

Análisis crítico y perspectivas

El aprendizaje basado en tecnologías

por Erik de Corte

Cuando las microcomputadoras comenzaron a ser introducidas en escuelas, a comienzos de los años ochenta, se predijo que este nuevo medio interactivo y dinámico cambiaría significativamente, aun antes de fines de esa década, la calidad y los resultados de la enseñanza. Hoy —casi diez años después— hay evidencia consistente que muestra que tales predicciones no se han convertido en realidad, y que probablemente estaban basadas más en ilusiones que en argumentos bien fundamentados.

El autor

Profesor del Centro para la
Psicología Instruccional
y Tecnología, Universidad
de Lovaina, Leuven, Bélgica.

Altas expectativas no cumplidas

En 1991, Becker informó de los datos correspondientes a los Estados Unidos de un estudio de gran envergadura sobre el uso de computadoras en educación, y que se llevó a cabo en 21 países por la International Association of Educational Achievement (IEA).¹ Mientras el número de computadoras disponibles en escuelas americanas ha aumentado considerablemente entre los años 1985 y 1989 (de un promedio de 4 a 17 en escuelas básicas y de 16 a 39 en escuelas secundarias), Becker llega, sin embargo, a la conclusión de que

"sólo una pequeña minoría de profesores y estudiantes pueden ser propiamente llamados usuarios avezados de computadoras —donde una gran parte de la instrucción, aprendizaje o trabajo productivo en una clase se logra mediante el uso de computadoras—".² No hay razones para creer que la situación sea distinta en otros países.

En cuanto a los logros de aprendizaje, estudios bien diseñados dan cuenta de resultados de poca o muy modesta significación en favor de la instrucción asistida por computadoras (CAI, *computer assisted instruction*) en comparación con la enseñanza en salas de clase tradicionales.³ Además, en una investigación reciente en que se incluían 339 estudiantes de clases de cuarto a décimo grado, Krendl y Broihier encontraron evidencia que corrobora la impresión de que los resultados positivos de aplicaciones de computadoras en escuelas podrían ser una resultante de efectos de novedad en el corto plazo.⁴ En efecto, ellos observaron que por un período de más de tres años las preferencias de los estudiantes por computadoras, o el entretenimiento con computadoras, lo mismo que sus percepciones de la efectividad instruccional de la tecnología, declinaron significativamente a lo largo del tiempo. Por otra parte, la percepción de los estudiantes sobre la dificultad del uso de computadoras no disminuyó.

Todos estos hallazgos muestran obviamente que las expectativas iniciales con respecto al impacto de corto plazo de la *nueva tecnología de la información* en la enseñanza eran demasiado altas. Esto es confirmado también por la reciente descripción de Kaput sobre el estado del arte en este ámbito donde uno probablemente habría anticipado el avance más significativo de la computadora, esto es, en la educación matemática:⁵

1. A pesar de su aumento en los últimos años, aún hay muy pocas computadoras disponibles en las escuelas y en su mayoría están obsoletas.

2. Subsiste una carencia de *software* (programas) en cantidad y calidad suficientes que garanticen la inversión necesaria para un uso de computadoras a gran escala.

3. Las computadoras son todavía muy difíciles de utilizar para el profesor promedio de forma continua en la sala de clases típica (entre otras razones porque los programas disponibles no están suficientemente relacionados con el currículo escolar y ciertamente no se encuentran integrados a éste).

4. La formación de profesores no alcanza a proporcionar, a los futuros maestros una experiencia sistemática y profunda con computadoras.

5. Dada las circunstancias precedentes, los profesores tienen expectativas muy bajas —si tienen alguna— respecto al uso de computadoras como una forma de apoyo a sus labores de enseñanza.

Si algo puede sorprender no es, ciertamente, este estado del arte, sino las expectativas poco realistas de comienzo de los años ochenta. En efecto, parece

ser que la historia (de la tecnología educativa) se repite y que no aprendemos mucho de ella. Tomen, por ejemplo, la siguiente aseveración citada por Cuban:

“La meta central y dominante de la educación [por computadoras] es traer el mundo a la sala de clases, hacer universalmente disponibles los servicios de los mejores profesores [...] Puede llegar el momento en que [una computadora] llegue a ser tan común en la sala de clases como un pizarrón. La instrucción [por computadoras] se integrará a la vida escolar como un medio educacional aceptado”.⁶

Esta aseveración emula a muchas otras similares escuchadas en la década del ochenta. ¡Sólo que esta (en particular) data de 1932 y se relaciona con el uso educacional de la radio!

A este respecto se debería agregar que al pasar por alto las expectativas no cumplidas de artefactos educacionales anteriores no solo se mantienen estas como verdaderas en su impacto a corto plazo en la práctica educacional. Efectivamente, la investigación en computación educacional también ha replicado —ciertamente de manera inicial— la ingenuidad y los errores del trabajo hecho en el pasado con respecto a otros medios.⁷ Pero, entretanto, las cosas han cambiado en la comunidad de investigación, como se ilustrará más adelante.⁸

¿Qué hay de malo con las actuales aplicaciones de computadoras a la educación?

Una causa principal del fracaso relativo de la computación educacional —lo mismo que de otras “últimas innovaciones” en la caja de herramientas de la tecnología instruccional— es que la computadora ha sido introducida principalmente como un agregado a un ambiente existente e inalterado de la sala de clases.⁹ En matemáticas, por ejemplo, la gran mayoría de los programas (*software*) disponibles caen en la categoría de ejercitación y práctica, y se centran principalmente en la ejercitación de habilidades de cómputo, reemplazando a este respecto las tradicionales hojas de ejercicios.¹⁰

Esto significa que la *nueva tecnología de la información* se implementa para reproducir y preservar el *statu quo*. Sin embargo, esta práctica existente en educación matemática ha sido en sí misma criticada vivamente a lo largo de los últimos diez o quince años. Como resultado de ello se hacen grandes esfuerzos para transformar el aprendizaje y la enseñanza de las matemáticas desde la absorción individual y memorización de cuerpos fijos de conceptos

descontextualizados y habilidades de procedimiento transmitidos por el profesor, hacia una construcción colaborativa, mediada por el profesor, de conocimientos significativos y útiles y de habilidades para la resolución de problemas basados en una modelación matemática de situaciones y contextos auténticos de la vida real.¹¹

La situación en otros ámbitos de contenido parece no ser muy distinta. En la enseñanza de idiomas, por ejemplo, los programas que se centran en la práctica de reglas ortográficas y gramaticales también predominan, y hay muchos menos programas disponibles que apoyen los aspectos más esenciales de la lectura y escritura, es decir, la comprensión y la comunicación. Como se ilustra en el informe de Becker de datos del IEA para los Estados Unidos, existe una tendencia desde fines de los años ochenta en que el procesamiento de texto emerge como una actividad basada mayormente en computadoras a nivel de la escuela secundaria. Sin embargo, un análisis más exhaustivo indica que el centro de atención se ciñe al cómo usar un procesador de texto en vez del mejoramiento de las habilidades de los estudiantes en la expresión de sus ideas a través de la escritura.¹²

En la actualidad ha llegado a ser evidente que la mera estrategia de agregar el uso de computadoras en escuelas no puede producir los mejoramientos en la calidad y los resultados de aprendizaje que fueron originalmente anticipados. Una explicación parcial de la ineficacia de esta estrategia es que las aplicaciones prevalecientes de ejercitación y práctica sólo evocan en los estudiantes actividades mentales de nivel más bajo, y no explotan de ninguna manera el potencial específico de la computadora —como sus posibilidades interactivas y su tremenda capacidad para la presentación y manipulación de datos—.¹³

Sin embargo, una razón más fundamental del fracaso de la estrategia de agregación es que esta se basa en un supuesto equivocado: que las computadoras evocarán por sí mismas aprendizaje productivo. La ilustración más típica a este respecto se relaciona con la forma en que Logo ha sido a menudo utilizado:¹⁴ se esperaba que “tormentas mentales” (*mindstorms*) resultarían en mejoramientos de las habilidades de pensamiento y de resolución de problemas, las que se elevarían por sí mismas en las mentes de los niños dadas las características únicas del entorno Logo. Contradicho convincentemente, tanto por estudios bien diseñados tanto por la experiencia práctica, este punto de vista ha sido por ahora abandonado. Pero la suposición mayormente implícita de que las computadoras pueden por sí mismas evocar y facilitar el aprendizaje de los estudiantes nos lleva a un continuo debate en la literatura actual, esto es, si las computadoras tienen efectos únicos en la adquisición de conocimiento, habilidades y creencias. A este respecto, una posición de extremo negativismo ha sido asumida por Clark quien afirma que:

"... los medios son meros vehículos que distribuyen instrucción pero que no influyen en los logros de los estudiantes más de lo que un camión que distribuye nuestros víveres produzca cambios en nuestra alimentación".¹⁵

Según Clark, el método y el contenido de la instrucción son factores críticos en la producción de efectos de aprendizaje, no obstante el medio puede influir la eficiencia y el costo de la entrega de instrucción. En otras palabras, el potencial de la computadora yace en algunos beneficios económicos, no en beneficios del aprendizaje.¹⁶

A partir de una extensa revisión de la literatura sobre el aprendizaje con medios, Kozma¹⁷ ha contestado la posición de Clark. Específicamente respecto a las computadoras, él revisó estudios que muestran cómo las capacidades de transformación de la máquina ayudan a los estudiantes de un modo efectivo a construir vínculos entre las expresiones simbólicas de gráficos y los fenómenos correspondientes de la vida real. Otros trabajos en física demuestran que los estudiantes desarrollan modelos mentales más consistentes y exactos de fenómenos a través de la manipulación de representaciones simbólicas de constructos formales en micromundos computacionales. Considerando estos hallazgos, Kozma señala que en un buen diseño instruccional los medios y método están estrechamente integrados y consecuentemente, que el estudiante construye conocimientos en interacción con el medio y el método.

Considerando la evidencia disponible y los argumentos involucrados en la actual discusión, asumo, en línea con la posición de Kozman, el punto de vista de que la aplicación educacional productiva de computadoras requiere que éstas estén integradas en ambientes de enseñanza-aprendizaje consistentes, esto es, ambientes instruccionales que evoquen en los estudiantes los procesos de adquisición necesarios para lograr alcanzar objetivos educacionales meritorios y deseables. La incorporación significa aquí que la computadora no es solo un agregado, sino que es juiciosamente integrada en el entorno capitalizando en sus fortalezas específicas y potencial para presentar, representar y transformar información (por ejemplo, simulaciones de fenómenos y procesos) e inducir formas efectivas de interacción y cooperación (por ejemplo, a través de intercambios de datos, información y problemas vía una red computacional).

Sistemas tutoriales inteligentes: ¿es ésta la solución?

En paralelo a la introducción a gran escala de las computadoras en educación, la comunidad de la ciencia cognitiva interesada en el aprendizaje y

la enseñanza ha invertido bastante trabajo y esfuerzo en el diseño de *sistemas tutoriales inteligentes*.¹⁸ Es interesante preguntarse si estas tentativas de investigación interdisciplinaria han dado resultados con vistas a reparar los fracasos de la computación educacional. Esta pregunta es fundamental, ya que un incentivo principal para el diseño de *sistemas tutoriales inteligentes* derivó de la insatisfacción con la instrucción asistida por computadoras tradicional que ha predominado y que aún predomina en la práctica educacional. De hecho, el *software* educacional que involucra inteligencia artificial (IA) fue originalmente llamado instrucción asistida por computadoras "inteligentes".

La distinción crítica entre la *instrucción asistida por computadoras* y los *sistemas tutoriales inteligentes* es que la primera es un sistema estático que representa las decisiones de profesores expertos, mientras que los *sistemas tutoriales inteligentes* contienen la experiencia en sí misma y puede usarla como base para la toma de decisiones sobre intervenciones instruccionales.

El ámbito de la *inteligencia artificial* y la educación es un cruce interdisciplinario y, consecuentemente, el desarrollo de tutores inteligentes es guiado por un cuerpo variado y sustancial de conocimientos basados en la investigación. Sin embargo, este campo está regado de trampas.

Por ejemplo, un resultado consistente de la investigación sobre aprendizaje e instrucción es que los conocimientos previos que tengan los estudiantes son una determinante muy importante del aprendizaje futuro. Por lo tanto, la instrucción debería estar explícitamente vinculada a los conocimientos previos, y la comunidad de *sistemas tutoriales inteligentes* ha tomado este principio muy seriamente. En efecto, un componente principal de un tutor inteligente es el modelo del estudiante, el cual, como Wenger asegura,

"debería incluir todos los aspectos del comportamiento y conocimientos del estudiante que tengan repercusiones en su desempeño y aprendizaje".¹⁹

Pero el mismo autor agrega inmediatamente que la construcción de tales modelos de estudiante es una tarea muy difícil para sistemas basados en computadoras. Es más, al presente no está claro cuán lejos se debería ir en la construcción de modelos de estudiantes y cuán flexible y diagnóstico debería ser un sistema con vistas a proveer la guía más apropiada. Putnam, por ejemplo, ensayó la idea que un modelo detallado del conocimiento del estudiante es un requisito para una corrección exitosa.²⁰ Él no encontró sustentación para el así llamado *modelo diagnóstico-correctivo*: profesores experimentados no trataron de construir modelos detallados de los procedimientos erróneos de los niños como una base para la instrucción correctiva.

Un asunto aún más fundamental concierne la naturaleza de la guía que un *sistema tutorial inteligente* debería proveer, considerando la actualmente bien

documentada concepción del aprendizaje como un proceso activo y constructivo: los estudiantes no son receptáculos pasivos de información, sino que construyen activamente sus conocimientos y habilidades a través de una interacción con el ambiente y a través de la reorganización de estructuras mentales previas.²¹ Consecuentemente, como indicaron Scardamalia, Bereiter, Mc Lean, Swallow y Woodruff, los ambientes de aprendizaje basados en computadoras deberían apoyar los procesos de adquisición constructivos en los estudiantes.²²

La pregunta que surge es si los *sistemas tutoriales inteligentes* existentes concuerdan con esta visión constructivista del aprendizaje. En efecto, tutores inteligentes "tradicionales", que basan sus decisiones en un detallado diagnóstico del conocimiento de los estudiantes, pueden fácilmente conducir a una preponderancia de situaciones de aprendizaje altamente estructuradas y directivas, careciendo de oportunidades suficientes para una participación e involucración activa del estudiante. El *Geometry Tutor* (Tutor de Geometría) de Anderson,²³ uno de los ejemplos más frecuentemente citados como sistema tutorial inteligente, es un ejemplo de tal sistema directivo. Como señaló Kaput, los intentos sugeridos para hacer el tutor más flexible y educacionalmente adaptable o cambiará su epistemología subyacente: "el conocimiento y la autoridad subyacente del tutor residen en la computadora".²⁴ Parafraseando a Papert, quien contrapone "constructivismo" a "instruccionismo",²⁵ uno podría decir que el *Geometry Tutor* continuará reflejando una visión del aprendizaje "instruccionista" en vez de una "constructivista".

La concepción constructivista del aprendizaje que prevalece en la actualidad y los problemas que enfrenta el diseño de *sistemas tutoriales inteligentes* han propiciado la aparición de una perspectiva según la cual que los ambientes de aprendizaje basados en computadoras no deberían involucrar tanto el conocimiento e inteligencia para guiar y estructurar los procesos de aprendizaje, sino que más bien deberían crear situaciones y ofrecer herramientas que estimulen a los estudiantes a hacer el máximo uso de su propio potencial cognitivo.²⁶ En conexión con esto, Kintsch ha lanzado la idea de tutoría *desinteligente*:

"Un tutor no debería proporcionar la inteligencia para guiar el aprendizaje, no debería hacer la planificación y 'monitoreo' del progreso de los estudiantes, ya que esas son precisamente las actividades que los estudiantes deben desempeñar por sí mismos con el fin de aprender. Lo que el tutor debería hacer es proveer un apoyo temporal a los estudiantes que les permita desempeñarse a un nivel un poco más allá de sus actuales niveles de habilidades".²⁷

Es evidente que la noción propuesta por Vygotsky de las *zonas de*

desarrollo próximo subyace en esta perspectiva acerca de la naturaleza óptima de las intervenciones para apoyar procesos de aprendizaje constructivos.²⁸

De acuerdo con esta concepción cambiante del aprendizaje basado en computadoras,²⁹ hay un claro cambio hacia sistemas de apoyo que sean menos estructurados y menos directivos, que se centren más en el seguimiento que en la tutoría, que involucre herramientas controladas por el estudiante para la adquisición de conocimientos y que intentan integrar ambas, herramientas y estrategias de seguimiento, en ambientes de aprendizaje colaborativos.³⁰ Ejemplos exitosos de tales ambientes han sido ya desarrollados.³¹ En esos ambientes la *nueva tecnología de la información* no es ya solo un agregado, sino que está integrada en el sentido expresado en la sección anterior. Lo que es más, apunta a la evocación de procesos constructivos de adquisición, y hacen un amplio uso de la interacción del estudiante y del aprendizaje cooperativo.³² El trabajo de desarrollo e investigaciones relacionadas en tales ambientes, basado en el conocimiento disponible acumulado en el ámbito de la investigación sobre el aprendizaje y la instrucción, puede contribuir a realizar gradualmente las aspiraciones expresadas por Kolodner en su artículo editorial en el primer ejemplar del *Journal of the Learning Sciences*:

"Pero en vez de intentar utilizar las computadoras para resolver todos los problemas educacionales, necesitamos guías concretas sobre qué tipos de ambientes educacionales son efectivos, en qué tipo de situaciones, y basados en esas guías, necesitamos desarrollar más innovadores para usar las computadoras".³³

En la siguiente sección se presentarán ejemplos representativos de tales ambientes consistentes de aprendizaje basado en computadoras.

Ambientes de aprendizaje intencional apoyados por computadoras

La integración de computadoras en ambientes consistentes de aprendizaje involucra que éstos sean aplicados para proseguir y lograr objetivos educacionales meritorios. La investigación sobre el aprendizaje y la instrucción en los últimos diez a quince años ha contribuido a repensar objetivos de la educación. Como un resultado de esto, se hace en la actualidad un mayor hincapié en el dominio cognitivo; en comprensión, habilidades para la resolución de problemas, estrategias metacognitivas y en el *aprender a aprender* como contrario a la adquisición memorística de conocimientos y de habilidades de procedimientos de nivel bajo (*low-level procedural skills*).

El proyecto CSILE (Computer Supported Intentional Learning Environment) centra su atención en el fomento de actividades cognitivas de alto nivel en el estudiante, especialmente el aprender a aprender. En efecto, el término *aprendizaje intencional* se refiere a procesos cognitivos que tienen el aprendizaje como una meta.³⁴ La expresión *ambientes de aprendizaje intencional apoyado por computadoras* es utilizada por Scardamalia y otros como un término general y es definido de la siguiente manera:

"... ambientes que fomentan en vez de presuponer la habilidad de los estudiantes para ejercer control sobre su propio aprendizaje".³⁵

Antecedentes del CSILE: facilitación de procedimientos de escritura

CSILE surge de investigaciones hechas por Scardamalia, Bereiter y sus colaboradores a mediados de los años ochenta sobre el aprendizaje y la enseñanza de la escritura. Un punto de partida de su trabajo fueron los hallazgos que mostraban diferencias importantes entre escritores expertos y novicios. Los niños, quienes son considerados como novicios, usualmente comienzan a escribir inmediatamente lo que ellos saben acerca de un tema asignado (enfoque *knowledge telling* o el contar lo que saben). En contraste, los escritores experimentados invierten mucho más tiempo en la planificación y revisión de su texto; en consecuencia, ellos entran en un proceso de transformación de conocimiento, involucrando el establecimiento de objetivos y resolución de problemas además de generar el texto como tal.

Sobre las bases de un análisis detallado de las actividades de escritura de los expertos, Scardamalia, Bereiter y Steinbach desarrollaron un mecanismo, llamado *facilitación de procedimientos*, dirigido a fomentar actividades metacognitivas de los estudiantes durante la escritura.³⁶ El mecanismo consiste en proveer ayuda por medio de la computadora en la forma de sugerencias de planificación y revisión presentadas como oraciones abiertas (por ejemplo, "Un mejor argumento sería...") para guiar el proceso de escritura. Esto concuerda con la idea básica, adelantada en la sección precedente, de que el ambiente computacional debería presentar herramientas que estimulen a los estudiantes para explotar su propio potencial cognitivo. En términos vygotkianos,³⁷ uno puede decir que la facilitación de procedimientos actúa como un andamio en la *zona de desarrollo próximo* de los estudiantes, la cual se transformará progresivamente en desarrollo real a través de la internalización del procedimiento; como una consecuencia, los estudiantes llegan a ser más y más autónomos y

pueden tomar la responsabilidad por su propio aprendizaje. Scardamalia y otros³⁸ han demostrado que la aplicación de la facilitación de procedimientos tiene un impacto favorable en la planificación y reflexión durante la escritura y en la calidad de sus textos.

Principios del diseño y arquitectura del CSILE

Sobre las bases de este trabajo inicial de Scardamalia & Bereiter (1991-1992) han expandido y elaborado su sistema en un entorno de aprendizaje basado en computadoras más general, que no se centra en un tema en particular, pero que intenta penetrar y afectar el currículo en su totalidad. Hablando técnicamente, CSILE es un sistema interconectado de hipermedios que permite a los estudiantes construir su propia base de datos común, que consiste en material de texto y gráficos; todos los estudiantes tienen acceso a la base de datos, y ellos pueden comentar sobre los trabajos de cada uno de los demás. Esta última característica básica del sistema apunta a inducir la construcción colaborativa del conocimiento en la sala de clases. Los siguientes siete principios del diseño que subyacen a la versión más reciente del CSILE intentan precisamente facilitar el desarrollo de tal comunidad de construcción de conocimientos.³⁹

1. **Objetivación:** el sistema debería ayudar a los estudiantes a tratar el conocimiento como un objeto que puede ser discutido, criticado, cambiado, relacionado con otros conocimientos...

2. **Progreso:** la construcción de conocimiento dentro del sistema debería producir en un progreso perceptible para los estudiantes.

3. **Síntesis:** el sistema debería estimular y facilitar la integración de conocimientos así como también las representaciones de más alto orden (*higher-order*).

4. **Consecuencia:** el sistema debería asegurar que cada estudiante se informe acerca de los resultados de sus contribuciones (por ejemplo, uso de sus ideas, comentarios sobre sus observaciones).

5. **Contribución:** el sistema debería ayudar a los estudiantes a ver cómo ellos contribuyen al progreso del conocimiento del grupo.

6. **Fertilización cruzada:** el sistema debería maximizar oportunidades para descubrir informaciones relacionadas interesantes y útiles.

7. **Sociabilidad:** el sistema debería estar incorporado y ayudar a la integración de la vida intelectual y social de la clase.

Una arquitectura para CSILE se desarrolla para apoyar estos principios del diseño con miras a la facilitación de la construcción consciente y colaborativa del

conocimiento compartido en la sala de clases. Los cinco componentes principales de esta arquitectura de construcción de conocimiento son: la base de datos comunitaria, ambientes de construcción de conocimientos, espacios temáticos, herramientas y facilitación de procedimientos y operaciones de trasfondo (*background-operations*). Restricciones de espacio no permiten elaborar todos estos componentes en detalle, por lo cual, solo algunos puntos principales serán discutidos brevemente.⁴⁰

La base de datos comunitaria involucra todo el conocimiento ingresado al sistema en forma de anotaciones generadas por el usuario. Una característica principal de la nueva versión de CSILE se refiere a la diferenciación de la base de datos en dos dimensiones: 1) ambientes de construcción de conocimientos representando y promoviendo diversas operaciones de conocimiento (por ejemplo, el ambiente de *explicación* apoyando la búsqueda de explicaciones coherentes de hechos y las pruebas del poder explicativo de hipótesis; el ambiente del *cómo funciona* para identificar y ensayar mecanismos causales; el ambiente de *significado* apoyando la extracción de vocabulario de las anotaciones los estudiantes y la construcción de una red de términos en un espacio temático); 2) espacios temáticos representando diferentes temas y ámbitos sustantivos involucrados en la base de datos (por ejemplo, combustibles fósiles, tabaco y salud, cambios en Europa Central y del Este). Ambas dimensiones —ambientes para la construcción del conocimiento y espacios temáticos— deberían ser considerados como líneas transversales; por ejemplo, estudiantes que trabajan en el espacio “tabaco y salud” pueden desear averiguar por qué fumar causa a menudo tos y, por lo tanto, cambiar el ambiente no diferenciado *casa* al *cómo funciona*.

La facilitación de procedimientos, desarrollada originalmente para apoyar procesos de escritura de los estudiantes, es usada selectivamente en la última versión de CSILE, es decir, para estimular a los estudiantes a que produzcan anotaciones (notas) más interesantes que las que producen espontáneamente (por ejemplo, Mi hipótesis es distinta de la tuya. Yo pienso...) y apoyar el pensamiento de los estudiantes en forma más profunda y efectiva sobre el contenido de sus propias observaciones. Operaciones de trasfondo se ejecutan automáticamente sin intervención del estudiante; un ejemplo importante consiste en proporcionar a los estudiantes información sobre anotaciones relacionadas de interés a partir de una selección (*screening*) automática de la base de datos. Finalmente, menciono que existe también la intención de crear la posibilidad de importar en el sistema material de referencia desde otros medios tales como video, micromundos, CD-ROM, etcétera.

Resultados iniciales de la investigación

Mientras la última versión del CSILE se encuentra aún en desarrollo, algunos resultados prometedores han sido ya obtenidos con la versión inicial del sistema. En el trabajo con estudiantes de quinto y sexto año en el primer ensayo en la escuela, Scardamalia y otros observaron que:

*"los estudiantes usaron el sistema para elaborar modelos e hipótesis, para ahondar en textos difíciles, para buscar niveles más profundos de explicación, para elaborar confusiones y generalmente meterse en procesos que, se piensa, van más allá de su edad."*⁴¹

Un estudio más sistemático en dos clases de quinto y sexto grado⁴² muestra que niños en el ambiente CSILE pueden generar interrogantes educacionalmente productivos o de construcción de conocimiento, es decir, interrogantes valiosas para guiar más allá el aprendizaje en un tema, ya que su investigación involucra el potencial para avanzar substancialmente el conocimiento y comprensión propios. El ser capaz de formular este tipo de interrogantes —como opuestas a interrogantes basadas puramente en el texto— es considerado como una indicación que los niños pueden tomar control sobre y la responsabilidad por su propio aprendizaje. Con respecto a estos dos temas que difieren en términos del aumento del conocimiento previo de los niños —especies en peligro y combustibles fósiles—, un número significativo (46%) de preguntas de tipo construcción de conocimiento fueron generadas (por ejemplo, cuando un animal está en peligro de extinción ¿cómo hace para mantener su especie? o ¿afectan los combustibles fósiles de capa de ozono?).

El mismo estudio demostró cómo la construcción cooperativa de conocimientos es apoyada en el entorno CSILE. A este respecto, CSILE posibilita otra forma de cooperación a la del trabajo en grupos (pequeños) de cara a cara, es decir, una cooperación a través del comentario o utilizando información de anotaciones de otros estudiantes. A modo de ejemplo, un estudiante puede formular una pregunta relacionada con una observación de otro alumno, referirse a fuentes adicionales de datos, expresar un comentario crítico, etc. Existen observaciones informadas que indican que aun estudiantes menos aventajados pueden producir preguntas relevantes y comentarios útiles que conducen a un examen más completo, y, consecuentemente, a una comprensión más profunda del tema en estudio. Otros datos ilustran cómo estudiantes elaboran colaborativamente un tema (por ejemplo, combustibles fósiles) produciendo una red de gráficas que muestran los diferentes usos de combustibles en la cocina. El resultado involucra, por ejemplo, una gráfica relacionando el embalaje de alimentos acompañado del siguiente comentario:

"El envoltorio de este recipiente de salsa de ají es de plástico. El plástico viene del petróleo. El plástico causa mucha contaminación. Papel encerado es mucho mejor para el medio ambiente".⁴³

Similares resultados promisorios se han obtenido en otros proyectos que apuntan a la reestructuración total del ambiente de la sala de clases sobre la base de la misma concepción subyacente del aprendizaje; como una actividad constructiva y distribuida.⁴⁴ Un proyecto relacionado de la mayor importancia es el trabajo de Brown, Campione y sus colegas.⁴⁵ La integración de la tecnología en tales ambientes no es solo asistida con una alteración en la posición y la contribución del estudiante, sino que también son cambios fundamentales en cuanto al rol del profesor, quien en vez de ser la única fuente de información y tener el control total sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje, pasa a ser un miembro "privilegiado" de la comunidad de construcción de conocimiento, el que crea un clima intelectual estimulante en la clase, motiva actividades de aprendizaje y resolución de problemas, formula preguntas desafiantes, proporciona ayuda a los estudiantes por medio del seguimiento y andamiaje, y promueve el control y responsabilidad por parte del estudiante de su propio aprendizaje.⁴⁶ Esto no excluye el uso de la docencia directa, sino que ocurre más bien — como lo expresan Campione y otros — sobre una base de "la necesidad de saber o conocer".⁴⁷

Los conjeturadores geométricos: una herramienta para aprender y resolver problemas en matemáticas

El componente computacional del CSLE es un sistema hipermedios independiente de ámbitos, que puede ser utilizado como un medio educacional a lo largo del currículo. Pero, existe también una necesidad de herramientas en ámbitos específicos para el aprendizaje y resolución de problemas a los cuales los cuales pueden ser construidos ambientes instruccionales consistentes, orientados por los mismos principios básicos y guías. En este tanto, al presente no hay muchos esfuerzos en esta dirección, algunos casos han surgido de este fines de los años ochenta. Un buen ejemplo de tal herramienta son los *conjeturadores geométricos*, desarrollados por Schwartz y Yerushalmy.⁴⁸

Los conjeturadores geométricos (*geometric supposers*) son una serie de programas para computadora que crean un ambiente de aprendizaje consistente, en el cual los estudiantes llegaran a ser aprendices y exploradores de la geometría

euclidiana guiados por su profesor. Las ideas subyacentes son que el estudiante pueda hacer su propia matemática, y que la formulación y prueba de conjeturas constituyen las principales actividades del hacer matemáticas. Los conjeturadores evocan y facilitan tales actividades ofreciendo una herramienta para construir, manipular y explorar figuras geométricas.

Programas que cuentan con menús permiten a los estudiantes elegir una figura primitiva (por ejemplo, un triángulo) sobre la cual ellos pueden fácilmente hacer construcciones (por ejemplo, una mediana) proporcionando las especificaciones necesarias en lenguaje geométrico formal (por ejemplo, el vértice del cual la mediana debe ser dibujada). El programa también permite mediciones fáciles de un dibujo, así como de su grabación. Un aspecto importante de los conjeturadores es la opción "repetir": el programa tiene las construcciones realizadas en una figura como procedimientos, que pueden ser repetidos con posterioridad en otras figuras similares. La importancia de esta opción, aparte de liberar al estudiante del trabajo de hacer los dibujos, puede ser ilustrada por medio del siguiente ejemplo.⁴⁹ Después de observar que las tres medianas en un triángulo en particular se cruzan en un punto, el estudiante puede fácilmente verificar si esta es una característica típica de este triángulo, o si se mantiene para algunos o para todos los triángulos. Expresado en términos más generales, una característica básica de los conjeturadores es que hacen posible en forma expedita el explorar los efectos de construcciones propias a través de un conjunto de figuras equivalentes y, por ende, verificar conjeturas e hipótesis en torno a figuras geométricas sobre la base de grandes cantidades de información visual, y la búsqueda de constantes en construcciones geométricas. *Cabri Géométrie*, un programa desarrollado en Grenoble, Francia,⁵⁰ ofrece las mismas posibilidades, no obstante están implementadas de otra manera. La diferencia principal con los conjeturadores es que Cabri no tiene la opción "repetir": pero también permite la modificación expedita de figuras por medio de acciones de traslado en algunas partes de las figuras. Por ejemplo, la forma de un triángulo puede ser cambiada por medio del traslado de un vértice; todas las otras partes (los otros vértices, los lados, pero también las medianas...) se trasladarán simultáneamente y estarán en la posición correcta en el nuevo triángulo.

Varios estudios⁵¹ han ya mostrado que, cuando se utilizan en la forma concebida, los conjeturadores crean un ambiente de aprendizaje nuevo y consistente: las lecciones de geometría tradicional en las cuales los estudiantes absorbían pasivamente definiciones, proposiciones y teoremas desarrollados por otras personas, son transformados en exploraciones activas y colaborativas de figuras geométricas, resultando en la propuesta, prueba y comprobación de sus propias conjeturas. En concordancia con la idea básica de esta presentación, la actividad de los estudiantes es guiada por el profesor. Efectivamente, los

conjeturadores no se sostienen por sí solos, sino que son

*“...parte de un enfoque a la enseñanza de la geometría que es utilizada por profesores de la manera que ellos estimen les acomoda y que incluye problemas y proyectos para estudiantes. El trabajo de los estudiantes con el programa es una parte del curso, no la totalidad de éste. Por ende, tan importante o aún más importante que el programa mismo es como su uso es integrado en el curso y como los profesores hacen uso de las posibilidades que el programa ofrece”.*⁵²

El uso integrado apropiado de los conjeturadores presume un cambio radical en la concepción de las matemáticas en profesores y estudiantes —de algo que los estudiantes encuentran y observan a algo que ellos hacen e inventan—. ⁵³ Es más, es bastante exigente para ambos, profesores y estudiantes, requiriendo del profesor una planificación sustancial y un esfuerzo continuo y por parte del estudiante el asumir en gran medida la responsabilidad por su propio aprendizaje.

El enfoque instruccional utilizado por Yerushalmy y sus colegas es una forma de la así llamada *inquiry teaching*, lo que involucra que profesores creen y proporcionen problemas reales y estimulantes que evoquen actividades exploratorias y experiencias de indagación en estudiantes que trabajen a menudo en pares. ⁵⁴ El planteamiento de tales problemas no es una tarea fácil, ya que éstos deberían al mismo tiempo ser suficientemente claros para los estudiantes y dejar un espacio para la exploración y creatividad. En otras palabras, y en línea con la concepción de ambientes de aprendizaje consistentes apoyados por computadoras presentada anteriormente, en la proposición de problemas y también en la conducción de las exploraciones de los estudiantes uno debería encontrar un adecuado balance entre instrucción sistemática y aprendizaje por descubrimiento.

Las investigaciones referidas anteriormente, lo mismo que otros estudios, han mostrado también que los ambientes de aprendizaje de la geometría apoyados por conjeturadores dan resultados prometedores de aprendizaje en estudiantes de escuelas secundarias. Por ejemplo, al cabo de un experimento de enseñanza de un año, Yerushalmy encontró que 46 estudiantes de octavo grado que trabajaron con los Conjeturadores, superaron un grupo de comparación de 99 estudiantes en una prueba que medía el conocimiento de conceptos básicos de geometría. ⁵⁵ Al grupo de comparación se le enseñaron los mismos conceptos y temas durante la misma extensión de tiempo, pero en una forma convencional. Una diferencia principal entre ambos grupos radicaba en que el grupo experimental no exhibió algunas de las persistentes concepciones erróneas que son frecuentemente observadas, tales como el tener una imagen estereotipada de ciertos conceptos y figuras geométricas. En otro estudio,

Yerushalmy y Chazan⁵⁶ demostraron que el trabajo con los conjeturadores fomenta en estudiantes secundarios la flexibilidad visual; en efecto, estos parecen superar con mayor facilidad obstáculos visuales que ocurren frecuentemente en la interpretación de figuras y diagramas tales como la particularidad de diagramas y la incapacidad de percibir un diagrama en distintas formas o maneras. Un último hallazgo de importancia a mencionar fue reportado por Kaput: la experiencia con los conjeturadores influye sustancialmente en creencias y actitudes de los estudiantes hacia las matemáticas.⁵⁷

En suma, los conjeturadores —y también *Cabri Géométrie*— son excelentes, pero aún ejemplos muy raros de lo que Kaput ha llamado recientemente “la implementación de tecnología hacia objetivos reformados”.⁵⁸ Estos programas están muy de acuerdo con un número de guías para el diseño de buenos ambientes para el aprendizaje apoyados por computadoras discutidos anteriormente: éstos estimulan un aprendizaje activo orientado hacia habilidades cognitivas de más alto orden (*higher order*), en un contexto colaborativo y guiado por el profesor, y explotan en forma óptima el potencial interactivo de las computadoras, así como sus capacidades para presentar y manipular información gráfica y simbólica.

Resumen, conclusiones y perspectivas

Ni la tradicional instrucción asistida por computadoras, ni los sistemas tutoriales inteligentes han sido capaces de cumplir con las altas expectativas iniciales, que se elevaron a comienzos de los años ochenta, con respecto al potencial de las computadoras para mejorar sustancialmente la calidad y resultados del aprendizaje y la instrucción. Una revisión crítica de las aplicaciones con computadoras educacionales que subsisten, basada en los hallazgos de la investigación sobre medios y nuestra actual comprensión de la naturaleza de procesos de aprendizaje productivos, son muestra de que esto no es del todo sorprendente. Efectivamente, lo que subyace en la actualidad en muchos usos educacionales de las computadoras —no obstante, a menudo implícitamente— son las suposiciones equivocadas de que las computadoras por sí mismas evocarán un “buen” aprendizaje, así también como una concepción de aprendizaje vista como un proceso algo pasivo y altamente individual de absorción y acumulación de conocimiento.

Esto contrasta con las nuevas concepciones sobre el uso educacional productivo de computadoras que ha evolucionado a lo largo de los últimos años. Es decir, las computadoras deberían estar mejor incorporadas en el currículo e integradas en ambientes de enseñanza-aprendizaje consistentes, como

herramientas que evocan y apoyan en los estudiantes —en interacción y colaboración con el profesor, otros estudiantes y otros medios instruccionales— procesos activos de adquisición de conocimientos y construcción de significado. CSILE, un sistema de hipermedios independiente de ámbitos, utilizable a lo largo del currículo, y los conjeturadores geométricos, una serie de herramientas de ámbito-específico para el aprendizaje de la geometría, han sido ya discutidas como ejemplos de buenos programas (*software*) instruccionales que están en línea con esta nueva perspectiva de una computación educacional productiva.

Se pueden encontrar, además, otros ejemplos en la literatura reciente. En nuestro propio trabajo, por ejemplo, estamos desarrollando un nuevo ambiente de aprendizaje basado en Logo. En contraste con el enfoque por descubrimiento al aprendizaje de Logo en su forma original, éste tiene integradas herramientas que apoyan la adquisición de habilidades para la planificación, detección y corrección de errores, y contiene un seguimiento computacional —“a *computer coach*”— que provee comentarios y ayuda orientadora basados en el análisis de las actividades del estudiante. No obstante, los estudiantes permanecen en control y toman la responsabilidad por su propio aprendizaje; en efecto, el uso de las herramientas de apoyo y de seguimiento es opcional y ellas pueden ser retiradas gradualmente. A pesar de la disponibilidad de que una abundante ayuda ha sido ya incorporada, el sistema está pensando para funcionar en un ambiente mediado por un profesor. El uso de las herramientas y seguimiento da al profesor más oportunidades para la guía e intervención que se centren en evocar actividades de resolución de problemas y reflexivas en los estudiantes.⁵⁹

Aquellos ejemplos y prototipos de programas que representan las más recientes ideas de una buena computación educacional, fijan al mismo tiempo la tendencia a futuro de la investigación y desarrollo en la intersección de inteligencia artificial, ciencia cognitiva, tecnología educativa e investigación sobre aprendizaje e instrucción. Efectivamente, estamos sólo al comienzo de lo que puede llegar a ser una nueva era en computación educacional. La mayor elaboración y ensayo de principios basados en investigación para el diseño de ambientes de aprendizaje consistentes apoyados por computadoras, es una tarea desafiante y conjunta para académicos en los campos ya mencionados y practicantes-expertos interesados. Pero hay, además, una fuerte necesidad por una continua investigación orientada a la teoría, apuntando a una mejor comprensión y un análisis detallado de los procesos de aprendizaje constructivos que este nuevo tipo de ambientes de aprendizaje evoca en los estudiantes, de la naturaleza precisa del conocimiento, habilidades, actitudes y creencias que ellos adquieren, y de las dimensiones críticas (por ejemplo, el balance entre descubrimiento y exploración, por una parte, y guía y mediación, por la otra) que pueda explicar el poder y eficacia de estos entornos.

Finalmente, es obvio que la renovada visión del aprendizaje apoyada por la informática tiene implicaciones en las políticas respecto a la computación educacional. Sin tratar de ser exhaustivo, un primer tema se relaciona con una posible redistribución de recursos para la investigación y desarrollo, con el fin de estimular proyectos a lo largo de los lineamientos señalados con anterioridad. Una recomendación específica a este respecto es la promoción de los así llamados *experimentos de diseño*,²⁰ en los cuales los investigadores, en estrecha colaboración con practicantes, construyen y evalúan ambientes de enseñanza aprendizaje innovadores, y, al mismo tiempo, usan estos ambientes como "mesa de trabajo" (*work-bench*) para hacer investigación orientada a la teoría. Un segundo tema importante se refiere a la reconsideración de la formación de profesores previa y durante el servicio con respecto al uso instruccional de las computadoras. Los profesores no solamente llegan a familiarizarse con las concepciones cambiantes de la computación educacional, sino que ellos también deberían ser activamente formados en la aplicación de nuevas herramientas y programas (*software*) en su enseñanza. Una recomendación específica a este respecto consiste en incorporar, en programas de formación de maestros, aulas donde se lleven a cabo experimentos de diseño como contextos prototipo para el aprendizaje a través de la modelación y como puntos de partida para una ulterior implementación y diseminación de ambientes de aprendizaje consistentes apoyados por computadoras.

Resumen

El punto de partida de este artículo es la constatación de que las altas expectativas respecto al uso y aprovechamiento del recurso informático en educación no se han cumplido. El autor asume la postura de que la aplicación productiva de computadoras en estos procesos requiere que éstas estén integradas en ambientes de enseñanza-aprendizaje consistentes. El diseño y análisis de sistemas y programas adecuados al ámbito educativo obliga a volver la atención sobre la naturaleza de los procesos de aprendizaje.

Notas

¹¹ H. J. Becker: "How computers are used in United States schools: Basic data from the 1989 I.E.A. computers in education survey", en *Journal of Educational Computing Research*, n° 7, 1991, pp. 385-406.

²² *Ib.*, pp. 405-406.

³³ K. A. Kennedy, D. A. Lieberman: "Computers and learning: A review of recent research", en *Journal of Educational Computing Research*, n° 4, 1988, pp. 367-389.

- ⁴ K. A. Krendl y M. Broihier: "Student responses to computers: A longitudinal study", en *Journal of Educational Computing Research*, nº 8, 1992, pp. 215-227.
- ⁵ J. J. Kaput: "Technology and mathematics education", en D. A. Grouws (ed.): *Handbook of research on mathematics teaching and learning*, Macmillan, Nueva York, 1992, pp. 515-556.
- ⁶ L. Cuban: *Teachers and machines: The classroom use of technology since 1920*, Teachers College Press, Nueva York, 1986.
- ⁷ J. Lowyck y E. De Corte: "Research on media in Western Europe: A myth of Sisyphus", ponencia presentado al simposio "International perspectives on instructional technology research", en el encuentro anual de la American Educational Research Association, San Francisco, 1986; G. Salomon y H. Gardner: "The computer as educator: Lessons from television research", en *Educational Researcher*, vol. 1, nº 15, 1986, pp. 13-19.
- ⁸ Véase E. De Corte, M. C. Linn, H. Mandl y L. Verschaffel (eds.): *Computer-based learning environments and problem solving*, NATO ASI Series F-Computer and Systems Science, vol. 84, Springer-Verlag, Berlín, 1992.
- ⁹ Véanse también G. Salomon: "Effects with and of computers and the study of computer-based learning environments", en E. De Corte, M. C. Linn, H. Mandl y L. Verschaffel (eds.): *Computer-Based Learning Environments and problem solving*, NATO-ASI Series F: Computer and System Sciences, vol. 84, Springer-Verlag, Berlín, 1992, pp. 249-263; R. C. Schank y M. Y. Jona: "Empowering the student: New perspectives on the design of teaching systems", en *The Journal of the Learning Sciences*, nº 1, 1991, pp. 7-35.
- ¹⁰ Kaput: o. cit.
- ¹¹ Véanse E. De Corte, B. Greer y L. Verschaffel, "Mathematics", en R. Calfee y D. Berliner (eds.): *Handbook of educational psychology*, Macmillan, Nueva York, 1993; NCTM (National Council of Teachers of Mathematics): *Curriculum and evaluation standards for school mathematics*, Reston, National Council of Teachers of Mathematics, 1989.
- ¹² Becker: o. cit.
- ¹³ Véase, por ejemplo, V. Makrakis: *Computers in school education: The cases of Sweden and Greece*, Institute of International Education, University of Stockholm, Estocolmo, 1988.
- ¹⁴ S. Papert: *Mindstorms. Children, computers, and powerful ideas*, Basic Books, Nueva York, 1980.
- ¹⁵ R. Clark: "Reconsidering research on learning from media", en *Review of Educational Research*, nº 53, 1983, p. 445.
- ¹⁶ Véase también R. Clark: "Facilitating domain-general problem solving: Computers, cognitive processes and instruction", en De Corte, Linn, Mandl y Verschaffel (eds.): o. cit., pp. 265-285.
- ¹⁷ R. B. Kozma, "Learning with media", en *Review of Educational Research*, nº 61, 1991, pp. 179-211.
- ¹⁸ Para una visión general de esto, ver: P. Goodyear: *Teaching knowledge and intelligent tutoring*, Ablex, Norwood, 1991; D. Sleeman y J. S. Brown (eds.): *Intelligent tutoring systems*, Academic Press, Londres, 1982; E. Wenger: *Artificial intelligence and tutoring systems. Computational and cognitive approaches to the communication of knowledge*, Morgan Kaufmann Publishers, Los Altos, 1987.
- ¹⁹ Wenger: o. cit., p. 16.
- ²⁰ R. T. Putnam: "Structuring and adjusting content for students: A study of live and simulated tutoring of addition", en *American Educational Research Journal*, nº 24, 1987, pp. 13-48.
- ²¹ P. Cobb: "Constructivism", en T. Husen y T. N. Postlethwaite (eds.): *International Encyclopedia of Education*, 2ª ed., Oxford, Pergamon Press, 1993.
- ²² M. Scardamalia, C. Bereiter, R. S. McLean, J. Swallow y E. Woodruff: "Computer-supported intentional learning environments", en *Journal of Educational Computing Research*, nº 5, 1989, pp. 51-68.
- ²³ J. R. Anderson, C. F. Boyle y B. J. Reiser: "Intelligent tutoring systems", en *Science*, nº 228, 1985, pp. 456-462.

- ²⁴ Kaput: o. cit., p. 545.
- ²⁵ S. Papert: "An introduction to the 5th anniversary collection", en I. Harel (ed.): *Constructionist learning: A 5th Anniversary collection of papers*, MIT Media Laboratory, Cambridge, 1990.
- ²⁶ M. Scardamalia y C. Bereiter: "Higher levels of agency for children in knowledge building: A challenge for the design of new knowledge media", en *The Journal of the Learning Sciences*, nº 1, 1991, pp. 37-68.
- ²⁷ W. Kintsch: "A theory of discourse comprehension: Implications for a tutor for word algebra problems", en M. Carretero, M. Pope, R. J. Simons y J. I. Pozo (eds.): *Learning and instruction: European research in a international context*, t. 3, Pergamon Press, Oxford, 1991, p. 245.
- ²⁸ L. S. Vygotsky: *Mind in society. The development of higher psychological processes*, Harvard University Press, Cambridge, 1978.
- ²⁹ J. S. Brown: "Toward a new epistemology for learning", en C. Frasson y J. Gauthier (eds.): *Intelligent tutoring systems: At the crossroads of artificial intelligence and education*, Ablex, Norwood, 1990, pp. 266-282.
- ³⁰ Ver también Kaput: o. cit.
- ³¹ Ver, por ejemplo, De Corte, Linn, Mandl y Verschaffel (eds.): o. cit.
- ³² Para una discusión acerca de la investigación sobre el aprendizaje cooperativo con computadoras, ver Z. Mevarech y P. Light: "Cooperative learning with computers", en *Learning and Instruction*, nº 2 (número especial), 1992, pp. 155-285.
- ³³ J. L. Kolodner: "Editorial: The Journal of the Learning Sciences: Effecting changes in education", en *The Journal of the Learning Sciences*, nº 1, 1991, p. 2.
- ³⁴ C. Bereiter y M. Scardamalia: "Intentional learning as a goal of instruction", en L. B. Resnick (ed.): *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1989, pp. 361-392.
- ³⁵ Scardamalia, Bereiter, McLean, Swallow y Woodruff: art. cit., p. 52.
- ³⁶ M. Scardamalia, C. Bereiter y R. Steinbach: "Teachability of reflective processes in written composition", en *Cognitive Science*, nº 8, 1984, pp. 173-190.
- ³⁷ Vygotsky: o. cit.
- ³⁸ Scardamalia, Bereiter y Steinbach: art. cit.
- ³⁹ Para una discusión más detallada, véase M. Scardamalia y C. Bereiter: "An architecture for collaborative knowledge building", en E. De Corte, M. C. Linn, H. Mandl y L. Verschaffel (eds.): *Computer-based learning environments and problem solving*, NATO-ASI Series F: Computer and System Sciences, vol. 84., Springer-Verlag, Berlín, 1992, pp. 41-66.
- ⁴⁰ Véase ibidem, para información adicional.
- ⁴¹ Scardamalia, Bereiter, McLean, Swallow y Woodruff: art. cit., p. 65.
- ⁴² Scardamalia y Bereiter: art. cit.
- ⁴³ Ibidem, p. 65.
- ⁴⁴ Ver, por ejemplo, De Corte, Linn, Mandl y Verschaffel (eds.): o. cit.
- ⁴⁵ A. L. Brown, D. Ash, M. Rutherford, K. Nakagawa, A. Gordon y J. C. Campione: "Distributed expertise in the classroom", en G. Salomon (ed.): *Distributed cognitions* Cambridge University Press, Nueva York, 1993. J. C. Campione, A. L. Brown y M. Jay: "Computers in a community of learners", en E. De Corte, M. C. Linn, H. Mandl y L. Verschaffel (eds.): *Computer-based learning environments and problem solving*, NATO ASI Series F-Computer and Systems Science, vol. 84, Springer-Verlag, Berlín, 1992, pp. 163-188.
- ⁴⁶ Véase también Scardamalia y Bereiter: art. cit.
- ⁴⁷ Campione, Brown y Jay: art. cit.
- ⁴⁸ J. L. Schwartz y M. Yerushalmy: *The Geometric Supposers (Four software packages)*, Sunburst Communications, Pleasantville, 1985; J. L. Schwartz y M. Yerushalmy: "The Geometric Supposer: Using microcomputers to restore invention to the learning of mathematics", en D. N. Perkins, J. Lochhead y J. C. Bishop (eds.): *Thinking: The second international conference*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1987, pp. 525-536.

- ⁴⁹ M. Yerushalmy y D. Chazan: "Overcoming visual obstacles with the aid of the Supposer", en *Educational Studies in Mathematics*, nº 21, 1990, p. 205.
- ⁵⁰ Y. Baulac, F. Bellemain y J. M. Laborde: *Cabri Géométrie [Software]*, París, Cedic-Nathan, 1988.
- ⁵¹ M. Yerushalmy: "Enhancing acquisition of basic geometry concepts with the use of the Geometric Supposer", en *Journal of Educational Computing Research*, nº 7, 1991, pp. 407-420; Yerushalmy y Chazan: art. cit.
- ⁵² Yerushalmy y Chazan: art. cit., p. 206.
- ⁵³ Kaput: art. cit.
- ⁵⁴ M. Yerushalmy, D. Chazan y M. Gordon: "Mathematical problem posing: Implications for facilitating student inquiry in classrooms", en *Instructional Science*, nº 19, 1990, pp. 219-245.
- ⁵⁵ Yerushalmy: "Enhancing acquisition...", art. cit.
- ⁵⁶ Yerushalmy y Chazan: art. cit.
- ⁵⁷ J. Kaput: "The impact of the Supposer experience on students' beliefs about and attitudes towards mathematics", en J. Schwartz, M. Gordon y P. Butler (eds.): *The Supposer reader*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, 1993.
- ⁵⁸ Kaput: "Technology and...", art. cit., p. 548.
- ⁵⁹ E. De Corte, L. Verschaffel, H. Schrooten, H. Olivie y A. Vansina: "A Logo-based tool-kit and computer coach to support the development of general thinking skills", en T. M. Duffy, J. Lowyck y D. H. Jonassen (eds.): *Designing environments for constructive learning*, NATO ASI Series F: Computer and Systems Sciences, Springer-Verlag, Berlín, 1993.
- ⁶⁰ A. Collins: "Toward a design science of education", en E. Scanlon y T. O'Shea (eds.): *New directions in educational technology*, Springer-Verlag, Nueva York, 1992, pp. 15-22; véase también A. L. Brown: "Design experiments: Theoretical and methodological challenges in evaluating complex interventions in classroom settings", en *The Journal of the Learning Sciences*, nº 2, 1993.