

...Y, sin embargo, se puede enseñar ciencia

Juan Ignacio Pozo *

Universidad Autónoma de Madrid

El cuadro que ofrecen en conjunto las investigaciones sobre la comprensión y el aprendizaje de la ciencia por los adolescentes puede parecer desolador a más de un lector: los alumnos tienen serios problemas para aplicar correctamente estrategias de pensamiento formal a tareas científicas; aunque logren razonar formalmente eso no les asegura la comprensión de los conceptos implicados; además esa comprensión se ve obstaculizada por la existencia de concepciones espontáneas muy persistentes, reacias al cambio y, por si esto fuera poco, decididamente contrarias a los conceptos que se les pretende enseñar; así, la simple exposición a esos conceptos no es suficiente para que los comprendan... pero tampoco pueden habitualmente descubrirlos por sí mismos; se hace necesario diseñar unidades didácticas que al tiempo que expongan los conceptos científicos básicos induzcan un aprendizaje activo en los alumnos... pero esas unidades no siempre tienen éxito... En definitiva, tal vez ese profesor pesimista pueda haber llegado a la conclusión de que la enseñanza de la ciencia no es ya contraintuitiva sino literalmente *contra natura*... Y, sin embargo, nosotros pensamos que se puede enseñar ciencia a los adolescentes.

De una forma forzosamente breve, pretendemos presentar en las páginas que siguen las condiciones necesarias para el aprendizaje de conceptos científicos y las implicaciones de esas condiciones para la didáctica de la ciencia. No se trata de ofrecer recetas fáciles ni soluciones unívocas, sino todo lo contrario, de reivindicar la complejidad de la enseñanza de la ciencia y, por tanto, la necesidad de que los profesores se enfrenten a ella con armas más adecuadas que hasta ahora.

El aprendizaje de conceptos científicos

Una pregunta básica para todo profesor de una disciplina científica sería: ¿cómo se adquieren los conceptos científicos?, o, en otras palabras, ¿cuáles son los mecanismos psicológicos de esa adquisición?, ¿cómo funciona el aprendizaje? Lamentablemente, las teorías psicológicas del aprendizaje no están todavía en condiciones de responder satisfactoriamente a una pregunta tan necesaria. El poderoso influjo de la metáfora del ordenador en psicología cognitiva ha hecho que se desvirtuen de ella durante demasiados años aquellas labores que un ordenador difícilmente puede hacer, como por ejemplo aprender ciencia.

* Dirección del autor: Departamento de Psicología Básica, Social y Metodología. Facultad de Psicología. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid.

No obstante, existen diversas teorías psicológicas que proporcionan indicios suficientemente claros sobre cómo funciona el aprendizaje de conceptos científicos, si bien su exposición sería demasiado extensa para esta simple nota final (para una revisión de las mismas, véase Pozo, 1987). Significativamente, para una exposición breve como la que aquí se requiere, el modelo más claro de cómo funcionaría el aprendizaje humano de conceptos científicos podemos encontrarlo en los análisis sobre la filosofía y la historia de la ciencia de Imre Lakatos (1978).

El falsacionismo metodológico de Lakatos comparte con otros modelos vigentes no sólo en filosofía de la ciencia sino también en psicología cognitiva la idea de que los conceptos científicos no evolucionan por simple exposición a contraejemplos o errores. Esta idea del falsacionismo ingenuo (Popper, 1959), según la cual las personas cambian de ideas cuando comprueban que son falsas, se halla en la base de la estrategia didáctica de la enseñanza por descubrimiento. Frente a ella, y en convergencia con la psicología cognitiva actual (Carretero y García Madruga, 1984), Lakatos cree que las ideas se organizan en forma de teorías y que esas teorías sólo pueden ser cambiadas cuando existe una teoría mejor. Por ello, la aparición de una nueva teoría no puede comprenderse en el vacío sino en función de su relación con la teoría anteriormente vigente. La nueva teoría es un producto genético o histórico de la teoría anterior. ¿Pero cuándo una teoría es mejor que otra? Según Lakatos (1978), ha de reunir tres condiciones:

a) Tener un exceso de contenido empírico con respecto a la teoría anterior, es decir, ser capaz de predecir hechos nuevos que la anterior teoría no predecía.

b) Explicar el éxito de la teoría anterior, es decir, explicar todo lo que aquélla explicaba.

c) Lograr corroborar o comprobar empíricamente una parte del contenido empírico nuevo que ha sido capaz de predecir.

No vamos a detallar aquí los distintos componentes de las teorías (o programas de investigación científica) según Lakatos, ni los mecanismos de esa transición. Sin embargo, los estudios de epistemología histórica (Gruber, 1981; Lakatos, 1978) y genética (Piaget, 1975; Piaget y García, 1981), junto con las comparaciones entre expertos y novatos en el conocimiento científico (Pozo, 1987) nos permiten establecer tres generalizaciones importantes con respecto a la transición en el aula de una teoría novata (basada en una serie de concepciones espontáneas) a una teoría experta (científicamente aceptada):

a) El aprendizaje de conceptos científicos no consiste simplemente en reemplazar unas ideas cualesquiera por otras mejores, sino que existe una conexión genética entre ambas teorías. Enseñar ciencia no consiste en proporcionar conceptos a los alumnos, sino en cambiar los que poseen. El alumno no abandonará sus teorías espontáneas hasta que encuentre una teoría mejor que explique no sólo lo que él ya era capaz de explicar por sí mismo sino también algunos fenómenos nuevos. En otras palabras, no basta con exponer al alumno un modelo explicativo mejor, hay que hacerle ver que *es* mejor, es decir, en términos de Lakatos (1978), que tiene un exceso de contenido empírico con respecto a sus concepciones previas.

b) Para que el alumno pueda comprender esa superioridad de la nueva teoría es preciso enfrentarle a situaciones conflictivas que supongan un reto para sus ideas. En otras palabras, el alumno ha de dar-

se cuenta de que su teoría previa es errónea en ciertas situaciones, en las que no predice correctamente lo que va a suceder. Al mismo tiempo hay que hacerle ver también que la nueva teoría hace predicciones mejores. De esta forma, el conflicto cognitivo debe desempeñar un papel muy importante en el avance conceptual del alumno, aunque en ningún caso será una condición suficiente para que ese avance se produzca.

c) Por último, a partir de lo anterior, puede deducirse que la toma de conciencia por parte del alumno es un paso indispensable para el cambio conceptual. Las concepciones espontáneas del alumno suelen ser implícitas (Pozo y Carretero, en este mismo número). Un primer paso para facilitar su cambio es hacerlas explícitas, es decir, hacer que el alumno tome conciencia de ellas. También es necesario que tome conciencia de las ventajas de la nueva teoría. La reflexión sobre las propias ideas es fundamental en el avance histórico del conocimiento científico (por ejemplo, Gruber, 1981) y posiblemente deba desempeñar también una función parecida en el aprendizaje de la ciencia por el alumno.

Obviamente, las consideraciones anteriores no suponen en sí mismas una solución a los problemas de la enseñanza de los conceptos científicos. Sería necesario determinar los tipos de conflicto cognitivo que pueden producirse en los alumnos, la forma en que éstos pueden resolverse, la metodología que puede utilizarse para suscitarlos, la forma de evaluarlos, etc. Aunque nuestro conocimiento es aún escaso, sobre algunos de estos aspectos se han producido en los últimos años avances importantes que nos permiten ser optimistas (véase Pozo, 1987; West y Pines, 1985). En cualquier caso, las consideraciones anteriores tienen algunas implicaciones didácticas directas con las que quisiéramos concluir.

La enseñanza de las ciencias: contra la monotonía didáctica

La complejidad del proceso de aprendizaje de conceptos científicos, que nos hemos limitado a esbozar, obliga a poner en práctica estrategias igualmente complejas para la enseñanza de esos mismos conceptos. Tal vez la más clara conclusión que podamos obtener de un análisis de la situación actual de la enseñanza de los conceptos científicos sea que no existe ninguna estrategia didáctica simple que asegure el éxito de esa enseñanza. Como señalábamos recientemente en una breve reseña en las páginas de esta misma revista, cada vez parece más necesario huir de la «monotonía didáctica» o incluso de la simple búsqueda del método ideal que permita resolver de una vez por todas todos los problemas didácticos. Es preciso ir hacia posiciones más eclécticas —aunque nunca ateóricas— que permitan la integración de diversas estrategias o modelos didácticos (Joyce y Weil, 1978; Pozo, 1987).

En los últimos años, y ante la presencia pertinaz de las concepciones espontáneas de los alumnos, se han desarrollado diversos modelos de enseñanza de conceptos científicos guiados por esta idea integradora. Entre ellos estarían el modelo de aprendizaje generativo de Wittrock (1977; Osborne y Freyberg, 1985), el modelo de «conflicto conceptual» de Nussbaum y Novick (1982) y la teoría epistemológica del cambio conceptual de Posner *et al.* (1982; Hewson y Hewson, 1984). En su análisis de estos diversos modelos, Cosgrove y Osborne (1985),

observan que, por encima de sus diferencias, todos ellos acaban apoyándose en tres fases sucesivas en la estructura de una unidad didáctica. La primera fase consistiría en la presentación del material de aprendizaje, que puede basarse tanto en la realización de experiencias como en la recepción de un modelo conceptual alternativo. En cualquier caso, una de las principales funciones de esta primera fase es hacer explícitas las concepciones espontáneas de los alumnos sobre los fenómenos estudiados. La segunda fase está dedicada a la interpretación, resolución y posible explicación de los conflictos suscitados en la fase anterior. Aquí se han distinguido, a partir de la teoría piagetiana de la equilibración (Piaget, 1975), diversos tipos de conflictos, ya sean entre una predicción y un observable o entre dos concepciones distintas del propio alumno, teniendo la resolución de estos conflictos una importancia distinta en cada caso (Pozo, 1987). Por último, la tercera fase está dedicada a consolidar los conocimientos anteriormente aplicados. A partir de las ideas de Lakatos, a las que antes aludíamos, se ha sugerido (Pozo, 1987) que en esta tercera fase debería aplicarse la nueva teoría adquirida por el alumno como alternativa a sus concepciones espontáneas tanto a problemas que éstas resolvían como a problemas nuevos.

Al margen de la eficacia real de este tipo de modelos, que no podemos discutir aquí, la lógica que subyace a todos ellos supone un importante esfuerzo renovador para la enseñanza de las ciencias. Obviamente, la asunción de estos modelos exigiría no sólo una considerable reducción de la gran cantidad de contenidos científicos que actualmente se enseña en cada nivel educativo, sino también una racionalización mayor en la estructuración y secuenciación de los mismos. Si los problemas observados en la superación de las concepciones espontáneas de los alumnos son ciertos —y parecen serlo— no puede pensarse que esas concepciones van a quedar abandonadas de buenas a primeras en una o en unas pocas sesiones didácticas. Lo que se está exigiendo al alumno en muchos casos es realizar una auténtica «revolución conceptual», semejante a la que supusieron en la Historia de la Ciencia autores como Copérnico o Galileo. Tal revolución, en el caso de producirse, deberá ser el fruto de un diseño curricular vertical adaptado a las concepciones y a las necesidades de los alumnos, y no la consecuencia del estudio de un tema o un par de temas.

Pero además de estas exigencias, la adopción de estos modelos supone también un reto para los propios profesores. Como indican Cosgrove y Osborne (1985) para emprender la enseñanza de un tema o de un simple concepto, el profesor debería conocer no sólo la teoría científica predominante con respecto al mismo, sino también las concepciones espontáneas de los alumnos al respecto, así como la diferencia entre unas y otras. En otras palabras, la enseñanza de la ciencia, además de exigir una toma de conciencia del alumno con respecto a sus propias explicaciones de los fenómenos, exige también una cierta toma de conciencia previa por parte del profesor con respecto al tipo de problema al que se enfrenta. Esperemos que lo dicho hasta aquí facilite esa toma de conciencia.

Resumen

En este artículo se resumen brevemente las condiciones psicológicas necesarias para el aprendizaje de conceptos científicos, partiendo de las posiciones de Lakatos y Piaget. Se analizan también las implicaciones de esas condiciones para el diseño de situaciones de instrucción destinadas a modificar las concepciones espontáneas erróneas de los alumnos.

Summary

This paper outlines from piagetian and lakatosian viewpoints the psychological requirements for the learning of scientific concepts. The implications of these psychological conditions for the instruction in science are briefly presented and discussed.

Résumé

En partant des théories de Piaget et Lakatos, nous présentons brièvement les conditions psychologiques nécessaires pour l'apprentissage des concepts scientifiques. Nous étudions, aussi résumées, les conséquences de ces conditions pour la planification des situations d'instruction afin de changer les conceptions spontanées erronées des élèves dans le domaine scientifique.

Referencias

- CARRETERO, M., y GARCÍA MADRUGA, J. A. (Eds.): *Lecturas de psicología del pensamiento*. Madrid: Alianza, 1984.
- COSGROVE, M., y OSBORNE, R.: «Lesson frameworks for changing children's ideas», en R. Osborne y P. Freyberg (Eds.): *Learning in science*. Hong-Kong: Heinemann, 1985.
- GRUBER, H. E.: *Darwin on man. A psychological study of scientific creativity*. Chicago: Chicago University Press, 1981. Trad. cast. de T. del Amo: *Darwin sobre el hombre*. Madrid: Alianza, 1984.
- HEWSON, P. W., y HEWSON, M. G. A.: «The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction». *Instructional Science*, 1984, 13, 1-13.
- JOYCE, B., y WEIL, M.: *Models of teaching*. Englewood-Cliffs, N. J.: Prentice Hall, 1978. Trad. cast. de R. Sánchez: *Modelos de enseñanza*. Madrid: Anaya/2, 1985.
- LAKATOS, I.: *The methodology of scientific research programmes. philosophical paper. Volume I* (Ed. de J. Worall y G. Currie). Cambridge: Cambridge University Press, 1978. Trad. cast. de J. C. Zapatero: *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza, 1983.
- NUSSBAUM, J., y NOVICK, S.: «Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy». *Instructional Science*, 1982, 11, 183-200.
- OSBORNE, R., y FREYBERG, P.: *Learning in science*. Hong-Kong: Heinemann, 1985.
- PIAGET, J.: *L'équilibration des structures cognitives. Problème central du développement*. Paris: P.U.F., 1975. Trad. cast. de E. Bustos: *La equilibración de las estructuras cognitivas*. Madrid: Siglo XXI, 1978.
- PIAGET, J., y GARCÍA, R.: *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris: P.U.F., 1981. Trad. cast. de P. Pínero: *Psicogénesis e historia de la ciencia*. México: Siglo XXI, 1982.
- POPPER, K. R.: *The logic of scientific discovery*. Londres: Hutchinson, 1959. Trad. cast. de V. Sánchez de Zavala: *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos, 1972.
- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W., y GERTZOG, W. A.: «Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change». *Science Education*, 1982, 66 (2), 211-227.
- POZO, J.I.: *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor/Aprendizaje, 1987.
- POZO, J. I., y CARRETERO, M.: «Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿qué cambia en la enseñanza de la ciencia?». *Infancia y Aprendizaje*, 1987, en este mismo número.
- WEST, L. H. T., y PINES, A. L.: *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando: Academic Press, 1985.
- WITTRÖCK, M. C.: «Learning as a generative process», en M. C. Wittrock (Ed.). *Learning and instruction*. Berkeley: McCutcheon, 1977.