

Réplica a la ponencia:

El sistema tutorial AgentGeom y su contribución a la mejora de las competencias de los alumnos en la resolución de problemas de matemáticas

María José González López
Universidad de Cantabria

Aportaciones de la ponencia

Los más de treinta años de andadura de la investigación sobre nuevas tecnologías en Educación Matemática han dado lugar a multitud de trabajos que progresivamente han identificado aspectos influyentes y han delimitado líneas de investigación prioritarias. El término e-learning, acuñado más recientemente, aglutina aquellos trabajos que tienen como ingrediente principal la comunicación no presencial, normalmente vía web, y que se ocupan de analizar el modo en que las nuevas interfaces producen nuevas formas de comunicación y, en consecuencia, cambian nuestras prácticas y nuestros modos de aprender.

En este contexto general, el trabajo de Cobo & Fortuny se sitúa en la confluencia de tres ejes de plena actualidad desde el punto de vista de la investigación en Educación Matemática y de la práctica docente:

- la enseñanza y el aprendizaje con recursos informáticos mediante sistemas interactivos cuyo uso requiere la tutorización combinada humana-artificial,
- la atención a la diversidad, entendida como diversidad de niveles cognitivos o diversidad de asistencia presencial,
- el desarrollo de habilidades estratégicas y argumentativas asociadas a la resolución de problemas, en un modelo de currículo basado en competencias.

El objetivo explícito del trabajo de Cobo & Fortuny tiene dos vertientes:

- Diseñar un material multimedia, el sistema tutorial inteligente *AgentGeom*, que interactúe con los alumnos simulando una comunicación espontánea y que coopere con él en la resolución de tareas matemáticas.
- Evaluar el modo en que este material influye en el desarrollo de habilidades estratégicas y argumentativas en los alumnos ante la resolución de problemas.

Este propósito de diseño y evaluación de una herramienta multimedia para el aprendizaje ha llevado a los autores a desarrollar –no sólo en la ponencia que nos ocupa, sino también en numerosos trabajos relacionados con la misma- una amplia fundamentación propia original sobre el uso de estas herramientas a nivel epistemológico y cognitivo. Utilizaré estos dos dominios para enmarcar con más detalle el trabajo y situar sus aportaciones.

Desde el punto de vista *epistemológico*, una vez superadas las primeras fases de consideración de la tecnología como potenciador de la eficacia (complemento) y como profesor electrónico (sustituto), surgió la idea de la tecnología como mediadora entre el sujeto y el conocimiento, postura que ha pervivido con fuerza durante la década de los 90 (Noss & Hoyles, 1996). Pero más recientemente se viene elaborando la idea de evitar una separación artificial entre el ser humano y sus ‘tecnologías’, según la cual hemos de romper nuestra forma de pensar en la tecnología como algo externo. En esta línea de pensamiento se considera que la tecnología forma parte esencial de las prácticas humanas y las define, de modo que condiciona tanto el contenido como las formas de conocer. El binomio ‘humano-tecnología’ es inseparable (Borba y Villareal, 2005). Cualquier interpretación del llegar a conocer o del conocimiento se sustenta en procesos de interacción que forman parte esencial de las prácticas y, por ello, también están influidos por la tecnología (Levy, 93). Las preguntas de investigación interesantes desde este punto de vista están orientadas a identificar aquellos elementos del diseño de entornos de aprendizaje que condicionan las interacciones y, en consecuencia, a caracterizar la reorganización que sufren las prácticas realizadas en dichos entornos. El trabajo de Cobo & Fortuny concreta respuestas en esta línea. En efecto, se desvincula explícitamente del paradigma que considera a la tecnología como mediadora entre los seres humanos y los objetivos de las actividades que llevan a cabo y asume la existencia de distintos agentes cognitivos en un mismo entorno de aprendizaje compartiendo sus formas de conocer. No busca analizar el modo en que el alumno accede a un tipo de conocimiento más o menos objetivo implementado en un sistema, sino que el foco de atención son las interrelaciones posibles entre dos ‘agentes cognitivos’ poseedores de distintos conocimientos que evolucionan conjuntamente dependiendo de las relaciones que establezcan entre ellos. Obviamente ninguno de los dos agentes son hojas en blanco: el alumno llega al escenario con un determinado bagaje de conocimiento y de formas de interactuar; el agente virtual se diseña de forma que sus modos de comunicación produzcan interacciones valiosas. Enmarcado en estos supuestos, el trabajo de Cobo & Fortuny:

- identifica un conjunto de cualidades que ha de tener el sistema AgentGeom para cumplir con su cometido de interactuar simulando una acción tutorial humana,
- selecciona dos modelos de interacciones, los adapta a un medio escrito, a través de distintos sistemas de mensajes, y los implementa utilizando como base la resolución de tareas matemáticas (espacio básico de la acción tutorial humana, asociado al espacio básico de cada problema)
- desarrolla un modelo para analizar las interacciones que finalmente se producen entre los alumnos y el sistema.

Desde el punto de vista *cognitivo*, en coherencia con el planteamiento epistemológico, se considera el aprendizaje como una propiedad emergente de la realización de prácticas que se realizan en contexto y que están definidas por las interacciones sociales. Se asume que el potencial de los individuos para desarrollar su conocimiento aumenta cuando se relacionan con otros en tareas colaborativas. Los contextos de resolución de problemas de matemáticas se adaptan especialmente bien a este tipo de intercambio. El lenguaje se constituye en centro de atención, al reconocerse la relación entre las construcciones lingüísticas y las cognitivas. En distintos trabajos (Cobo, 98; Cobo & Fortuny, 2000), los autores han introducido elementos de análisis del discurso para investigar esta relación, que coloca al *debate social* en el centro de atención. El hecho de concebir al AgentGeom como un agente cognitivo más da sentido a la consideración de este marco para interpretar también las interacciones humano-máquina. Y dado que las interrelaciones se analizan teniendo en cuenta el contexto en el que se produce la comunicación y las características sociales e individuales de los interlocutores, cabe

identificar aquellos aspectos específicos al caso en que uno de dichos interlocutores es virtual. El trabajo que nos ocupa:

- adapta los resultados de interacciones presenciales al contexto humano-virtual, con el fin de diseñar el AgentGeom de modo que reproduzca un comportamiento humano competente,
- identifica las características distintivas que hay que controlar en un escenario en el que uno de los interlocutores es virtual y que han de tenerse en cuenta al diseñar el agente virtual (control semiótico, situacional y cognitivo).
- valora los cambios contextuales y de aprendizaje que produce el hecho de estar ante un *debate social simulado* (implicación del alumno como actor principal, aumento del valor comunicativo del lenguaje escrito),
- describe cómo la interacción producida hace que un alumno se apropie de habilidades estratégicas y argumentativas (concebir la idea de demostración, asumir reglas de representación, de razonamiento y de validación).

Idea central de la ponencia

La ponencia realiza una contribución bien fundamentada al problema del diseño y evaluación de entornos de aprendizaje interactivos basados en la tutorización virtual y orientados al desarrollo de competencias matemáticas. Muestra el modo en que un alumno que desarrolla prácticas en un se apropia de habilidades estratégicas y argumentativas en uno de dichos entornos.

Tres ideas fuertes

- Estructurar situaciones complejas de enseñanza/aprendizaje *integrando de forma inseparable, en un mismo marco*, componentes que tradicionalmente se han concebido como distintas en la investigación sobre nuevas tecnologías (conocimiento, modelo pedagógico, estudiante).
- Concretar en un Sistema Tutorial Inteligente y a través de prácticas reales distintos planteamientos teóricos (modelos de interacciones entre agentes cognitivos, desarrollo de conocimiento vinculado a las prácticas) y adaptar dichos modelos a situaciones matemáticas.
- Abordar la problemática de la gestión del conocimiento vinculado a competencias matemáticas en entornos de e-learning.

Tres ideas débiles

- El trabajo sólo contempla de forma colateral el papel del profesor en este tipo de entornos. Se le atribuye el papel de diseñador de las actividades que han de ser implementadas en el sistema, pero esta tarea dista mucho de la correspondiente en entornos de tutorización presencial.
- La ponencia reconoce la importancia del contexto en el desarrollo de conocimiento, pero su forma de describir el contexto en el que el alumno se apropia de ciertas competencias sólo hace mención a los factores relacionados con el Sistema AgentGeom, omitiendo otra serie de factores contextuales que pueden haber sido determinantes.
- Aunque se argumenta la bondad del Sistema Tutorial Inteligente para atender a la diversidad, no parece que el planteamiento realizado incorpore un análisis profundo de cómo se han de gestionar en el sistema las adaptaciones necesarias.

Cuestiones específicas de educación matemática a debatir

La ponencia de Cobo & Fortuny muestra una profunda reflexión y un importante avance en una línea de investigación de plena actualidad en Educación Matemática. Sus resultados, difundidos a través de prestigiosas revistas y foros de investigación, están fuera de toda duda. En mi tarea de replicar esta ponencia continuaré presentando algunas reflexiones y cuestiones no resueltas en ámbitos relacionados con este tema de trabajo.

1. Sobre los ‘conocimientos de referencia’

Hace ya más de diez años, Balacheff (1994) ponía de manifiesto que el diseño de entornos informáticos para el aprendizaje de las matemáticas tenía que ocuparse de los problemas que surgen al llevar a cabo una *representación computacional del conocimiento* en soportes informáticos. Partiendo de la existencia de un conocimiento de referencia objetivo –matemático–, había que determinar las transformaciones que éste sufría al implementarse en un soporte concreto y caracterizar así el ‘dominio de validez epistemológica’ de dicho soporte. Ante un Sistema Tutorial Inteligente como el AgentGeom, el término ‘conocimiento’ se amplía para incluir también modos de razonamiento ante la resolución de problemas... aspectos relacionados con las concepciones, el saber y el saber-hacer tácitos, que son considerados conocimiento emergente de las prácticas.

Podemos considerar que este nuevo dominio de conocimiento de referencia *ampliado* se estructura a través de la idea de ‘competencia matemática’. Este dominio ha sido contemplado de diversas formas en la concepción y en el desarrollo del AgentGeom. En consecuencia, es coherente concebir que las interacciones con este sistema desarrollen conocimiento en términos de ‘competencias matemáticas’.

Este planteamiento parece asumir que hay un paralelismo entre el ‘conocimiento matemático’ de referencia y cualquier ‘otro tipo de conocimiento’ necesario para resolver con éxito tareas matemáticas a la hora de ser tratados en un soporte computacional, aunque cada uno con su especificidad. La fundamentación realizada no tiene fisuras a ese respecto.

Pero, mientras en nuestros currículos la identificación del conocimiento matemático de referencia puede considerarse consensuada dentro de la comunidad de profesionales relacionados con la educación matemática, no parece que ocurra lo mismo con otros tipos de conocimiento (competencias) emergentes de prácticas no universalizadas, subjetivas, valoradas sólo en un ámbito que puede ser tan local como el aula. Nuestros currículos recientes –todavía impermeables a la idea de las competencias y reconociendo sólo tímidamente determinadas prácticas genéricas relacionadas con la resolución de problemas– no parecen tener referentes claros y consensuados sobre cuáles son las competencias a desarrollar, en qué grado, en qué momento y qué prácticas pueden asumirse como referente curricular común para desarrollar ciertas competencias... La investigación en Educación Matemática está actualmente en la búsqueda de respuestas sobre estas cuestiones.

Algunas cuestiones concretas son:

Las competencias matemáticas consideradas en el trabajo de Cobo & Fortuny (la resolución de situaciones-problema, el desarrollo del razonamiento matemático o la utilización del lenguaje matemático) ¿qué referentes objetivos tienen sobre lo que significa su desarrollo y consecución? ¿son comparables a los referentes de las destrezas matemáticas contempladas en el currículo? ¿cómo se valida la bondad de las prácticas realizadas con AgentGeom de las cuales emergen las competencias? ¿Qué comparten con otras prácticas que pretendan los mismos fines? ¿En qué hubiera sido distinto el desarrollo de estas competencias en un entorno presencial con el mismo tipo de tareas matemáticas?

2. Sobre la descontextualización de los aprendizajes

Hemos asumido en las secciones anteriores que los alumnos construyen el conocimiento en contexto, vinculado a las prácticas que realizan, que desarrollan un conocimiento útil a ese contexto, esté o no

en consonancia con algún conocimiento de referencia. Pero la progresión de un alumno en el sistema educativo ha de garantizar una cierta ‘descontextualización’ de los aprendizajes, donde este término significará ahora ‘contextualización según prácticas estandarizadas’. Por ejemplo, son numerosas las investigaciones que muestran cómo, ante el uso de Cabri-Géomètre, los alumnos desarrollan un conocimiento estratégico y un lenguaje vinculados al modo arrastre que no se transfiere al contexto estático de lápiz y papel... aunque posiblemente sea este último entorno el considerado habitual en el aprendizaje de la geometría en nuestro sistema educativo.

En la ponencia de Cobo & Fortuny se muestra el modo en que un alumno se apropia de habilidades estratégicas y argumentativas gracias a la interacción con el AgentGeom. Este sistema tiene implementada una forma de validación de las acciones del alumno que ‘obligan’ a éste a seguir unas normas precisas para comunicarse con él, para validar una secuencia de afirmaciones, etc. Cabe pensar que un alumno aprenda fácilmente a satisfacer las restricciones impuestas por el sistema y acabe teniendo éxito en sus estrategias de resolución de problemas con el AgentGeom, pero que después no reproduzca esta forma de proceder en otras situaciones en las que las normas de comunicación sean distintas (al fin y al cabo, las formas de interactuar con el sistema también están formando parte inseparable del conocimiento). También ocurre que la propia forma de interactuar con el sistema –en su faceta de tutor virtual- es la que moviliza conocimientos en el alumno para que éste acabe realizando una aportación temática u otros tipos de acciones. Pero una expectativa última es que el alumno sea capaz de reproducir sus estrategias en situaciones en las que tenga otro tipo de tutorización o incluso sin ninguna tutorización.

Algunas cuestiones son:

¿A qué contextos se considera que puede extenderse la apropiación de competencias conseguida con AgentGeom? En el proceso de apropiación de competencias, a parte de la interacción con el AgentGeom, ¿se ha considerado explícitamente la intervención de otros elementos no virtuales? El hecho de que el agente haya sido virtual, ¿qué inconvenientes y qué ventajas tiene a los efectos de la descontextualización?

3. Sobre la ‘instrumentación’ de los recursos

La literatura recoge una abundante colección de fenómenos nuevos que surgen en contextos computacionales y cuyo control parece exigir una adaptación del alumno a los entornos tecnificados. Es significativo el desarrollo reciente de la *teoría de la instrumentación* (Guin et al, 2004) según la cual al introducir tecnología se produce un proceso de ‘génesis instrumental’ por el cual un recurso se transforma en un ‘instrumento’, es decir, en un útil que permite al usuario realizar con éxito un determinado tipo de tareas y controlar su actividad. Según este marco, para que el alumno saque provecho de un recurso es necesario que desarrolle un conocimiento genuino, vinculado al recurso, que le permita hacer uso del potencial didáctico que dicho recurso teóricamente posee y que requiere de instrucción específica.

El AgentGeom está concebido para adaptarse al alumno (y no al revés), evoluciona en función de las necesidades del alumno. Pero también podemos observar la existencia de algunos elementos asociados al sistema tales que si el alumno los conoce y los gestiona convenientemente pueden modificar (optimizar) su trayectoria en el proceso de resolución de los problemas. A lo largo de la ponencia, sus autores mencionan algunas conductas del alumno investigado que muestran su desconocimiento de este tipo de conocimiento: comienza usando el área deductiva, no realiza una interpretación correcta del hecho de recibir un mensaje (aunque sí del contenido del mensaje), no atiende a la segunda sugerencia que le hace el agente tutor... En otros momentos se indica que ‘*ha sabido comprender las ventajas del sistema y se ha aprovechado de ellas*’. Se reconoce la necesidad de que entre los alumnos y el AgentGeom se produzca un periodo de adaptación mutua para que acaben comprendiendo sus procesos comunicativos.

Algunas cuestiones son:

¿Qué capacidades específicas, si las hay, son necesarias para conseguir un manejo eficiente del sistema? ¿qué prácticas conducen a su desarrollo? ¿cómo interfiere este aprendizaje con el de las competencias estratégicas y argumentativas que se pretende? ¿lo potencia? ¿lo dificulta? ¿es posible fracasar en el desarrollo de estas competencias por el desconocimiento de las otras?

4. Sobre la idea de demostración

Marrades y Gutiérrez (2000) utilizan el término *justificación* para referirse a las razones dadas para convencer a otros de la validez de una proposición, y el término *demostración* para nombrar a la demostración matemática formal, es decir, la secuencia lógica que satisface los requisitos matemáticos de abstracción, rigor y lenguaje. Ante un sistema como AgentGeom aparecen significados específicos sobre estos procesos ya que el sistema incorpora criterios de validación propios que, en este caso, responden a planteamientos de tipo social:

- Para que una sentencia sea válida es necesario que el sistema la tenga incorporada en su lista de sentencias para una estrategia,
- Para que una argumentación (encadenamiento de sentencias) sea válida es necesario que contenga un determinado porcentaje de sentencias válidas.

El alumno-usuario no tiene porqué conocer explícitamente los mecanismos de validación que usa el sistema. Aun conociéndolos, no cabe esperar que distinga entre una validación ‘social’ como la que incorpora el AgentGeom y una validación ‘formal’ –por ejemplo, las basadas en demostración automática de teoremas geométricos que incorporan otros sistemas (Botana & Valcarce, 2001)-. Pero lo destacable es que esperamos que el alumno se apropie de la idea de demostración formal.

Algunas cuestiones son:

¿Influye el tipo de validación interna del sistema en el tipo de concepción/apropiación sobre la idea de demostración que desarrollan los alumnos? ¿en qué aspectos? A parte de percibir que la demostración formal exige el respeto a unas reglas y un lenguaje, hay otros aspectos implicados en el desarrollo de la competencia de ‘razonamiento matemático’. Según Niss (2003) esta competencia involucra percibir lo que no es una demostración, conocer otros tipos de razonamiento... ¿pueden algunos de estos aspectos ser desarrollados usando el sistema? ¿cuáles serían las actividades y cuál el contenido de los mensajes? De las distintas funciones atribuidas a la demostración en el ámbito de la educación matemática (verificar o justificar la corrección de una propiedad, explicar por qué una propiedad es cierta, sistematizar los resultados obtenidos en un sistema axiomático deductivo, descubrir nuevas propiedades o comunicar conocimiento matemático (De Villiers, 1993)) ¿cuáles prevalecen si se lleva a cabo una instrucción con AgentGeom?

5. Sobre el papel del profesor

El sistema AgentGeom también está concebido como herramienta didáctica para el profesor. Sus características permiten a este introducir problemas adaptados al nivel de los alumnos, modificar los mensajes, cambiar los parámetros que deciden si una estrategia de un alumno es válida o no... En cada una de estas acciones podemos reconocer tareas profesionales clásicas para el profesor, pero ahora se ven condicionadas por algunos elementos nuevos.

En efecto, el sistema AgentGeom está diseñado según modelos de interacción que condicionan la naturaleza y el contenido de los mensajes que devuelve; dichos mensajes deben mantener la coherencia con el espacio básico de cada problema,... parece necesario que el profesor, antes de aventurarse a modificar un mensaje, conozca exactamente qué alteración de qué estrategia está introduciendo y cuáles son sus consecuencias. Mientras en una interacción presencial el profesor no hace necesariamente explícitos a priori los contenidos de sus mensajes ni sus criterios específicos de validación de una estrategia basada en la interacción, ahora está obligado a realizar un diseño técnico

de la interacción a priori y a implementarlo por escrito (el sistema se encargará después de simular un comportamiento espontáneo).

Este planteamiento abre un amplio abanico de preguntas sobre el papel del profesor, su conocimiento, su formación,...

Algunas cuestiones concretas que cabe realizar son las siguientes:

¿Es realista proponer que el profesor lleve a cabo todo ese análisis a priori de tareas/interacciones o son sólo los diseñadores del sistema los que –tomando como referencia los modelos de interacciones, el espacio básico de cada problema, el espacio básico de la acción tutorial humana, etc- tienen garantías de implementar mensajes adecuados? Caso de que el sistema se use en un entorno presencial, ¿se ha considerado algún modelo de interacciones que combine las acciones tutoriales virtuales y las presenciales que deba ser conocido y respetado por el profesor?

Referencias

- Balacheff N. (1994). *Didactique et intelligence artificielle*. En N. Balacheff et Vivet M. (Eds.): *Didactique et intelligence artificielle. La pensée sauvage*, pp. 9-42.
- Borba M., Villareal M. (2005). *Humans-with-Media and the Reorganization of Mathematical Thinking*. Springer: Mathematics Education Library, Vol. 39.
- Botana F., Valcarce J. L. (2001). *Cooperation between a dynamic geometry environment and a computer algebra system for geometric discovery*. En V.G. Ganzha, E.W. Mayr, E.V. Vorozhtsov: *Proceedings of the Computer Algebra in Scientific Computing Conference*. Konstanz (Germany), pp. 63-74. Berlin: Springer Verlag.
- Cobo, P. (1998). *Análisis de los procesos cognitivos y de las interacciones sociales entre alumnos (16-17) en la resolución de problemas que comparan áreas de superficies planas. Un estudio de casos*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Cobo, P. y Fortuny, J. M. (2000). *Social interactions and cognitive effects in contexts of area-comparison problem solving*. *Educational Studies in Mathematics*, 42, pp. 115-140.
- De Villiers M. (1993). *El papel y la función de la demostración en matemáticas*. Épsilon n. 26, pp. 15-30.
- Guin, D., Ruthven, K. and Trouche, L. (eds.) (2004). *The didactical challenge of symbolic calculators: turning a computational device into a mathematical instrument*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Levy P. (1993). *As tecnologias da inteligênciã: o futuro do pensamento na era da informática*. Rio de Janeiro : Ed34, 1993.
- Marrades, R.; Gutiérrez, A. (2000). *Proofs produced by secondary school students learning geometry in a dynamic computer environment*. *Educational Studies in Mathematics* 44.1/2, pp. 87-125.
- Niss, M. (2003). *Mathematical Competencies and the Learning of Mathematics: The Danish KOM Project*. In: A. Gagatsis & S. Papastavridis (Eds.). *3rd Mediterranean Conference On Mathematical Education*. Athens - Hellas 3-4-5 January 2003. Athens: The Hellenic Mathematical Society, 115-124.
- Noss R., Hoyles C. (1996). *Windows on mathematical meanings. Learning cultures and computers*.

Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.