUMELHART, D. E. y NORMAN, D. A. (1981). Analogical processes in learning. En J.R. Anderson (Ed.): *Cognitive skills and their acquisition*. (N.J.: LEA), pp. 335-359.
- SCHWEDES, H. (1985). The importance of water circuits in teaching electric circuits. En R. Duit et al. (Eds.): *Aspects of Understanding Electricity. Proceeding of an International Workshop*, Ludwigsburg 1984. (IPN: Kiel), pp. 319-329.
- SHAYER, M. y ADEY, P. (1981). *Towards a Science of Science Teaching*. Heinemann: London. Traducción castellana de A. Cameno (1984): *La Ciencia de enseñar Ciencias. Desarrollo cognoscitivo y exigencias del currículo*. Narcea, Madrid.
- SHIPSTONE, D. M. (1985). Electricity in simple circuits. En R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (Eds.): *Children's Ideas in Science*. Milton Keynes: Open University Press, cap. 3 Versión castellana de P. Manzano (1989): *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Morata/MEC. Madrid, pp. 62-88.
- SIERRA, B. y ZACCAGNINI, J. L. (1989). "Aprendizaje por analogía con esquema de conocimiento: una aplicación para la formación". Informe Inédito. Departamento de Psicología Básica, Social y Metodológica de la Universidad Autónoma de Madrid.
- TIBERGHEIN, A. (1983). Revue critique sur les recherches visant a elucider le sens des notions de circuit electriques pour les élèves de 8 a 20 ans. *Recherche en Didactique de la Physique. Actes du Premier Atelier International*. La Londe les Maures, France, pp. 90-107.
- VARELA, P.; MANRIQUE, M. J. y FAVIERES, 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.