

En esta ocasión, una contribución valenciana sobre cómo hacer diagramas.

Diagramas: ¿Ilustraciones eficaces en la instrucción en ciencias?

Joan Josep Solaz-Portolès*

Abstract

The widespread use of diagrams as science learning resources suggests they are considered to be effective aids to instruction. However, there appears to be a number of possible barriers to the realisation of their instructional potential. The role of scientific diagrams in learning is discussed with particular reference to problems that may be presented by them.

Introducción

Los diagramas científicos constituyen un tipo particular de ilustración que pretende mostrar relaciones entre conceptos antes que identificar entidades particulares, esto es, su objetivo no es reproducir fielmente la realidad (Lowe, 1986). Estos diagramas se caracterizan por contener información codificada de manera altamente económica, para lo cual se utilizan técnicas tales como la omisión de ciertas partes o la transformación de las mismas en forma de secciones transversales, secciones longitudinales, rotaciones, vistas de pájaro, etc. Todas estas técnicas que, al fin y al cabo, lo que hacen es posibilitar la representación en dos dimensiones e incrementar la utilidad funcional de los diagramas científicos, conforman un conjunto de convenciones de su significado (Lowe, 1988). Por otro lado, los diagramas se pueden clasificar por su propósito: describir, resumir o explicar; y/o por su naturaleza: realista, semisimbólica o simbólica (Wheeler y Hill, 1990).

En cuanto a la potencialidad de los diagramas en la construcción del pensamiento científico, la historia de la ciencia pone en muchos casos de manifiesto la importancia que los diagramas han tenido como instrumento de apoyo en la generación de los conceptos científicos (Mc Donald Ross, 1979). Siguiendo las opiniones de Lowe (1988), los científicos emplean los diagramas como vehículos de comunicación y como instrumentos para pensar sobre ideas científicas y generar hipótesis plausibles. Justamente, esta última función de instrumento de pensamiento de los diagramas

es la que más nos interesa resaltar aquí, ya que sugiere que el desarrollo de destrezas en la elaboración e interpretación de diagramas debería ser un importante objetivo en la enseñanza de las ciencias.

Según revela el estudio de White y Tisher (1986), las ilustraciones menos efectivas en el aprendizaje de las ciencias son aquellas que más se acercan al mundo real. Esta circunstancia se explica por la experiencia acumulada por los estudiantes con las ilustraciones, que les induce a creer que la finalidad de las ilustraciones más realistas no es la de aprender nuevas cosas con ellas. Esto justifica por completo que los diagramas sean la forma de ilustración más ampliamente utilizada en la didáctica de las ciencias (Lowe, 1986). En relación con el papel que desempeñan las ilustraciones en los textos educativos, Levin y colaboradores (Levin, Anglin y Carney, 1987) han señalado que:

1. Hacen más atractivo el texto.
2. Visualizan eventos particulares, personas, lugares, etcétera.
3. Ayudan a recordar la información importante.
4. Organizan la información de manera coherente.
5. Favorecen la comprensión del texto.

Cognición y representación no verbal

Se puede constatar con facilidad que el diseño y desarrollo del currículum en ciencias sigue basándose en la premisa de que el lenguaje es la forma principal de representación del conocimiento. Para persuadirnos de ello, es suficiente con tomar en consideración la extraordinaria importancia que se le concede a las respuestas verbales escritas en la evaluación de los alumnos. Por consiguiente, la posibilidad de que las imágenes mentales puedan ser un medio adicional o alternativo de representación cognitiva se tiene poco en cuenta por la gran mayoría de los docentes.

Sin embargo, Paivio (1971) defiende la denominada hipótesis de la codificación dual, según la cual la información puede ser codificada en la memoria tanto de forma verbal como no verbal. Así, este psicólogo explica que las palabras concretas (como por ejemplo caballo, botella o agua) se recuerdan mejor que las palabras abstractas (como por ejemplo deducción, justicia o teoría), porque las primeras pueden codificarse de dos maneras: como imágenes y como concep-

*Departament de Química Analítica, Universitat de València/Centre Associat Alzira-València de la UNED. España.
Dirección de contacto: C/Sagunt, 5. 46183 L'Elia. València, España.
Recibido: 29 de mayo de 1995; aceptado: 15 de enero de 1996.

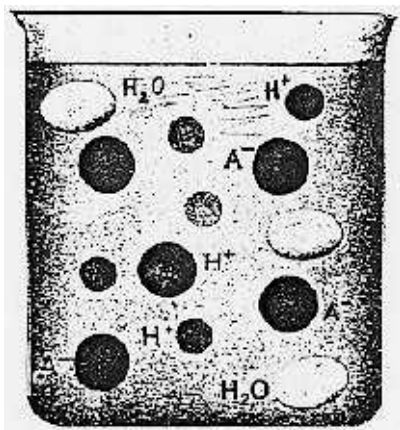


Figura 1. Moléculas de agua e iones flotando en un continuo de materia representado por agua líquida (Bascones, F. *et al.*, 1990, *Física y Química de segundo de BUP*, Zaragoza, Edelvives).

tos. Esto comporta que la recuperación de la información almacenada en la memoria siguiendo una doble codificación sea más fácil que cuando sólo se codifica por una sola vía.

Mayer (1989; Mayer y Gallini, 1990) señala los beneficios que en los textos científicos tienen los diagramas bien explicados e interconectados con una prosa apropiada. Estos beneficios, los justifica el autor por la ayuda que prestan los diagramas en la focalización de la atención del lector sobre la información más relevante y en la construcción de conexiones entre conceptos. Todo ello permite al lector organizar la información que proporciona el texto de una manera coherente y elaborar un modelo mental de la situación planteada, que le facilitará abordar con éxito tareas de aprendizaje tales como la resolución de problemas. El concepto de modelo mental se basa en la idea de que el sistema cognitivo de los sujetos construye modelos de las situaciones con las que interactúa, que les posibilitan no sólo interpretarlas sino también hacer predicciones a partir de ellas (Pozo, 1989).

Diagramas y aprendizaje de las ciencias

Es bien cierto que los libros de texto de ciencias han incrementado el uso de las ilustraciones en general y de los diagramas en particular. De ello se puede deducir que cada vez está más extendida la idea entre el profesorado de que los diagramas son un instrumento potente para comunicar ideas a los estudiantes con efectividad. Por otra parte, se debe haber asumido también que una gran parte del aprendizaje de los conceptos científicos depende de la visualización de modelos y objetos, y que consecuentemente se ha de promover su uso en la enseñanza de las ciencias (StoreyVasu y

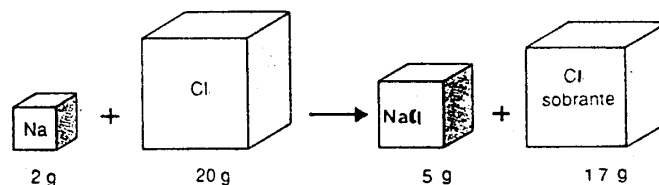


Figura 2. Sustancias participantes en una reacción química (Sendra, F. y Enciso, E., *Física y Química de segundo de BUP*, Valencia, ECIR, 1991).

Howe, 1989). Diversos estudios empíricos (Mayer 1989; Mayer y Gallini, 1990; Winn, 1980) apoyan todas estas ideas y las matizan en forma conveniente.

Un último aspecto positivo de los diagramas en un contexto educativo proviene de su utilidad como instrumento para pensar sobre ideas científicas, lo que sugiere que su uso puede servir para asentar los conceptos científicos que más cuestan de asimilar (Lowe, 1988). Ello es completamente acorde con los resultados obtenidos por Kauchak y colaboradores (Kauchak, Eggen y Kirk, 1978), que evidencian que la efectividad del material gráfico en ciencias se incrementa cuando se hacen preguntas sobre el mismo.

No obstante, un examen riguroso de la comprensión e interpretación de los diagramas por parte de los estudiantes pone en evidencia que los diagramas pueden conducir a dificultades en el aprendizaje de las ciencias, e incluso llegar a producir errores conceptuales. Andersson (1990), resalta en su trabajo la abundancia de diagramas en los libros de texto de Física y Química suecos que ayudan a reforzar las concepciones alternativas de continuidad de la materia y de imposibilidad de espacio vacío en los estudiantes. Nosotros hemos encontrado diagramas de las mismas características en los libros de texto españoles. En concreto, la figura 1, que muestra moléculas de agua e iones inmersos en un continuo de materia (agua líquida), y la figura 2, que presenta a las

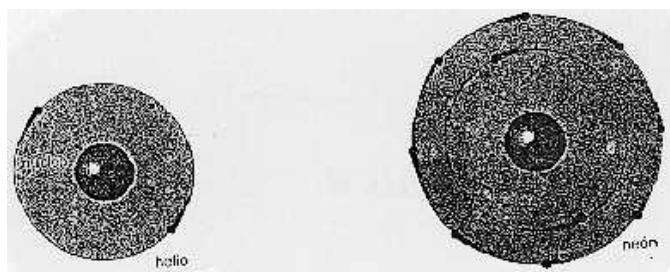


Figura 3. Representación del modelo de Rutherford del átomo que muestra una imagen incorrectamente compacta del átomo (Bascones, F. *et al.*, *op. cit.*).

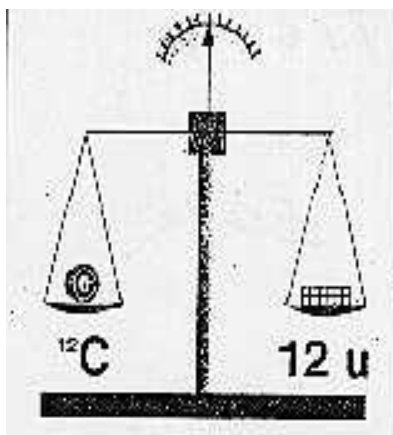


Figura 4. Ilustración de una balanza de existencia imposible en donde se puede pesar un átomo de carbono 12 con 12 unidades atómicas de masa (Sendra, F. y Enciso, E., *op. cit.*)

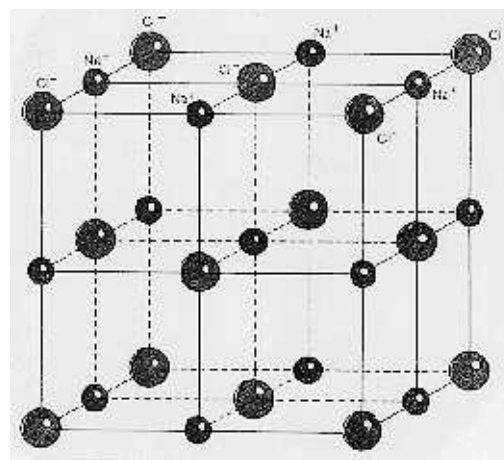


Figura 5. Diagrama de una celdilla unidad de cloruro sódico que ofrece una distancia interiónica exageradamente grande (Sendra, F. y Enciso, E., *op. cit.*)

sustancias que intervienen en una reacción como bloques compactos de materia, son ejemplos de diagramas que promueven concepciones continuistas de la materia. La figura 3 ofrece una representación de átomos, o mejor dicho de un modelo atómico, en la que no se da la imagen del átomo como partícula esencialmente vacía, sino todo lo contrario.

Hemos de tener presente que los procesos que se desarrollan durante la lectura de un diagrama son complejos y requieren tanto del conocimiento del significado de los elementos que forman parte del mismo, como del conocimiento de la naturaleza de las relaciones entre los mismos. Así, los autores citados constatan que la interpretación de diagramas tridimensionales (diagramas de empaquetamiento iónico, secciones transversales y longitudinales, isómeros estructurales, vectores, etc.) conlleva muchos problemas a los estudiantes. Por consiguiente, no es de extrañar que tanto Wheeler y Hill (1990) como Lowe (1986) pongan el acento en que el conjunto de convenciones que se utilizan en la elaboración de los diagramas, al objeto de incrementar su utilidad funcional, tienen que ser perfectamente conocidos

por los estudiantes si se pretende que sean útiles en el aprendizaje. De no ser así, se corre el riesgo de que, por ejemplo, determinadas exageraciones de características o de relaciones que entran en dichas convenciones puedan convertirse en reproducciones de la realidad para nuestros alumnos.

En relación con esto, la figura 4, en la que se *pesa* un átomo de carbono 12 con 12 unidades de masa atómica; la figura 5, que ofrece una distancia interiónica exageradamente grande para una celdilla unidad de un compuesto iónico; la figura 6, que muestra incorrectamente las distancias intermoleculares en las distintas fases de una sustancia molecular; y la figura 7, que puede conducir a los alumnos a pensar que *siempre* la masa de los reactivos es igual a la de los productos; son ejemplos de diagramas que se pueden encontrar en los libros de texto y que son potencialmente peligrosos para la comprensión y aprendizaje de las ciencias.

Por otra parte, las figuras 8, 9 y 10 son ejemplos particulares de diagramas útiles, fáciles de interpretar y que en la mayor parte de los casos no suelen inducir errores concep-

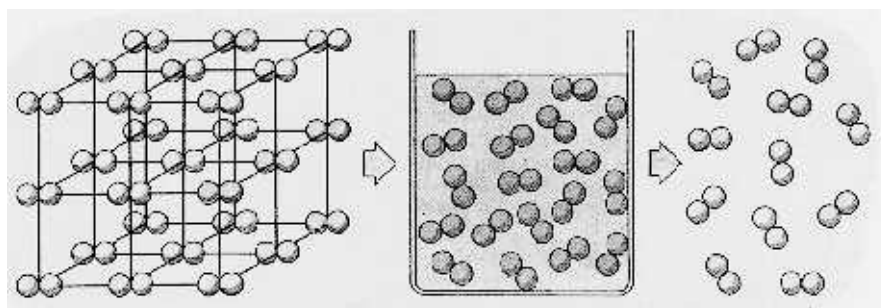


Figura 6. Diagrama que muestra incorrectamente que las distancias intermoleculares en las distintas fases de una sustancia molecular. Obsérvese que la distancia entre moléculas en fase gas es prácticamente la misma que en la fase sólida (del Barrio, J.I. y Belmonte, M., 1992, *Química de COU*, Madrid, SM).

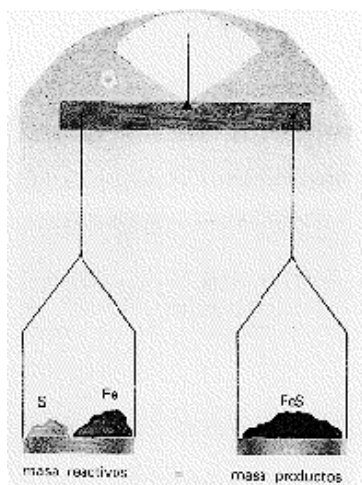


Figura 7. Ilustración que puede conducir a pensar erróneamente que siempre la masa de los reactivos es igual a la de los productos (Bascones, F. *et al.*, *op. cit.*).

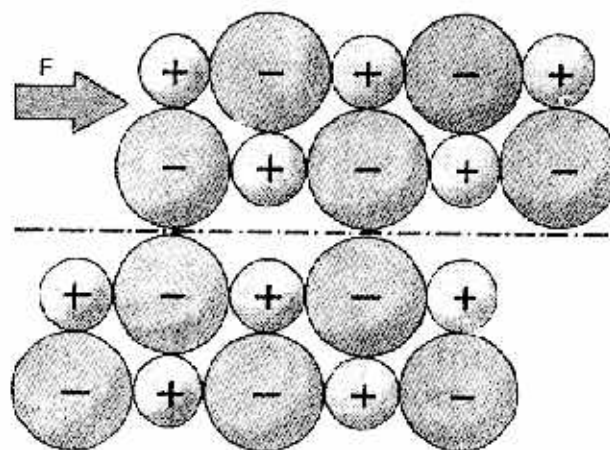


Figura 8. Diagrama que explica el carácter quebradizo de los sólidos iónicos a partir del acercamiento de iones de carga del mismo signo (del Barrio, J.I. y Belmonte, M., *op. cit.*).

tuales. Con todo, siempre se ha de tener en cuenta que la interpretación de una ilustración está íntimamente ligada al conocimiento previo del que la ve. En este sentido, Hanson (1985, p. 95), refiriéndose a una ilustración de un tubo de rayos X, afirma: “El físico y el profano ven la misma cosa pero no infieren la misma cosa a partir de lo que ven”.

Otra consideración de gran importancia acerca de los diagramas científicos en la enseñanza/aprendizaje de las ciencias tiene el origen en los modelos científicos. Ciertas investigaciones han corroborado que los estudiantes tienen ideas erróneas acerca del papel que modelos y teorías desempeñan en la ciencia y su desarrollo (Gilbert, 1991; Lederman, 1992), y piensan que los modelos se limitan a copiar físicamente la realidad (Grosslight *et al.*, 1991), ya que no los han empleado en el aula como construcciones hipotéticas y heurísticas, sino como dogmas definitivos y cerrados (Martinand, 1983). Como corolario de lo dicho, parece aconsejable proporcionar a los estudiantes las explicaciones oportunas para diferenciar modelo científico boceto conceptual de objetos cuya existencia se asume y que forman parte de al

menos una teoría, diagrama de un modelo científico construcción física utilizada para representar un modelo científico, y observación de la realidad física.

Conclusiones

Parece incuestionable la utilidad de los diagramas científicos en la didáctica de las ciencias, por tratarse de instrumentos de insustituibles funciones en la comunicación de conceptos científicos, la reflexión sobre los mismos, y el almacenamiento y organización coherente de la información en la memoria de los sujetos. Todo este conjunto de funciones permite poner a los estudiantes en condiciones de abordar con éxito tareas de alto nivel cognitivo, como la resolución de problemas.

No obstante, para que se ejecuten todas estas funciones de los diagramas, se requiere que los estudiantes desarrollen destrezas en su elaboración e interpretación (Lowe, 1986; Wheeler y Hill, 1990), y para ello se tienen que:

1. Dar a conocer las convenciones que se emplean en su construcción.
2. Explicar convenientemente.

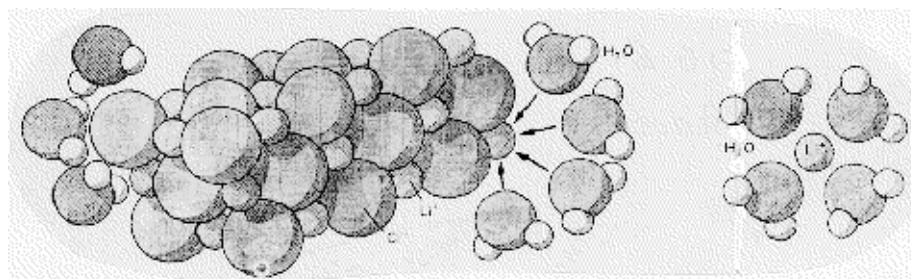


Figura 9. Ilustración del proceso de disolución en agua de un sólido iónico (del Barrio, J.I. y Belmonte, M., *op. cit.*).

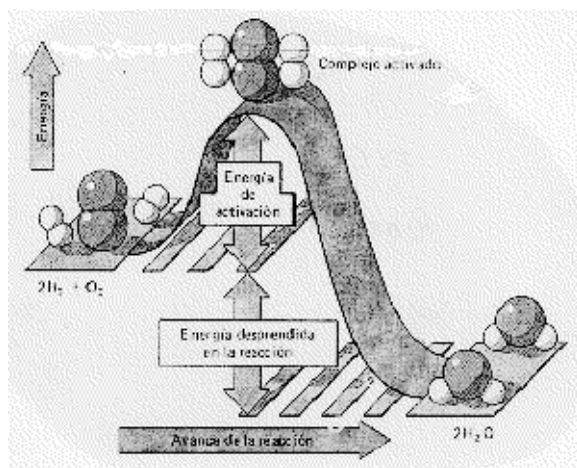


Figura 10. Diagrama que muestra la variación de energía potencial del sistema reaccionante a medida que las moléculas se aproximan entre sí (del Barrio, J.I. y Belmonte, M., *op. cit.*).

3. Interconectar con el resto de la información proporcionada.

4. Trabajar mediante actividades (cuestiones, problemas, etcétera).

5. Diferenciar de los modelos científicos y de la realidad física.

Por último, se ha de llamar la atención del profesorado respecto de la necesidad de introducir sistemas de medida del aprendizaje no verbales que complementen a los verbales. De este modo, dispondríamos de un índice de aprendizaje que, junto a otros que puedan cubrir otros niveles cognitivos e incluso incluir el conocimiento previo de los sujetos, describa con mayor validez y fiabilidad los conocimientos del alumnado tras la instrucción (Solaz Portolès, 1995).

Bibliografía

- Andersson, B., "Pupils' conceptions of matter and its transformations (age 1216)", en *Studies in Science Education*, **18**, 53-85, 1990.
- Gilbert, S.W., "Model building and a definition of science", *Journal of Research in Science Teaching*, **28**, 73-79, 1991.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. y Smith, C.L., "Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts", *Journal of Research in Science Teaching*, **28**, 799-822, 1991.
- Hanson, N.R., *Patrones de descubrimiento. Observación y explicación*, Madrid, Alianza Editorial, 1985.
- Kaukiak, D.P., Eggen, P. y Kirk, S., "The effect of cue specificity

on learning from graphical materials in science", *Journal of Research in Science Teaching*, **15**, 499-503, 1978.

Lederman, N.G., "Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research", *Journal of Research in Science Teaching*, **29**, 331-359, 1992.

Levin, J.R., Anglin, G.J. y Carney, R.N., "On empirically validating functions of pictures in prose", en: D.M. Willows y H.A. Houghton (eds.), *The psychology of illustration: Vol 1. Basic research*, New York, Springer-Verlag, 1987, p. 51-58.

Lowe, R., "The scientific diagram: Is it worth a thousand words?", en *The Australian Science Teachers' Journal*, **1** [32], 713, 1986.

Lowe, R., "Drawing comparisons School science and professional science", *The Australian Science Teachers' Journal*, **33**, 32-39, 1988.

MacDonaldRoss, M., "Scientific diagrams and the generation of plausible hypotheses: An essay in the history of ideas", *Instructional Science*, **8**, 223-234, 1979.

Martinand, J.L., "Enseñanza y aprendizaje de la modelización", *Enseñanza de las Ciencias*, **4**, 45-50, 1986.

Mayer, R.E., "Systematic thinking fostered by illustrations in scientific text", en *Journal of Educational Psychology*, **81**, 240-246, 1989.

Mayer, R.E. y Gallini, J.K., "When is a illustration worth ten thousand words?" en *Journal of Educational Psychology*, **82**, 715-726, 1990.

Paivio, A., *Imagery and Verbal processes*, New York, Holt Rinehart and Winston, 1971.

Pozo, J.L., *Teorías cognitivas del aprendizaje*, Madrid, Morata, 1989.

Solaz Portolès, J.J., "Análisis de las interacciones entre variables textuales, conocimiento previo del lector y tareas en el aprendizaje de textos educativos de Física y Química", en: P. Cepeda (ed.), *Escuela y Sociedad*, XIII Premios F. Giner de los Ríos a la Innovación Educativa Madrid, Fundación Argentaria, 1995, p. 11-24.

StoreyVasu y Howe, A.C., "The effect of visual and verbal modes of presentation on children's retention of images and words", en *Journal of Research in Science Teaching*, **26**, 401-407, 1989.

Wheeler, A.E. y Hill, D., "Diagrams ease. Why students misinterpret diagrams?", en *The Science Teacher*, **57** [5], 59-63, 1990.

White R.T. y Tisher, R.P., "Research on Natural Sciences", en: M.C. Wittorck (ed.), *Handbook of Research on Teaching* New York, McMillan Publishing Company, 1986, p. 874-905.

Winn, W., "The effect of block-word diagrams on the structuring of science concepts as a function of general ability.", *Journal of Research in Science Teaching*, **17**, 201-212, 1980.