PSICOLOGÍA COGNITIVA

CIENCIA COGNITIVA Y EDUCACIÓN:
Más allá de la Falacia de la Aplicación

Jorge F. Larreamendy-Joerns, Ph.D.*

Introducción

En un provocativo ensayo publicado hace ya una década en la revista europea Learning and Instruction, Stellan Ohlsson (entonces investigador en el Learning Research and Development Center de la Universidad de Pittsburgh), se preguntaba por qué, a pesar de los impresionantes avances en ciencia cognitiva, aún no se había producido una revolución en el campo de la enseñanza y el aprendizaje de dominios escolares. Ohlsson argumentaba que "existe poca evidencia de que la aplicación de nuestra teoría cognitiva pueda consistentemente producir una instrucción que radicalmente incremente la profundidad, la amplitud, o la cualidad del conocimiento adquirido por parte de una gran proporción de aprendices en un amplio rango de tópicos educativos" (1990, p. 562).

Desde luego, como admite el autor, existen historias exitosas (ver Bruer, 1993; Glaser & Bassok, 1989; para referencias), particularmente en el campo de la enseñanza de las matemáticas básicas y del lenguaje escrito. Sin embargo, dada la espectacularidad de los desarrollos recientes sobre la naturaleza de la arquitectura cognitiva, de las estructuras y los mecanismos de la memoria y de la representación del conocimiento, la pregunta de Ohlsson continúa siendo un interrogante válido (aunque con el tiempo esperaríamos que perdiera su vigencia).

Una respuesta obvia consiste en recordar la relativa juventud de la ciencia cognitiva y más aún de los esfuerzos por traducir sus hallazgos en directivas o principios pedagógicos. Aunque la ciencia cognitiva no surgió disciplinariamente sino hasta finales de la década de 1950 (como resultado de los avances en la psicología del pensamiento, la teoría de resolución de problemas, la lingüística, la teoría de la comunicación, la psicología genética y la naciente inteligencia artificial), su consolidación institucional, cuando menos en Norteamérica y

* Psicólogo, Profesor del Departamento de Psicología, grupo de Cognición y desarrollo. Universidad Nacional de Colombia

Europa, data tan solo de mediados de los años 1970. En Latinoamérica, la ciencia cognitiva aún constituye una rareza académica; de hecho, la investigación empírica ha sido comparativamente escasa y, en la mayoría de los casos, estrechamente ligada a problemas derivados de la psicología del desarrollo.

Por su parte, las investigaciones genuinamente cognitivas sobre el aprendizaje de dominios escolares en el aula de clases, sólo comenzaron a cobrar vigor a principios de la década de 1980 (Glaser, 1988, 1990). Conviene recordar que el interés de los científicos cognitivos por el aprendizaje (y, por tanto, por la enseñanza) re-emergió luego de décadas dedicadas, casi exclusivamente, a la investigación sobre las estructuras cognitivas, los formatos de representación del conocimiento y la resolución de problemas. El concepto de aprendizaje tuvo, pues, que esperar un largo tiempo para recuperar, a pesar de su legado conductista, su justo estatuto como proceso cognitivo.

En pocas palabras, sería irrazonablemente optimista esperar que una disciplina tan joven como la ciencia cognitiva, cuyos presupuestos fundamentales y métodos de indagación son de reciente factura, tuviese la capacidad de iluminar, con el rigor y la efectividad del caso, un campo tan complejo como la práctica pedagógica.

No obstante, Ohlsson se inclina por pensar que la considerable distancia entre la ciencia cognitiva y la educación obedece a limitaciones propias de la teoría cognitiva; en particular, al hecho de que la ciencia cognitiva (i.e., la teoría estándar) ha desarrollado in extenso teorías y modelos sobre la acción, pero no así sobre el conocimiento. De manera más precisa, los avances más sólidos han ocurrido en el campo de la adquisición de habilidades [skill acquisition], así como en la resolución de problemas en dominios altamente procedimentales (tales como las matemáticas, la física y la programación de computadores). No ha ocurrido, argumenta Ohlsson, algo semejante en dominios en los que el conocimiento declarativo es prevalente, como por ejemplo la biología, la geología y ciertos campos conceptuales de la física, para no mencionar el grueso de las ciencias sociales y humanas. La ausencia de desarrollos en estos dominios, sugiere Ohlsson, es muestra de la precariedad de la teorización cognitiva sobre el conocimiento conceptual (por oposición al conocimiento sobre la acción), el proceso de comprensión y los mecanismos de abstracción[1].

[1] Cabría también señalar que una transformación educativa coextensiva a los desarrollos en ciencia cognitiva es dependiente de la complejidad sociocultural y organizativa de los contextos educativos, de forma tal que, aun disponiendo de teorías claramente articuladas sobre la enseñanza y el aprendizaje de dominios escolares, no sería razonable esperar su inmediata o incluso rápida implementación.

A pesar de la plausibilidad de las respuestas hasta ahora presentadas, quisiera proponer en este ensayo una hipótesis alternativa al problema del décalage entre los avances en ciencia cognitiva y las transformaciones en el panorama educativo. Para hacerlo, tomaré como dominio de referencia las investigaciones cognitivas contemporáneas sobre el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias naturales.

La hipótesis que desearía adelantar es la siguiente: Por tratarse de un ambiente de tareas (substancialmente) diferente, el contexto educativo no admite la aplicación (sin mediación) de teorías y modelos cognitivos (o de cualquier otra clase), sino que requiere del desarrollo de teorías y modelos propios, de naturaleza cognitiva (o de cualquier otra clase). Dicho de otra manera, la relación entre ciencia cognitiva y educación no es una relación de aplicación (aunque sí puede ser, como señala Bruer [1993], una relación de explicación.) Lo que la ciencia cognitiva puede aportar a la enseñanza de las ciencias no es un conjunto de teorías y modelos cuya aplicación garantice la transformación de las prácticas pedagógicas, sino un conjunto de teorías y modelos cuyos principios pueden, por una parte, explicar (o predecir) el éxito de ciertas modalidades de enseñanza y aprendizaje, y, por otra, orientar (parcialmente) el diseño de estrategias pedagógicas.

Adicionalmente, quisiera proponer que concebir la relación entre la ciencia cognitiva y los contextos de enseñanza y aprendizaje, no como un problema de aplicación (sin mediaciones) de teorías y modelos, sino como un problema de desarrollo de nuevas teorías y modelos, es una consecuencia derivada de la concepción según la cual los mecanismos de la inteligencia están determinados tanto por el contenido del conocimiento (i.e., especificidad de dominio), como por los rasgos del ambiente en el que las acciones inteligentes se emprenden (i.e., ambiente como simplificación de los procesos cognitivos).

Origen del interés por el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias

Los primeros desarrollos en ciencia cognitiva sobre la naturaleza de la inteligencia humana partieron de la concepción según la cual la acción inteligente, en el contexto de la resolución de problemas, era función de heurísticas generales y poder bruto de razonamiento. En efecto, los primeros programas de inteligencia artificial, como el General Problem Solver de Newell y Simon

(1961), estaban dotados de mecanismos generales como el análisis de medios y fines, subir la cuesta y reglas de producción para inferencias deductivas. Sobre la base de dichos mecanismos y de un poder computacional considerable, dichos programas eran capaces de resolver problemas lógicos, algunas demostraciones matemáticas y problemas libres de conocimiento como la célebre Torre de Hanoi.

El diseño de estos programas de inteligencia artificial reposaba, pues, en una concepción de la inteligencia humana como una habilidad general, no dependiente de la naturaleza de los problemas y ambientes de la acción y, por tanto, libre de toda restricción de dominio. Aunque de origen diferente, se trataba de una concepción muy próxima a la idea de la inteligencia como un conjunto de aptitudes de aplicación general, concepción que constituyó el centro de la propuesta psicométrica clásica y, desde una cierta perspectiva, un presupuesto básico de la visión piagetiana de la inteligencia (basada, igualmente, en mecanismos generales como la asimilación y la acomodación).

No es de extrañar que las investigaciones cognitivas de aquella época gravitaran alrededor de los métodos generales (e.g., medios-fines, subir la cuesta, inferencias deductivas) como esencia de la inteligencia. De hecho, una tal concepción era, como se señaló, altamente coherente con las ideas psicológicas prevalentes en Norteamérica y Europa; pero más importante aún era el hecho de que era una concepción fácilmente derivable de las tareas y los problemas con base en los cuales se exploraban los mecanismos cognitivos inteligentes: demostraciones lógicas, silogismos, formación de conceptos nominales, el descubrimiento inductivo de gramáticas artificiales y problemas como la Torre de Hanoi y los Misioneros y Caníbales, entre otros. El rasgo común a todos estos problemas es que son situaciones desprovistas de conocimiento real sobre el mundo; su solución, por tanto, depende, casi exclusivamente, del análisis de los elementos que configuran la tarea.

Sin embargo, como señalan numerosos historiadores de la ciencia cognitiva (Hayes-Roth, Waterman & Lenat, 1983; Feigenbaum & Buchanan, 1993; Gardner, 1985), para finales de la década de 1960, era claro que los métodos generales no daban cuenta de la resolución de problemas sino en un ámbito muy limitado de tareas. Los estudios sobre ajedrez, así como el desarrollo de sistemas expertos en otros dominios, hicieron evidente que un sistema cognitivo requería no sólo de heurísticas generales, sino también de una amplia base de conocimiento para poder solucionar problemas más genuinos.

La necesidad de conocimiento específico sobre el dominio para la resolución de problemas y, por tanto, para la comprensión y simulación de la acción inteligente, se conoce como el Principio de Conocimiento Específico, que fue formulado por Lenat y Feigenbaum en los siguientes términos:

> "Un sistema exhibe comprensión [understanding] y acción inteligentes a un alto nivel de competencia fundamentalmente debido al conocimiento específico que puede traer a la tarea: los conceptos, los hechos, las representaciones, los métodos, los modelos, las metáforas, y las heurísticas acerca de su dominio de indagación." (1987, p. 1173).

Una consecuencia del Principio de Conocimiento Específico fue un renovado interés por tipos y dominios de problemas que demandaran para su resolución, no sólo estrategias de razonamiento sofisticadas, sino también conocimiento complejo sobre el mundo.

Es en dicho contexto en el que surgen las primeras investigaciones sobre razonamiento científico (Simon, 1979) y en el que la educación se convierte, no simplemente en un ámbito de aplicación de modelos cognitivos, sino, fundamentalmente, en un escenario en el cual es posible identificar y explorar problemas antes no investigados y cuyo análisis puede contribuir, de manera directa, a la teorización sobre la naturaleza de la inteligencia humana.

La riqueza de los problemas asociados a dominios escolares de conocimiento ha sido explotada en las investigaciones de Andrea diSessa (1983) sobre la fenomenología de la intuición y los primitivos explicativos; en los estudios de Chi y colaboradores (Chi, Bassok, Lewis, Reimann & Glaser, 1989) sobre las estrategias de categorización de problemas de física en expertos y aprendices; en las investigaciones de Simon (1989) sobre el uso de imágenes mentales en la resolución de problemas en física y economía; en los estudios sobre los mecanismos del razonamiento analógico de Gentner y Gentner (1983); en las investigaciones de Ohlsson (1991) sobre la construcción y el funcionamiento de esquemas abstractos en biología evolutiva ; y en los estudios empíricos sobre el proceso de descubrimiento científico de Simon y Okada (1995), y Klahr y Dunbar (1988) (para mencionar tan solo algunos pocos ejemplos).

En ninguno de los casos mencionados el interés de los investigadores ha sido ajeno a los problemas fundamentales de la ciencia cognitiva, pero ha tenido la

virtud adicional de iluminar tanto los mecanismos de aprendizaje como las estrategias de enseñanza de conceptos científicos. Dicho de otra manera, los esfuerzos investigativos no se dirigieron a la aplicación de la ciencia cognitiva a la enseñanza de las ciencias naturales, sino al desarrollo de modelos y teorías que pudieran dar cuenta del pensamiento, el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia, como dominio del conocimiento.

Del estudio de la experticia a la investigación sobre el aprendizaje

Aunque, a partir de finales de los años 1970, un número considerable de científicos cognitivos centró su atención en la educación (con especial énfasis en el área de las ciencias naturales), por tratarse de una fuente privilegiada de problemas ricos en conocimiento y sofisticados en términos de su lógica de resolución, la incursión efectiva en la problemática del aula de clases no fue, de ninguna manera, inmediata y pronta.

Robert Glaser, en su ya clásico artículo "The reemergence of learning theory within instructional research" (1990), atribuía el tardío interés cognitivo por el aprendizaje y la enseñanza a una deseable cautela investigativa (que, dicho sea de paso, brilló por su ausencia en muchos de los acercamientos conductistas a la educación): Era necesario, tanto pragmática como conceptualmente, describir en detalle las estructuras de conocimiento asociadas al estado inicial y al estado final del proceso de aprendizaje y enseñanza, antes de emprender la tarea de optimizar el tránsito entre un estado y el otro. Es decir, se requería primero de una descripción adecuada de las concepciones legas sobre fenómenos naturales y conceptos científicos, así como de una descripción de las estructuras de conocimiento propias de los expertos, para luego investigar los procesos mediante los cuales los aprendices se transforman en expertos. De manera simple, era imperativo saber qué se aprende y quién aprende, antes de dilucidar la naturaleza del aprendizaje mismo.

Lo anterior explica que, en la tradición de la teoría de procesamiento de información (Newell & Simon, 1972), los estudios sobre la actividad científica realizados durante las dos últimas décadas se agrupen alrededor de tres ejes fundamentales, con aparente exclusión de la cuestión de la enseñanza: (a) la caracterización del razonamiento científico; (b) el estudio de los procesos de descubrimiento científico; y (c) la comprensión del proceso de cambio con-

ceptual (bien durante el desarrollo individual, bien durante episodios de cambio microgenético).

En su mayoría, los estudios sobre razonamiento científico han abordado problemas tales como las concepciones de personas legas (Clement, 1982; McCloskey, Caramazza & Green, 1980; Ohlsson, 1991; Ohlsson & Bee, 1992, 1993), el proceso de resolución de problemas en dominios científicos (Anzai, 1991; Klahr & Dunbar, 1988; Kuhn, Amsel & O'Loughlin, 1988; Okada & Simon, 1996; Patel & Groen, 1991; Schauble et al, 1991; Simon & Simon, 1978) y la organización del conocimiento científico en la memoria, tanto en expertos como en aprendices (Chi, Hutchinson & Robin, 1989; Kitcher, 1992; Larreamendy-Joerns & Ohlsson, 1994; Thagard, 1992).

Un segundo grupo de estudios se ha concentrado en la investigación del cambio conceptual implicado en el aprendizaje de algunos conceptos científicos fundamentales (Carey, 1992; 1992; Thagard, 1992, 1989). El aprendizaje de la ciencia implica desafíos conceptuales como: diferenciación de conceptos, re-asignación de conceptos a categorías ontológicas recientemente creadas (e.g., re-asignación del concepto de electricidad de la categoría de materia a la categoría de interacciones) y re-organización de estructuras de conocimiento. Estos desafíos implican cambio conceptual en el sentido que involucran una transformación en las estructuras de memoria que va más allá de la mera acumulación [accretion] de conocimiento.

Algunos investigadores interesados en cambio conceptual han señalado estas reorganizaciones como uno de los factores que contribuyen a que algunos conceptos científicos sean más difíciles de aprender que otros. De hecho, los estudios sobre cambio conceptual han tenido implicaciones educativas directas como la integración de las preconcepciones de los estudiantes en el diseño de secuencias y materiales educativos y el uso sistemático de analogías en la enseñanza de conceptos científicos de difícil comprensión (Glynn, Duit & Thiele, 1995).

Finalmente, existe un número creciente de investigaciones sobre el proceso de descubrimiento científico (Klahr & Dumbar, 1988; Simon, 1989; ver Okada & Simon, 1995, para referencias). Estas investigaciones han revisitado, en el contexto de descubrimientos específicos en astronomía, genética y biología, problemas ya tradicionales como el razonamiento hipotético-deductivo, la atribución causal y la generación de explicaciones, entre otros.

Los estudios arriba mencionados han definido aspectos cruciales de la experticia científica y, en tal sentido, han sentado las bases para el diseño y la implementación de estrategias de aprendizaje y enseñanza destinadas a facilitar el desarrollo de dicha experticia en estudiantes (Bruer, 1993; ver Glynn & Duit, 1995, para referencias). La incidencia real de dichos estudios en la transformación de las prácticas pedagógicas es materia de debate. Lo cierto es, sin embargo, que han permitido avanzar nuestra comprensión de lo que está implicado en el aprendizaje de las ciencias. Como señala Lauren Resnick (1984, p. 37), "la investigación [cognitiva] proporciona las bases para el mejoramiento de la instrucción porque nos dice, no si un programa educativo es exitoso o no, sino por qué."

En tal sentido, el límite de las investigaciones cognitivas sobre la actividad científica es la explicación de los procesos de aprendizaje; es decir, de sus obstáculos, de sus impedimentos, de sus restricciones y, por supuesto, de sus posibilidades.

De la investigación sobre el aprendizaje a la investigación sobre la enseñanza

Haciendo las provisiones del caso, el aprendizaje puede ser catalogado como un proceso cognitivo superior. Hace parte, por tanto, del objeto propio de la ciencia cognitiva. La enseñanza, por otro lado, desborda de suyo los límites de la actividad mental e implica un concierto complejo de interacciones sociales, discursivas e institucionales. No es de extrañar, entonces, que en la investigación sobre estrategias novedosas para la enseñanza de las ciencias participen no sólo científicos cognitivos, sino también (y muy especialmente) maestros.

Se trata de un dominio de investigación en el que "lo cognitivo" del aprendizaje de las ciencias está determinado estrechamente por el contexto social del aula de clases, por las relaciones e interacciones maestro-alumno, por las actitudes hacia la ciencia, por las actividades, muy numerosas y dispares, que constituyen la vida cotidiana en la escuela. El aprendizaje, visto en este contexto, cesa de ser un simple proceso cognitivo, y se convierte en un proceso de socialización a través del cual los estudiantes se apropian de formas de práctica e interacción lingüística típicas de una comunidad científica (Forman & Larreamendy-Joerns, 1998; Larreamendy-Joerns, 1997).

Al igual que en el caso de las investigaciones "básicas" sobre aprendizaje de las ciencias, no se trata de "aplicar" modelos y teorías, sino de desarrollar acercamientos originales a un ambiente que, como el aula de clases, es notoriamente más complejo que el laboratorio del psicólogo cognitivo. En consecuencia, la mayoría de las investigaciones exitosas sobre enseñanza de las ciencias y aprendizaje en el aula de clases ha partido de una observación atenta de prolongadas secuencias de instrucción, de un trabajo de base con maestros a partir del análisis de tareas, y de una reflexión constante tanto sobre el desempeño de los estudiantes en problemas con fines evaluativos, como sobre la comprensión subyacente a la solución de dichos problemas (Bruer, 1993; Schauble & Glaser, 1992; White, 1995; Glynn, Duit & Thiele, 1995; Warren & Rosebery, 1996).

Las estrategias pedagógicas implementadas para optimizar el aprendizaje de las ciencias incluyen, entre otras, el empleo de situaciones hipotéticas como contexto para la adquisición de conceptos (ver White, 1995, para una descripción del ambiente "Thinker Tools" como ilustración de esta perspectiva); el desarrollo de labores específicas de observación e inferencia (Schauble & Glaser, 1992); el uso de diálogos y conversaciones en el aula sobre interpretación de datos (Warren & Rosebery, 1996); el empleo de recursos informáticos como el hipertexto y las realidades virtuales para la ejecución de experimentos (ver Rouet, Levonen, Dillon & Spiro, 1996, para referencias); el desarrollo de concepciones disciplinariamente correctas a partir de concepciones legas (Ohlsson & Bee, 1993); y la construcción de explicaciones a partir de ejemplos (Larreamendy-Joerns, 1996).

Nuevamente, se trata de propuestas surgidas de un estrecho diálogo entre expertos en el dominio, científicos cognitivos y maestros, así como de ajustes y reajustes hechos durante largos períodos de observación en el aula de clases. El tiempo de investigación, al igual que sus costos, es, por lo tanto, substancialmente diferente al requerido por la investigación cognitiva más ortodoxa.

Consideraciones Finales

Podemos, entonces, regresar a la pregunta formulada por Ohlsson: ¿Por qué la revolución cognitiva no ha permeado la educación? ¿Por qué no ha transformado la práctica pedagógica en relación con la enseñanza de las ciencias? Dejando a un lado variables fundamentales relacionadas con la formación de

los docentes y la difusión misma de la ciencia cognitiva, es claro que el contexto educativo, en general, y el aula de clases, en particular, no son ambientes que reciban de buen agrado los principios más generales descubiertos por la ciencia cognitiva y que los traduzcan expeditamente en alternativas docentes.

La enseñanza de las ciencias impone a la ciencia cognitiva dos desafíos formidables. Primero, le exige ser consecuente con el principio de conocimiento específico; es decir, investigar la acción y el pensamiento inteligentes en el contexto de problemas que requieren de un conocimiento específico y que, por su estructura y referencia al mundo, no son solucionables con base en heurísticas generales. Dicho de otra manera, lejos de aplicar la ciencia cognitiva a la enseñanza de las ciencias, es preciso hacer ciencia cognitiva sobre y en la enseñanza de las ciencias. Como hemos visto, a pesar de contar la ciencia cognitiva con casi medio siglo de antigüedad, la exploración de cómo razonamos en problemas reales de considerable dificultad está aún en fases preliminares. A pesar de la enorme cantidad de investigaciones realizadas en las dos últimas décadas, sabemos poco sobre las formas de razonamiento y las estructuras de conocimiento implicadas en muchísimos campos científicos. Nuestra comprensión de lo que significar saber ciencia y pensar científicamente es sólida en algunos campos, pero precaria en muchísimos más.

Segundo, la enseñanza de las ciencias, como problema y ámbito de investigación, le exige a la ciencia cognitiva entablar diálogos genuinos y constantes con otros paradigmas investigativos e interpretativos (entre los cuales se cuenta la teoría sociocultural); pero, por sobre todo, con los agentes mismos de la enseñanza; a saber, los maestros. Ello implica un trabajo interdisciplinario, pleno de mediaciones, y sujeto a una temporalidad investigativa mucho más parsimoniosa que la imperante en los estudios de laboratorio o, más generalmente, en los estudios fuera del aula de clases.

Estos dos desafíos ponen de presente que pensar la relación entre ciencia cognitiva y educación en términos de aplicación no es solamente una falacia, sino una ilusión que conduce de suyo a expectativas irreales sobre la "eficacia de la teoría" o, en su defecto, sobre la docilidad del campo de aplicación. No se aplica ciencia cognitiva en la escuela; se hace ciencia cognitiva en el ámbito escolar.

Bibliografía

Anzai, Y. (1991). Learning and use of representations for physics expertise. En Ericsson, K. A., & Smith, J. (Eds.). Toward a general theory of expertise: Prospects and limits. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Bruer, J. T. (1993). Schools for thought: A science of learning in the classroom. Cambridge, MA: The MIT Press.

Carey, S. (1992). The origin and evolution of everyday concepts. En R. N. Giere (Ed.), Cognitive models of science (pp. 89-128). Mineapolis, MN: University of Minnesota Press.

Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M., Reimann, P, & Glaser, R. (1989). Self explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. Cognitive Science, 13, 145-182.

Chi, M. T. H., Hutchinson, J. E., & Robin, A. F. (1989). How inferences about novel domain-related concepts can be constrained by structured knowledge. Merill-Palmer Quarterly, 34, 27-62.

Clement, J. (1982). Students´ preconceptions in introductory physics. American Journal of Physics, 50, 66-71.

diSessa, A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. En. D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), Mental Models. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Feigenbaum, E. A., & Buchanan, B. G. (1993). DENDRAL and Meta-DENDRAL: Roots of knowledge systems and expert system applications. Artificial Intelligence, 59, 233-240.

Forman, E., & Larreamendy-Joerns, J. (1998). Making explicit the implicit: Conversational implicatures and classroom explanations. Mind, Culture and Activity, 5 (2), 105-113.

Gardner, H. (1985). The mind's new science: A history of the cognitive revolution. New York: Basic Books.

Gentner, D., & Gentner, D. R., (1983). Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity. En. D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), Mental Models. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Giere, R. N. (1992). Cognitive models of science. En R. N. Giere (Ed.), Cognitive models of science (pp. xv-xxvii). Mineapolis, MN: University of Minnesota Press.

Glaser, R. (1988). Cognitive science and education. International Social Science Journal, 40, 1, 21-44.

Glaser, R. (1990). The reemergence of learning theory within instructional research. American Psychologist, 45, 1, 29-39.

Glaser, R., & Bassok, M. (1989). Learning theory and the study of instruction. Annual Review of Psychology, 40, 631-666.

Glynn, S. M., & Duit, R. (1995). Learning science meaningfully: Constructing conceptual models. En S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), Learning science in the schools (pp. 3-55). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Glynn, S. M., Duit, R., & Thiele, R. B. (1995). Teaching science with analogies: A strategy for constructing knowledge. En En S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), Learning science in the schools (pp. 3-55). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Hayes-Roth, F., Waterman, D. A., & Lenat, D. B. (Eds.) (1983). Building expert systems. Reading, MA: Addison-Wesley.

Kitcher, P. (1989). Explanatory unification and the causal structure of the world. En P. Kitcher & W. C. Salmon (Eds.), Scientific explanation, Minnesota studies in the philosophy of science, Vol XIII (pp. 410-506). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.

Klahr, D., & Dumbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. Cognitive Science, 12, 1-48.

Kuhn, D., Amsel, E., & O´Loughlin, M. (1988). The development of scientific thinking skills. Orlando, FL: Academic Press.

Larreamendy-Joerns, J. (1996). Learning science from text: Effects of theory and examples on college students' ability to construct explanations in evolutionary biology. Disertación doctoral no publicada. University of Pittsburgh.

Larreamendy-Joerns, J. (1997). Interacción social, argumentación y aprendizaje de las Ciencias, Alegría de Enseñar, 32, 28-33.

Larreamendy-Joerns, J., & Ohlssson, S. (1994). Recognition of explanatory patterns in evolutionary biology by experts and novices. Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh, USA. Technical Report.

Lenat, D. B., & Feigenbaum, E. A. (1987). On the thresholds of knowledge. En: Proceedings of the Tenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, Vol. 2., pp. 1173-1182. Milán: Italia.

McCloskey, M., Caramazza, A., & Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. Science, 210, 1139-1141.

Newell, A., & Simon, H. A. (1961). GPS: A program that simulates human thought. En: H. Billing (Ed.), Lernende automaten. Munchen: Germany.

Newell, A., & Simon, H. A. (1972). Human problem solving. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Ohlsson, S. (1990). Cognitive science and instruction: Why the revolution is not here (yet). Learning and Instruction, 21, 561-600.

Ohlsson, S. (1991). Young adults' understanding of evolutionary explanations: Preliminary observations. Technical Report. Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh.

Ohlsson, S., & Bee, N. (1993). Constructing and reading evolutionary explanations improve (some) students' understanding of Darwin's theory. Technical Report. Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh.

Okada, T., & Simon, H.A. (1995). Collaborative discovery in a scientific domain. Working paper No. 525. Department of Psychology. Carnegie Mellon University.

Patel, V. L., & Groen, G. J. (1991). The general and specific nature of medical expertise. En Ericsson, K.A., & Smith, J. (Eds.). Toward a general theory of expertise: Prospects and limits. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Resnick, L. B. (1984). Cognitive science as educational research: Why we need it now. En: Improving education: Perspectives on educational research. National Academy of Education.

Rouet, J-F., Levonen, J., Dillon, A., & Spiro, R. J. (Eds.) (1996). Hypertext and cognition. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Schauble, L., & Glaser, R. (1992). The integration of knowledge and experimentation strategies in understanding a physical system. Technical Report. Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh, PA. USA.

Schauble, L., et. al. (1991). Causal models and processes of discovery. Journal of the Learning Sciences, 1, 201-238.

Simon, H. A. (1979). Models of thought (Vol. 1). New Haven: Yale University Press.

Simon, H. A. (1989). Models of thought (Vol. 2). New Haven: Yale University Press.

Thagard, P. (1992). Conceptual revolutions. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Warren, B., & Rosebery, A. (1996). "The question is just too easy": Perspectives from the classroom on accountability in science. En L. Schauble & R. Glaser (Eds.), Innovations in learning. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

White, B. (1995). The ThinkerTools Project: Computer microworlds as conceptual tools for facilitating scientific inquiry. En: En S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), Learning science in the schools (pp. 3-55). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

CUANDO QUERER SABER NO ES SUFICIENTE:
Desafíos Cognitivos del Aprendizaje de las Ciencias[1]

Jorge F. Larreamendy-Joerns, Ph. D.*

Introducción

En 1938, el filósofo francés Gastón Bachelard, en su obra "La Formación del Espíritu Científico", acuñó el término obstáculo epistemológico para referirse a la inercia que se produce cuando lo que se sabe se interpone en el camino de lo que debiera saberse. Es decir, cuando el conocimiento previo, en vez de facilitar el aprendizaje de conceptos científicos, se constituye en un impedimento para la construcción de conocimiento nuevo.

Entre los numerosos obstáculos epistemológicos analizados por Bachelard, está el conocimiento general; es decir, conceptos cuyos referentes son tan amplios que su valor heurístico real es muy limitado. Así, por ejemplo, si la noción de lenguaje es empleada para nombrar cualquier acto comunicativo (v.g., el canto de las aves, los sonidos producidos por las ballenas, las expresiones gestuales), el concepto mismo de lenguaje, al referirse indiscriminadamente a fenómenos que pueden ser comunicativos aunque no necesariamente linguísticos, corre el peligro de perder interés (o cuando menos, interés científico). Para restituir su utilidad es necesario precisar aquello que, en efecto, es lenguaje y contrastarlo con aquello que no es. Otro obstáculo epistemológico es el uso excesivo de imágenes familiares "en el que una sola imagen, hasta una sola palabra, constituye toda la explicación" (Bachelard, 1938/1984, p. 87). Un caso contemporáneo, en el ámbito de la psicología, es la noción de sistema, que en ocasiones se utiliza como expediente explicativo único para dar cuenta de la naturaleza de ciertos procesos (e.g., familiares,

---

[1] Una versión anterior de este trabajo fue presentada en el coloquio "La Filosofía en la Ciudad", organizado por el Departamento de Filosofía de la Universidad del Valle, Cali, Colombia, en Marzo de 1999. El autor agradece el apoyo de la Escuela de Psicología de la Universidad del Valle para su elaboración y a Stellan Ohlsson por sus comentarios críticos.

* Psicólogo, Profesor del Departamento de Psicología, grupo de Cognición y desarrollo. Universidad Nacional de Colombia

organizacionales, cognitivos), sin delimitar el conjunto de interacciones posibles y prevalentes entre las entidades discretas que constituyen el sistema. Al respecto, es importante comprender que la explicación no se agota en el enunciado, que no basta con señalar el estatuto interaccional de un proceso, sino explicar explicar sus formas distintivas de funcionamiento. De lo contrario, se corre el riesgo de convertir lo que debería ser objeto de explicación en la explicación misma, en una proposición que no requiere de elaboraciones posteriores.

Aunque estaba interesado fundamentalmente en comprender, desde una perspectiva filosófica, las continuidades y rupturas en la historia de la ciencia, Bachelard no fue ajeno a las implicaciones educativas del concepto de obstáculo epistemológico:

> Los maestros de ciencias -escribe Bachelard al respecto- se imaginan que el espíritu comienza como una lección, que siempre puede rehacerse una cultura perezosa repitiendo una clase, que puede hacerse comprender una demostración repitiéndola punto por punto. No han reflexionado sobre el hecho de que el adolescente llega al curso de Física con conocimientos empíricos ya constituidos: no se trata, pues, de adquirir una estructura experimental, sino de cambiar una cultura experimental, de derribar los obstáculos amontonados por la vida cotidiana (1938/1984, p. 21).

Cuando Bachelard escribió "La Formación del Espíritu Científico", la psicología cognitiva no era siquiera un proyecto y la investigación educativa sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias era, para todo propósito práctico, inexistente. No obstante, Bachelard se anticipó por décadas a uno de los problemas más apasionantes y debatidos de la psicología cognitiva y la investigación educativa contemporáneas; a saber, la razón por la cual algunos conceptos científicos son más difíciles de comprender y aprender que otros conceptos en dominios de conocimiento no científicos o que otros conceptos científicos.

La información anecdótica proporcionada por educadores y los resultados de investigaciones sobre el aprendizaje de conceptos científicos sugieren que, no obstante el esfuerzo de maestros y el ocasional interés de estudiantes, ciertos conceptos pueden ser auténticos desafíos intelectuales. Existen literalmente cientos de estudios en psicología y educación sobre las concepciones que estudiantes y personas legas tienen acerca de fenómenos naturales y conceptos

científicos (De hecho, la base de datos ERIC da cuenta de 620 artículos publicados en los últimos 10 años sobre preconcepciones científicas). En su mayoría, dichos estudios documentan la existencia de diferencias significativas, en términos de forma y contenido, entre lo que podrían llamarse conceptos cotidianos y sus contrapartes científicas. Dichos estudios han permitido identificar preconcepciones relacionadas con los conceptos de movimiento y fuerza (McCloskey, Caramazza, & Green, 1980; Sadanand & Kess, 1990), el origen de las especies (Samarapungavan & Wiers, en prensa), la diferencia entre calor y temperatura, el concepto de ser viviente (Hatano & Inagaki, 1995), los fenómenos sísmicos y la teoría de las placas tectónicas (Ross & Shuell, 1993), y el sistema circulatorio (Chi, deLeeuw, Chiu & LaVancher, 1994), entre muchas otras.

Como bien saben los maestros de ciencias naturales, muchas de las preconcepciones erróneas de los estudiantes persisten más o menos intactas a pesar de la enseñanza. Por ejemplo, aunque la enseñanza secundaria (cuando menos curricularmente) proporciona a los estudiantes algunas nociones básicas de biología evolutiva, la mayoría de estudiantes universitarios continúan teniendo concepciones más o menos Lamarckianas de la evolución, basadas en la transmisión de rasgos adquiridos como el mecanismo evolutivo por excelencia y en la idea de evolución como progreso absoluto (Ferrari & Chi, en prensa; Larreamendy-Joerns, 1996; Ohlsson, 1991). En otras ocasiones, y por razones diversas, los estudiantes aprenden conceptos científicos, aunque se muestran incapaces usarlos en el contexto de resolución de problemas o de darse cuenta que dichos conceptos entran en abierta contradicción con creencias que los mismos estudiantes defienden con ahínco (Larreamendy-Joerns, 1996). Ello es indicativo de cuán pobre puede ser la integración entre información nueva y conocimiento existente.

La pregunta es, pues, por qué ciertos conceptos científicos relacionados con temas como los anteriormente mencionados constituyen desafíos intelectuales tanto para maestros como para estudiantes. ¿Debemos atribuir las dificultades en el aprendizaje y la comprensión de dichos conceptos exclusivamente a deficiencias en la enseñanza? ¿Existen factores cognitivos relacionados con el contenido y la forma de los conceptos que los hacen "intrínsecamente" difíciles de aprender, al margen de variables motivacionales? En este artículo se discuten dichos interrogantes, haciendo especial énfasis en los retos que plantea la ciencia para los estudiantes; es decir, en aquellas variables psicológicas que hacen que el sólo deseo de aprender no sea en ocasiones suficiente.

El Papel de las Estrategias de Enseñanza

La explicación más inmediata de las dificultades que experimentan los estudiantes en el aprendizaje de las ciencias son las deficiencias en el proceso de enseñanza. Por una parte, muchas más veces de las que quisiéramos admitir, los maestros mismos carecen de la formación y experiencia científicas necesarias para diseñar e implementar actividades en el aula que permitan a los estudiantes una adecuada comprensión de complejos conceptos científicos. Ello a menudo se refleja en un seguimiento más bien ciego de los textos guías o en la atención apresurada que se le concede a tópicos que exigirían de suyo un tratamiento más cuidadoso. Se trata de una dificultad seria que se remonta a los programas de formación de docentes y al estatuto de los maestros como mediadores entre la comunidad disciplinar científica y la comunidad del aula de clases.

Por otra parte, en muchos casos los modelos que los maestros poseen sobre la naturaleza de los procesos de aprendizaje de los estudiantes son consistentes con una visión de la mente como copia de la realidad y, consecuentemente, del aprendizaje como incorporación no problemática de información exterior (Strauss & Shilony, 1994). El aprendizaje es concebido, entonces, como un resultado inmediato e inevitable de la enseñanza (concepción que se manifiesta en la noción de enseñanza-aprendizaje como proceso unitario).

Es así mismo claro que la mayoría de maestros rara vez toma en cuenta las concepciones espontaneas que los estudiantes traen al aula de clases, lo cual equivale, mutatis mutandi, a curar una enfermedad sin haberla previamente diagnosticado. Puesto que no se dispone de información verídica sobre el punto de partida, es difícil adecuar las estrategias de enseñanza a las características de los estudiantes. Como consecuencia, la enseñanza pasa por encima del estudiante, sin que se identifique aquello que precisamente la enseñanza debería estar destinada a transformar.

Finalmente, en muchos casos, no existen condiciones tecnológicas que le sirvan de soporte al maestro en su esfuerzo pedagógico. Siendo la ciencia una práctica que está estrechamente ligada al desarrollo de la tecnología, resulta difícil pensar cómo podría enseñarse teniendo como único contexto las cuatro paredes del salón de clases. Infortunadamente, la posibilidad de circunnavegar las limitaciones tecnológicas a través de prácticas alternativas depende en gran medida de la solidez del conocimiento científico del maes-

tro. Una salida posible a este círculo vicioso consiste en promover un trabajo conjunto entre maestros y expertos disciplinarios que permita el diseño de ambientes de aprendizaje [learning environments] productivos desde el punto de vista pedagógico y conceptual.

Pese a que las dificultades de comprensión y aprendizaje de conceptos científicos pueden atribuirse en buena parte a la naturaleza de las prácticas de enseñanza, una comparación entre los índices de dificultad relativa de diversos conceptos y dominios de conocimiento sugiere otras causas posibles.

Familiaridad y Extrañeza de los Conceptos Científicos

La primera de ellas es la extrañeza de los conceptos científicos en relación con las prácticas cotidianas de los estudiantes. El razonamiento científico hace parte de la vida diaria de los científicos profesionales, pero no así de la cotidianidad de los estudiantes. De hecho, la enseñanza de las ciencias, como sugería el mismo Bachelard, introduce (o cuando menos, debería introducir) a los estudiantes, por vías de un cambio de cultura experimental , en un mundo que les es poco familiar, en un mundo cuyas reglas de juego son diferentes. 1094081

Mucho se ha discutido en la literatura especializada sobre las semejanzas y diferencias entre niños y científicos (Carey & Spelke, 1994; Gellatly, 1997; Gopnik & Wellman, 1994; Harris, 1994). Tanto los unos como los otros construyen teorías o sistemas de creencias relativamente estables para interpretar y explicar la realidad. Los niños, al igual que los científicos, formulan hipótesis, buscan y evalúan evidencia relevante y modifican sus creencias, a la luz de la información disponible (Ruffman, Perner, Olson & Doherty, 1993). De hecho, los procesos y las estrategias de atribución causal, que nos permiten determinar la causa de un fenómeno, son asombrosamente similares tanto en un grupo como en el otro. Ambos emplean analogías para comprender, a partir del conocimiento previo, nuevos dominios.

Paradigmas experimentales como la violación de expectativas y nuevas estrategias de observación de bebés le han permitido a psicólogos del desarrollo identificar conocimientos precoces sobre el mundo físico cuyo valor adaptativo, en términos evolucionarios, es claro (Carey & Spelke, 1994; Cosmides & Tooby, 1994; Spelke, 1991). A pesar de sus limitaciones motrices

y de la ausencia de formatos representacionales linguísticos, los bebés construyen los principios mismos que rigen la física de la vida cotidiana: (1) Los objetos se mueven como unidades en trayectorias continuas (cohesión); (2) Los objetos no penetran otros objetos (limitación); (3) Los objetos no cambian de forma a medida que se desplazan (rigidez); (4) Los objetos se mueven independientemente excepto que entren en contacto entre sí (ausencia de acción a distancia). De la misma manera, a partir de la observación y su experiencia sensorio-motriz, los niños construyen conceptos de gravedad, peso, densidad y velocidad.

Sin embargo, la analogía entre niños y científicos ha sido blanco de severas críticas (Harris, 1994). Que los niños sean tan inquietos intelectualmente como el mejor de los científicos, no significa que las conclusiones a las que llegan y las estrategias de pensamiento que emplean sean las mismas en los dos casos. De otro modo, no se explicaría por qué el pensamiento científico es un fenómeno no sólo tan localizado a nivel cultural, sino también tan tardío en el plano histórico (Olson, 1994).

De hecho, existe una razón, para nada trivial, por la cual los conceptos científicos y el lenguaje de las ciencias resulta poco familiar para la mayoría de los estudiantes, independientemente de su edad; a saber, el carácter expositivo y explícito del discurso científico en el cual los conceptos están inscritos. Existe considerable evidencia empírica que muestra que el discurso narrativo (v.g., historias, cuentos, relatos, fábulas) es más fácil de comprender y recordar que otros géneros discursivos tales como la definición, la descripción, la exposición y la persuasión (nótese que estos últimos, a diferencia de los primeros, son constitutivos del discurso científico).

Como sugieren Graesser, Golding y Long (1991), el estatus privilegiado del discurso narrativo puede explicarse sobre la base de que la narración, a diferencia del discurso expositivo (característico de las ciencias), está constituida por secuencias de eventos que niños y adultos, en el contexto de su cultura y cotidianidad, pueden experimentar. Adicionalmente, los rasgos del discurso narrativo están estrechamente ligados a los rasgos del discurso oral. Ello explica, en parte, que el conocimiento acerca de la estructura de relatos narrativos se adquiera antes de la edad escolar, lo cual, por supuesto, contrasta abiertamente con el aprendizaje de conceptos científicos (el cual depende casi completamente de la enseñanza formal).

A diferencia de los conceptos cotidianos, los conceptos científicos son "descontextualizados" y explícitos (Forman & Larreamendy-Joerns, 1998). Descontextualizados en el sentido de que su aplicación aspira a un grado de generalidad sin precedentes en la vida cotidiana. Así, por ejemplo, la primera ley del movimiento de Newton ("Todo cuerpo permanece en estado de reposo o en movimiento uniforme en línea recta salvo que una fuerza se ejerza sobre él"), no se refiere al comportamiento de un conjunto particular de cuerpos observados, sino al comportamiento de todo cuerpo posible. Por otra parte, los conceptos científicos son explícitos en la medida en que son objeto de reflexión consciente. Por ejemplo, los bebés construyen a muy temprana edad un concepto de gravedad que les permite predecir, entre otras, que un objeto caerá si no está soportado por otro. Con todo, ello no implica que los niños dispongan de una explicación articulable y formal sobre la gravedad.

En resumen, la poca familiaridad que los estudiantes tienen con los conceptos científicos, por contraste con otras formas de pensamiento y categorización de la realidad, puede explicar las dificultades que implica el aprendizaje de la ciencia. Sin embargo, la falta de familiaridad quizás constituye una explicación demasiado gruesa en el sentido de que no permite entender por qué ciertos conceptos científicos son más difíciles de comprender que otros conceptos científicos (igualmente poco familiares).

Diferenciación de Conceptos e Inconmensurabilidad

Quisiera en esta sección partir de una observación casual. Imaginemos las palabras del diligente empleado de un almacén de objetos esotéricos. El joven está intentando vendernos un cuarzo, en razón de su estructura molecular, produce vibraciones periódicas que, a su turno, generan un flujo de energía positiva. Dicha energía puede ayudarnos, dice él, a cambiar nuestra vida, infundiéndonos ánimo y optimismo para enfrentar situaciones adversas: El cuarzo ahuyenta los pensamientos negativos y le otorga a nuestras acciones un carácter diferente.

Basta una formación básica en Física para advertir que el concepto de energía que el empleado está utilizando es diferente, digamos, del concepto de energía en el que Einstein estaba pensando cuando escribió $E = mc^2$. De hecho, en el contexto de la Física contemporánea resultaría cuando menos

arrojado, primero, establecer una diferencia entre energía positiva y negativa, y segundo, connotar esa distinción con el sentido que atribuimos a los términos "positivo" y "negativo" en la vida cotidiana (como cuando decimos: "Me pareció muy positiva/negativa tu contribución a la discusión). Lo cual da origen a un problema muy interesante: a pesar de en ocasiones emplear el mismo lenguaje, el referente de los conceptos científicos no es igual al referente de los conceptos cotidianos.

Los conceptos son categorías que nos ayudan a hacer inteligible la realidad e introducir un orden en ella. Los conceptos segmentan la realidad, establecen distinciones, forman contrastes (Smith, 1995). Dos sistemas conceptuales son inconmensurables cuando las distinciones que se establecen en un sistema no son las mismas distinciones que se establecen en el otro sistema. La inconmensurabilidad produce la falsa ilusión de la comunicación y la comprensión. Por ejemplo, el concepto de energía del empleado de nuestra historia es inconmensurable (es decir, no comparable) con el concepto de energía que maneja un físico. No obstante, al conversar ambos parecen estar hablando de lo mismo, cuando en realidad se refieren a fenómenos diferentes.

Algunos estudios sugieren que la dificultad para comprender y aprender ciertos conceptos científicos depende de si el referente de dichos conceptos es inconmensurable o compatible con el referente de conceptos similares en la vida cotidiana. Por ejemplo, numerosas investigaciones han documentado la dificultad que experimentan los estudiantes en comprender la diferencia y las relaciones entre calor y temperatura, dos términos que utilizamos a veces intercambiablemente en la vida cotidiana. Otro tanto sucede con conceptos como peso y masa, fuerza y movimiento, especie y población (en el terreno de la Biología).

Michellene Chi, una investigadora del Learning Research and Development Center en Pittsburgh, Estados Unidos, ha sugerido que el aprendizaje de dichos conceptos requiere de un tipo especial de cambio cognitivo que se conoce como "cambio conceptual" o "reestructuración" (Chi, 1992). La reestructuración implica el establecimiento de nuevas distinciones conceptuales y consecuentemente, una reorganización radical del conocimiento previo. Este tipo de aprendizaje contrasta dramáticamente con el aprendizaje de otros conceptos científicos que no implican reestructuración. Por ejemplo, aprender que las ballenas son mamíferos y no peces, no implica reorganizar las categorías que empleamos para ordenar el reino animal (v.g., mamíferos,

peces, anfibios, reptiles), sino simplemente re-asignar el concepto de ballenas de una categoría a otra. Por el contrario, aprender que la masa y la energía son, para todo propósito práctico, equivalentes implica, en cierto sentido, reformular de manera radical los principios de la Física newtoniana.

Al igual que disciplinas científicas como la física y la astronomía, la biología evolutiva implica conceptos que entran en conflicto con la experiencia cotidiana. Una manera de analizar la rareza de los conceptos evolutivos es ver de qué manera ellos se distancian del conocimiento ontológico cotidiano. Según Keil (1979, p. 1), "el conocimiento ontológico se refiere a las categorías básicas de la existencia. Es un hecho bien establecido en cognición (Lakoff, 1987) que las personas asignan fenómenos a categorías como la materia, los eventos, las entidades abstractas (para nombrar tan solo unas cuantas). Esta asignación de fenómenos a categorías tiene importantes consecuencias semánticas y conceptuales. Una de ellas se relaciona con la aceptabilidad de predicados linguísticos. La cateogría ontológica a la cual un fenómeno pertenece restringe las clases de atributos que puede predicarse acerca del fenómeno. Esto es conocido en la literatura como el criterio de predicabilidad (Keil, 1979). Por ejemplo, la expresión "la mesa es pesada" es razonable, puesto que "pesado" es un predicado que puede ser aplicado apropiadamente a un artefacto material. Por el contrario, la expresión "la mesa está triste" es, bajo circunstancias normales (i.e., excluyendo uso metafórico), anómala puesto que "triste" es un predicado que puede aplicarse sólo a seres sensibles.

Chi (1992) ha sugerido recientemente que la robustez de las concepciones ingenuas en ciencia es función de la medida en la cual el cambio conceptual implica una reasignación de conceptos ingenuos a través de categorías ontológicas. En particular, según la hipótesis de la incompatibilidad, "conceptos en los cuales el estatus ontológico verdadero y la concepción de los estudiantes son incompatibles serán más difíciles de aprender que aquellos cuyo estatus ontológico es el mismo en la ciencia y en las concepciones ingenuas" (Larreamendy-Joerns & Chi, 1994, p. 248). La teoría evolutiva implica conceptos que entrañan, en términos de Chi, una reasignación entre categorías ontológicas. El aprendizaje de la teoría de la evolución implica, entre otras, una reconceptualización radical del locus del cambio evolutivo. La "ubicación" del cambio evolutivo no es el organismo, sino la distribución genética de la población/especie. Los estudiantes necesitan comprender que los organismos individuales no evolucionan (i.e., que el predicado "evoluciona" no es aplicable a organismos individuales), puesto que ellos simplemente liven y

mueren, y su bagaje genético está determinado desde la misma concepción. Comprender el proceso de evolución demanda a los estudiantes pensar en términos poblacionales.

Por su parte, el concepto de especie parece, así mismo, contravenir el conocimiento ontológico cotidiano en el sentido de que una especie no es definida con base en las propiedades de sus miembros individuales, sino en términos de su pool genético. Aunque aún controvertido teóricamente, el concepto de especie usualmente se refiere a "grupos de poblaciones que se reproducen o pueden reproducirse potencialmente entre sí" (Mayr, 1984, p. 533). Por lo tanto, una especie "es definida no con respecto a propiedades intrínsecas, sino sólamente en relación con otros grupos" (Lakoff, 1987, p. 188). En consecuencia, especie no es un concepto con un referente fijo, sino una categoría relacional limitada en un tiempo y un lugar específicos

Otro aspecto de la teoría de la evolución que contradice el conocimiento ontológico cotidiano es que el tipo de cambio implicado en la evolución, cuando menos según aproximaciones darwinistas y neo-darwinistas, no es agentivo ni intencional, lo cual contraviene la muy documentada inclinación humana a representar fenómenos de transformación de organismos vivos como eventos intencionales. Larreamendy-Joerns y Chi (1994) han sugerido que para superar preconcepciones erróneas de cambio evolutivo los estudiantes deben reasignar el concepto de evolución de la categoría ontológica de eventos o acciones intencionales, a la categoría de interacciones (i.e., procesos que no entrañan progresión, inicio, fin y agentes intencionales).

La diferenciación de conceptos y la consecuente reorganización del conocimiento constituyen desafíos cognitivos considerables. Ellos implican, en cierto sentido, hacerse a una nueva categorización de la realidad y reconocer entidades o procesos distintos allí donde no existían. Por ello, no resulta particularmente razonable esperar que la enseñanza de conceptos que involucran este tipo de cambio cognitivo ocurra sin contratiempos.

La Naturaleza de la Explicación en la Ciencia

Una importante fuente de dificultad en el aprendizaje de conceptos científicos es la incomprensión de las reglas del "juego explicativo" de la ciencia. Teorías científicas en disciplinas tan diversas como la Física, la Linguística, la

Psicología y la Biología proporcionan no sólo descripciones adecuadas de la realidad, sino también, y fundamentalmente, luces sobre por qué las cosas son como son y no de otra manera. Para ser admitido en el juego de la explicación científica se requiere de dos condiciones. Primero, saber formular las preguntas adecuadas, en el contexto y el nivel apropiados. Segundo, asumir lo que quisiera denominar, siguiendo una analogía legal, la "responsabilidad de la prueba" (Forman & Larreamendy-Joerns, 1998).

El aprendizaje de la ciencia implica cambios no sólo en nuestro conocimiento del mundo, sino también en la manera como nos interrogamos acerca de él. Esto es, el aprendizaje de la ciencia implica una transformación en los parámetros que utilizamos para decidir qué es relevante explicar, así como en la naturaleza de las preguntas que formulamos acerca de situaciones que nos parecen problemáticas.

A diferencia de la cognición cotidiana, el conocimiento científico se interroga sobre y explica de forma fundamental, fenómenos prevalentes (es decir, fenómenos que constituyen la norma y no la excepción). Ejemplos notables del interés que los científicos manifiestan por fenómenos prevalentes pueden encontrarse en la teoría de la gravitación de Newton, la teoría de Darwin sobre el origen de la diversidad de especies y las teorías psicológicas sobre el funcionamiento de los sistemas de memoria. A pesar de sus diferencias, estas teorías versan sobre fenómenos como la caída de los cuerpos, la diversidad biológica y la facultad del recuerdo, cuya ocurrencia regular oculta a menudo su carácter enigmático y extraordinario. Los estudiantes tienen la tendencia, sin embargo, a considerar lo prevalente como auto-evidente y a centrar su atención en lo anormal, lo cual puede constituir un obstáculo significativo en el proceso de construcción del conocimiento científico y consecuentemente, en la comprensión de conceptos básicos. Por ejemplo, en un estudio sobre las explicaciones de jóvenes universitarios sobre el proceso de cambio evolutivo, Ohlsson (1991) concluyó lo siguiente:

> Los estudiantes consideran como auto-evidente que los organismos se adaptan y lo que ello significa. No se requiere, por tanto, una teoría del mecanismo de adaptación. No existe ningún problema que dicha teoría pueda responder. Ni tampoco es una tal teoría posible. La adaptación es un evento primitivo, no está compuesto de procesos más simples. Por tanto, no hay nada que merezca explicarse. La adaptación no es un explanandum, sino parte del explanans (p. 71).

Nótese que al considerar la adaptación como un evento primitivo (es decir, como un proceso cuya inevitabilidad convierte a la explicación en un ejercicio imposible), los estudiantes están vedándose el acceso a un concepto tan crucial como el de selección natural, que por supuesto explica cómo las especies se adaptan a las condiciones del medio ambiente. Una estrategia de enseñanza exitosa tendría, en consecuencia, que comenzar problematizando el fenómeno mismo de la adaptación, so pena de armar a los estudiantes con respuestas a preguntas que jamás se formularon.

La segunda condición para entrar en el juego explicativo de la ciencia es asumir la responsabilidad de la prueba. Ello implica comprometerse a documentar aquello que se afirma. En la vida cotidiana prima lo que Aristóteles llamaba el endoxon, es decir, la opinión basada en lo verosímil o en lo que la mayoría de la gente considera verdadero. Puedo afirmar, por ejemplo, que "Los antioqueños son emprendedores", lo cual constituye una aseveración plausible. Sin embargo, si deseo que mi afirmación cuente en el concierto de la discusión científica, es necesario que la documente más allá de su plausibilidad inicial; lo cual, muy probablemente, me llevaría a reducir su nivel de generalidad y convertirla en algo como: "Algunos antioqueños son emprendedores".

Desde el punto de vista cognitivo, asumir la responsabilidad de la prueba implica estar en capacidad de construir una estructura de conocimiento en la cual los conceptos estén integrados, de forma tal que un concepto siempre esté respaldado por otros. Ello se aparta drásticamente del aprendizaje fragmentario de conceptos científicos, de la ausencia de relación entre niveles de análisis y generalización, y del aprendizaje de la ciencia concebido como aprendizaje de hechos brutos.

A Modo de Conclusión

Buena parte de la dificultad para comprender y aprender conceptos científicos reside en su carácter contraintuitivo. No se necesita recurrir a las complejidades de la física cuántica para reconocer la distancia existente entre el conocimiento científico y el conocimiento cotidiano. La ciencia demanda formas de pensamiento que se apartan de la narratividad que está en la base misma de la cognición cotidiana. La ciencia introduce distinciones conceptuales que desafían el sentido común; distinciones cuya utili-

dad en el ámbito de nuestra vida personal es a menudo escasa, cuando no inexistente. La ciencia nos impone reglas que redefinen lo que significa explicar o dar cuenta de algo. La ciencia nos obliga, muchas veces, a interrogarnos sobre lo obvio, a volver sobre esas preguntas masivas que los niños, en el contexto de su inexperiencia, formulan con perplejidad y fascinación y que quizás por ello mismo, resultan en ocasiones insoportables para los adultos.

Las investigaciones psicológicas y educativas sobre la persistencia y robustez de las concepciones erróneas de los estudiantes acerca de fenómenos y conceptos científicos, su muy documental inmunidad a ciertos tipos de enseñanza y la historia misma de la ciencia, llena de salidas en falso y revoluciones dolorosamente radicales, deben precavernos contra la ilusión de un aprendizaje sin tropiezos cuya única garantía es el deseo de saber. La ciencia, no hay lugar a dudas, es una actividad fascinante, pero es muy pocas veces tentadora. Y no lo es, justamente, porque implica el seguimiento de una lógica poco familiar, siempre sometida y abierta a la crítica y la inspección; porque nos obliga a delimitar la corrección de las categorías con las cuales ordenamos día a día nuestro mundo; porque nos lleva a dar cuenta de aquello que de buena gana daríamos por sentado.

Noam Chomsky alguna vez señalaba que existen dos problemas fundamentales en la historia del pensamiento occidental sobre la naturaleza del conocimiento humano: el problema de Platón y el problema de Orwell. El primero es por qué sabemos tanto sobre la base de una experiencia tan limitada (como podrá sospecharse, su formulación apunta hacia la plausibilidad del innatismo). El segundo problema es por qué ignoramos tanto si disponemos de una evidencia tan amplia. En algún sentido, el problema de Orwell fue el problema que Bachelard intentó resolver y que los psicólogos cognitivos han investigado con los métodos de la ciencia. Pero es, así mismo, el problema que los educadores enfrentan a diario en la enseñanza de la ciencia: ¿Por qué los estudiantes perseveran en sus concepciones erróneas a pesar de la evidencia en su contra? Una pregunta tal nos obliga tanto a indagar sobre los desafíos cognitivos que impone el aprendizaje de conceptos científicos, como a interrogarnos sobre la calidad de la evidencia que presentamos a los estudiantes; es decir, sobre las bondades de nuestra enseñanza.

Bibliografía

Bachelard, G. (1938). La formación de l´esprit scientifique: Contribution a une psychanalyse de la connaissance objective. París:Vrain. (Versión castellana: La formación del espíritu científico: Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo. Buenos Aires: Siglo XXI, 1984).

Carey, S., & Spelke, E. (1994). Domain-specificity knowledge and conceptual change. En. L.A. Hirschfeld & S.A. Gelman (Eds.), Mapping the mind (pp. 169-200). Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Chi, M.T.H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. En R.N. Giere (De.), Cognitive models of science (pp. 129-187). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.

diSessa, A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. En. D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), Mental Models. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Forman, E.A., & Larreamendy-Joerns, J. (1998). Making explicit the implicit: Classroom explanations and conversational implicatures. Mind, Culture and Activity.

Gellatly, A. (1997). Cognitive processes and theory development: A replay to Spencer and Karmiloff-Smith. Human Development, 40, 55-58.

Gopnik, A., & Wellman, H. M. (1994). The theory theory. En. L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), Mapping the mind (pp. 257-293). Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Graesser, A., Golding, J.M., & Long, D.L. (1991). Narrative representation and comprehension. En R. Barr, Kamil, M.L., Mosenthal, P.B., & Pearson, P.D. (Eds), Handbook of reading research (pp. 171-205). New York: Longman.

Harris, P. L. (1994). Thinking by children and scientists: false analogies and neglected similarities. En En. L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), Mapping the mind (pp. 294-315). Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Hatano, G., & Inagaki, K. (1995). Young children's naive theory of biology. En I. Mehler & Frank, S. (Eds.), Cognition on Cognition (pp. 153-170). Cambridge, MA: The MIT Press.

Larreamendy-Joerns, J. (1996). Learning science from text: Effects of theory and examples on college students' ability to construct explanations in evolutionary biology. Disertación doctoral no publicada. University of Pittsburgh.

Larreamendy-Joerns, J., & Chi, M.T.H. (1994). Commentary, Human Development, 37, 246-256.

Larreamendy-Joerns, J., & Ohlssson, S. (1994). Recognition of explanatory patterns in evolutionary biology by experts and novices. Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh, USA. Technical Report.

McCloskey, M., Caramazza, A., & Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the motion of objects. Science, 210, 1139-1141.

Keil, F. (1979). Semantic and conceptual development: An ontological perspective. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Ohlsson, S. (1991). Young adults´ understanding of evolutionary explanations: Preliminary observations. Technical Report. Learnig Research and Development Center, University of Pittsburgh.

Ohlsson, S. (1991). Young adults' understanding of evolutionary explanations: Preliminary observations. Technical Report. Learning Research and Development Center, University of Pittsburgh.

Olson, D.R. (1994). The world on paper: The conceptual and cognitive implications of writing and reading. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Ruffman, T., Perner, J., Olson, D., & Doherty, M. (1993). Reflecting on scientific thinking: Children's understanding og the hypothesis-evidence relation. Child Development, 64, 1617-1636.

Samarapungavan, A., & Wiers, R.W. (en prensa). What constitutes an explanatory framework? Examples from children's ideas about speciation. Cognitive Science.

Spelke, E.S. (1991). Physical Knowledge in infancy: Reflections on Piagetís theory. En S. Carey & R. Gelman (Eds.), The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition (pp. 133-171). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Warren, B., & Rosebery, A. (1996). "The question is just too easy": Perspectives from the classroom on accountability in science. En L. Schauble & R. Glaser (Eds.), Innovations in learning. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

White, B. (1995). The ThinkerTools Project: Computer microworlds as conceptual tools for facilitating scientific inquiry. En: En S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), Learning science in the schools (pp. 3-55). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Sadanand, N., & Kess, J. (1990). Concepts in force and motion. Physics Teacher, 28, 8, 530-533.

Ross, K., & Shuell, T. (1993). Children's beliefs about earthquakes. Science Education, 77, 2, 191-205.