

Diálogos

Discusiones en la Psicología contemporánea

2



Departamento de Psicología

Facultad de Ciencias Humanas
Universidad Nacional de Colombia

Eduardo Aguirre Dávila
Editor

Colección Debates en Psicología

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 abstracción¹.

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 & Dunbar, 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). Minneapolis, 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). Minneapolis, 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 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., & Ohlsson, 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.