Inferencias y preguntas en la comprensión de textos científicos

Arthur C. Graesser
Brent Olde
Victoria Pomeroy
Shannon Whitten
Shulan Lu
Scotty Craig

Como indica el título, el propósito de este artículo es discutir el papel de las inferencias y las preguntas cuando se intenta comprender un texto científico. Si el texto científico es comprendido, el lector debería ser capaz de generar inferencias a un nivel más profundo de representación, es decir, en el nivel de los mecanismos causales. Dichas inferencias se refieren tanto a los antecedentes causales de los hechos y procesos, como a sus consecuencias. El que comprende debería ser capaz de preguntar y responder preguntas sobre estos mecanismos. Estas preguntas se refieren al por qué (¿por qué ha sucedido el hecho E?), al cómo (¿cómo ocurre el proceso P?) y a lo que sucedería si eso no fuera así (¿qué pasaría si el estado S no existiera?). La comprensión de los textos científicos sería mucho más adecuada si los lectores fueran capaces de generar estas inferencias y preguntas, y fuesen capaces de responder a las mismas.

La comprensión de un texto científico implica ser capaz de generar inferencias en un nivel profundo de representación.

Desgraciadamente, la generación de inferencias, preguntas y respuestas durante la comprensión de los textos científicos se

convierte en un reto para niños y adultos. ¿Por qué? Una razón es que no tienen conocimientos abundantes sobre los mecanismos científicos subyacentes en los textos científicos. De hecho, el propósito de la escritura de un texto científico es informar al lector sobre mecanismos que no son familiares para él, como sucede también en la mayoría de los textos expositivos. Los lectores pueden generar muchos tipos de inferencias cuando tienen conocimientos amplios sobre el tema del que trata el texto, como sucede en la mayoría de los textos narrativos (Graesser, Singer, y Trabasso, 1994; Zwaan y Radvansky, 1998), pero se generan claramente menos inferencias en los textos científicos y otras formas de textos expositivos sobre temas no familiares para el lector (Cote, Goldman, y Saul, 1998; Goldman, Saul, y Cote, 1995; Graesser y Bertus, 1998; Millis y Graesser, 1994; Noordman, Vonk, y Kempff, 1992; Singer, Harkness, y Stewart, 1997).

Una segunda razón por la que las inferencias y las preguntas son tan difíciles de construir durante la lectura de textos científicos es que los estudiantes no están adiestrados para hacerlo. Hay muy pocos programas de lectura para niños que entrenen sistemáticamente en las habilidades necesarias para generar inferencias y preguntas de calidad durante la comprensión. Por tanto, no es sorprendente que tanto niños como adultos sean poco eficaces en esta tarea. Como la mayoría de los maestros y profesores están satisfechos si los estudiantes realizan inferencias y preguntas superficiales (Dillon, 1988; Graesser y Person, 1994) esto se ha convertido en lo normal. Cuando se entrena a los estudiantes en cómo preguntar y responder preguntas de calidad durante la comprensión (por ejemplo, aquellas que requieren inferencias y explicaciones profundas), se producen mejoras llamativas en la comprensión lectora (Beck, McKeown, Hamilton, y Kugan, 1997; King, 1994; Palincsar y Brown, 1984).

Una tercera explicación de por qué la generación de inferencias y preguntas constituye un reto en los textos científicos es que la mayoría de los lectores no son capaces de evaluar apropiadamente su habilidad para comprender el material (Glenberg, Wilkinson, y Epstein, 1982; Hacker, Dunlosky, y Graesser, 1998; Miyake y Norman, 1979; Otero y Campanario, 1990; Otero y Kintsch, 1992). No saben qué no saben, y no pueden detectar contradicciones. Incluso puede producirse una ilusión de comprensión cuando el lector tiene una gran cantidad de conocimiento sobre la materia; el texto coincide con lo que el lector sabe, así que no se molesta en procesarlo en profundidad (Kintsch, 1998; Otero, 1998). El lector puede necesitar que se cuestione algo de su conocimiento para que se preocupe de procesar el texto a un nivel más profundo. Cuando los estudiantes se sientan a leer un texto científico sin un propósito en particular, aparte de estudiarlo, lo normal es que adquieran conocimiento *inerte* (Cognition y Technology Group, 1997; Scardamalia y Bereiter, 1985). El conocimiento inerte consiste en

datos y contenidos explícitos que no son fácilmente accesibles en tareas de solución de problemas y aplicaciones prácticas.

El resto de este artículo está dividido en tres partes. La primera bosqueja las habilidades cognitivas necesarias para la alfabetización cognitiva en la moderna era de la informática. En los entornos de aprendizaje del futuro, la comprensión de textos científicos estará integrada en la práctica, con gran accesibilidad a los soportes multimedia y a la "web". La segunda parte trata sobre las representaciones cognitivas que se construyen durante la comprensión profunda, así como los mecanismos de generación de preguntas. Como avance, diremos que nuestra hipótesis es que la comprensión profunda se pone de manifiesto en las preguntas que realiza una persona cuando se enfrenta a una situación problemática (por ejemplo, un aparato que no funciona, un obstáculo que impide alcanzar un objetivo). La tercera parte trata sobre un estudio que llevamos a cabo sobre la comprensión de textos ilustrados que se refieren a aparatos cotidianos. Estos textos ilustrados contienen información sobre mecánica, electrónica, y otros contenidos científicos.

La alfabetización científica en la era de la electrónica

Hace veinte años, la alfabetización científica se adquiría leyendo libros de textos, escuchando conferencias, haciendo pruebas objetivas, llevando a cabo experimentos de laboratorio "enlatados", y escribiendo informes de laboratorio sobre estos experimentos enlatados. Todas estas actividades se siguen llevando a cabo hoy en día. Sin embargo, hay otras actividades que se han desarrollado con el auge del uso de los ordenadores, los multimedia y la web. La alfabetización científica en la era de la informática requerirá idealmente el uso y coordinación de múltiples fuentes de información dentro de entornos complejos de aprendizaje. En estas fuentes se incluyen hipertextos, dispositivos gráficos complejos, tablas de datos que pueden explorarse desde múltiples puntos de vista, imágenes fotográficas, mundos 3-D en realidad virtual, simulaciones animadas de mecanismos, agentes pedagógicos animados, y la lista podría continuar.

El rico ambiente multimedia está claramente "ahí fuera", pero la mayoría de los usuarios solamente rascan la superficie de lo que los multimedia pueden ofrecer (Chen y Rada, 1996; Dillon y Gabbard, 1998; Schneiderman, 1998). Tanto los científicos como el público en general necesitan alfabetización sobre el uso estratégico de los multimedia electrónicos. De acuerdo con estimaciones actuales, hay 150 millones de usuarios de la red en todo el mundo. Pero la mayoría de la gente navega por la red torpemente y se centra en usos limitados y especializados, más que en usos estratégicos y flexibles que optimicen lo que la red puede ofrecer.

¿Cómo podrían usarse los recursos electrónicos en un mundo ideal? Consideremos el mundo de Niki, una chica norteamericana. Ella descubre un día que su lavaplatos está roto. Intenta lavar los platos cuatro veces, pero en todos los casos el detergente se deposita en varios platos. Niki observa su lavaplatos durante algunos minutos y entonces va al ordenador. Averigua sobre el funcionamiento de los lavaplatos en un CD-ROM de Macaulay, *El modo en que funcionan las cosas*, (1988). Después de explorar algunos de los componentes y contemplar una animación del ciclo del lavaplatos, Niki llega a la conclusión de que una bomba está rota. Niki se plantea en principio arreglar ella misma la bomba, pero luego le preocupa que una bomba que no funcione correctamente tenga serias consecuencias para la salud. Lee sobre los componentes químicos del detergente para lavaplatos, que incluye carbonato de sodio, silicato de sodio y blanqueante de cloro. Niki entonces busca en Internet una definición de estas sustancias químicas y sus efectos colaterales. A Niki le preocupa que alguna de estas sustancias pueda agravar su asma, así que también busca en Internet información sobre el asma. Niki llega a la conclusión de que uno de los componentes puede potenciar su asma, así que decide que mejor reemplaza la bomba. Llegados a este punto, usa la red para buscar información sobre los componentes y productos de la marca de su lavaplatos. También considera la posibilidad de comprar un nuevo lavaplatos, así que examina dos de los mejores productos y compara sus prestaciones. Niki decide que los dos lavaplatos son demasiado caros (650 dólares), así que al final encarga la bomba en el sitio web de su marca actual, usando el comercio electrónico. Al día siguiente recibe la bomba por correo, la instala, y tiene el lavavajillas funcionando a la perfección por un coste total de 24.95 dólares. También envía un correo electrónico a su marido. En él le explica el problema del lavavajillas, justifica su compra del componente, y presume de haber ahorrado 625.05 dólares.

Niki es una usuaria extraordinariamente eficiente de los medios electrónicos en esta era de la información. Integra su conocimiento sobre ciencia y tecnología para razonar en esta tarea compleja de solución de problemas y para explicar sus argumentos de forma razonada por correo electrónico. La gran mayoría de los adultos (quizás el 99% o más) ni siquiera se acercan a sus habilidades en el uso de los distintos recursos informáticos para solucionar problemas de ciencia y tecnología. Sin embargo, ésta es la clase de alfabetización que llegará a ser mayoritaria en este nuevo milenio, tanto para científicos como para los ciudadanos educados. La alfabetización científica en la era informática requiere las siguientes habilidades cognitivas.

Formulación de preguntas y respuestas

Se puede decir que cualquier tarea cognitiva o de comportamiento puede descomponerse en una serie de preguntas que formula

una persona y que quizá puede responder. Cuando Niki se enfrentó al lavaplatos que no funcionaba, las preguntas relevantes fueron "¿por qué esto no funciona?" y "¿cómo puede arreglarse?". Cuando necesitó saber más sobre el silicato de sodio, las preguntas relevantes fueron "¿qué es X?" y "¿dónde puedo encontrar información sobre X?". Otras preguntas relevantes en el ejemplo de Niki y el lavaplatos son "¿cuáles son los componentes químicos del detergente?", "¿qué sustancias químicas pueden agravar el asma?", "¿dónde esta el sitio web de mi marca de lavaplatos?", "¿cuáles son los puntos débiles y fuertes de los nuevos lavaplatos de mi marca respecto a mis necesidades?", "¿cuánto cuesta X?", y "¿cuándo puedo tener la nueva bomba?". Una vez que Niki localizó la información sobre los distintos temas la leyó y la evaluó, haciéndose a sí misma preguntas adicionales relevantes, entre las que se incluían "¿cómo funciona el mecanismo?", "¿por qué es esta información importante?" y "¿qué pruebas hay para la afirmación X?". Estas preguntas son normalmente relevantes cuando se leen artículos científicos.

El mecanismo que activa la formulación de preguntas, los patrones de exploración y las estrategias de respuesta de preguntas en los humanos deben ser entendidos para desarrollar un análisis sofisticado de la alfabetización científica, además de para diseñar textos y dispositivos científicos. Estas *estrategias de indagación* se relacionan con componentes cognitivos que son familiares a la ciencia cognitiva, como la búsqueda, el reconocimiento de patrones, la detección de discrepancias, la comparación, el razonamiento analógico basado en casos, la construcción del conocimiento, el reconocimiento de estructuras, la satisfacción de ligaduras, y la metacognición. En la actualidad hay algunos modelos psicológicos de formulación de preguntas y respuestas que se basan en datos empíricos y tienen la suficiente precisión analítica como para proporcionar algunos fundamentos. En lo que respecta a los datos empíricos, los protocolos de formulación de preguntas y respuestas proceden de niños y adultos en muchos contextos diferentes (Bransford, Sharp, Vye, Goldman, Hasselbring, Goin, O'Banion, Livernois, Saul, y el Grupo de Cognición y Tecnología en Vanderbilt, 1996; Goldman, 1985; Goldman y Durán, 1988; Graesser y Black, 1985; Graesser y Hemphill, 1991; Graesser, Lang, y Roberts, 1991; Graesser y McMahen, 1993; Graesser y Person, 1994). Con respecto a la precisión analítica, Graesser ha desarrollado modelos computacionales cognitivos de formulación de preguntas(llamado PREG, Otero y Graesser, 2001) y de respuestas (llamado QUEST, Graesser, Gordon, y Brainard, 1992). Graesser ha desarrollado software educativo basado en la formulación de preguntas, como el "Point and Query"(Graesser, Langston, y Baggett, 1993) y el "Autotutor" (Graesser, K. Wiemer-Hastings, P. Wiemer-Hastings, Kreuz, y TRG, 1999). Los mecanismos de formulación de preguntas serán abordados más a fondo en la segunda parte de este artículo.

2. Comprensión e inferencias

Obviamente, el que aprende necesita comprender los textos gráficos, tablas, animaciones, y otros contenidos que aparecen en los multimedia. Además de comprender el input explícito del estímulo, el usuario necesita construir inferencias y modelos mentales que vayan mas allá de la información suministrada de forma directa.

Las investigaciones de las que disponemos sobre generación de inferencias indican que muchas clases de inferencias se generan de forma rutinaria durante la lectura cuando el material hace alguna referencia al conocimiento del mundo que es familiar al lector (Graesser *et al.*, 1994). Por contraste, es un reto cuando el texto trata de mecanismos científicos no familiares (Cote *et al.*, 1998; Goldman *et al.*, 1995; Graesser y Bertus, 1998), textos ilustrados sobre dispositivos mecánicos (Hegarty y Just, 1993), manuales interactivos multimedia (Narayanan y Hegarty, 1998), animaciones (Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1998; Mayer y Anderson, 1992; Mayer y Sims, 1994), y gráficos y tablas usados para transmitir información matemática (Cognitive and Technology Group at Vanderbilt, 1997).

Uso de múltiples fuentes de información

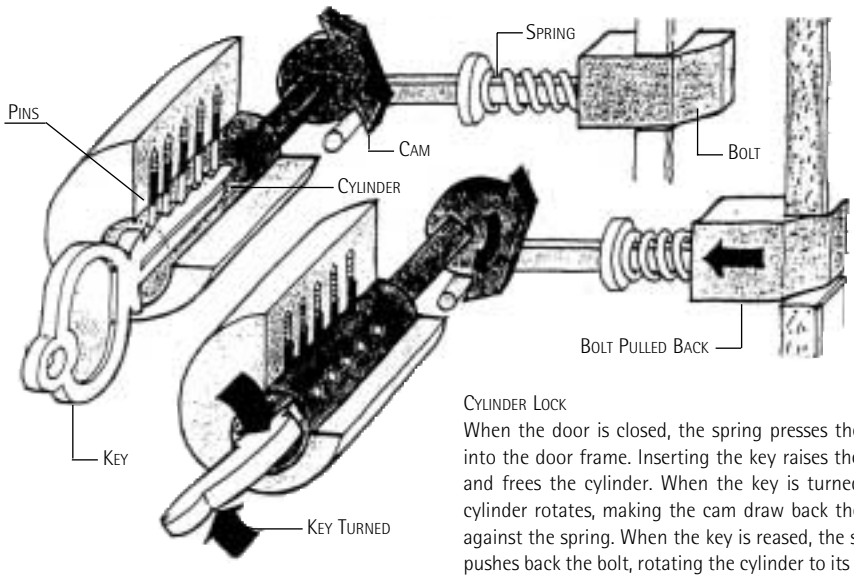
La alfabetización científica requiere el acceso a múltiples fuentes de información, para reunir información, verificar la legitimidad de una afirmación, seguir los pros y contras de un argumento, comparar conjuntos de datos, y tomar decisiones complejas. Lo ideal sería que el que aprende controlase el origen de las afirmaciones (pág ej., ¿quién dijo qué?). Niki necesitaba obtener información sobre el detergente, el asma y el silicato de sodio durante el proceso para determinar si algún componente químico del detergente puede agravar el asma. La información sobre la bomba rota se construyó accediendo al CD-ROM sobre lavavajillas y al sitio web de la marca del lavaplatos. Aunque es obvio que en la práctica de la ciencia se usan múltiples fuentes de información, el proceso de seguimiento y recuerdo de múltiples fuentes de información sólo se ha empezado ha investigar de forma sistemática en las ciencias cognitivas recientemente (Britt, Perfetti, Sandak, y Rouet, 1999; Graesser, Bowers, Olde, y Pomeroy, 1999; Wiley y Voss, 1999).

Evaluación de afirmaciones y pruebas

Las personas, cuando están aprendiendo, necesitan adquirir estrategias que les permitan determinar si las afirmaciones que aparecen en las distintas fuentes de información son verdaderas o falsas. Evaluar la credibilidad de las afirmaciones es particularmente importante en la era de Internet porque la mayoría de la información en la red no es revisada y comprobada por expertos. Lo ideal sería que los estudiantes verificaran una afirmación consultando distintas fuentes y revisando los datos empíricos que

Figura 1

Ejemplo de texto ilustrado sobre la cerradura cilíndrica (reproducido de Macaulay, the way things work, 1988)



Cylinder Lock
When the door is closed, the spring presses the bolt into the door frame. Inserting the key raises the pins and frees the cylinder. When the key is turned, the cylinder rotates, making the cam draw back the bolt against the spring. When the key is reased, the spring pushes back the bolt, rotating the cylinder to its initial position and enabling the key to be withdrawn.

la sustentan o niegan, teniendo en cuenta tanto la fuente como la relevancia de las pruebas. El proceso de evaluación de pruebas de afirmaciones científicas se está investigando en la actualidad en el contexto de ambientes de aprendizaje complejos (Goldman, Duschl, Ellenbogen, Williams, y Tzou, 2003; Wiley y Voss, 1999).

Navegación en textos ilustrados y multimedia electrónicos

La persona que aprende necesita saber maniobrar a través de los textos ilustrados, páginas web y otros multimedia informáticos. Las interfaces humano-ordenador son a veces intuitivas para la mayoría de los usuarios, pero otras veces no están suficientemente bien diseñados para que la mayoría de la gente pueda usarlos fácilmente. En el campo de la interacción humano-ordenador se ha investigado como los usuarios con diferentes habilidades navegan normalmente y usan hipertextos (Chen y Rada, 1996; Dillon y Gabbard, 1998), hipermedia (Narayanan y Hegarty, 1998) y otras interfaces habituales (Shneiderman, 1998).

Los cinco componentes cognitivos citados con anterioridad fueron necesarios para

que Niki consiguiera salir airosa del problema con el lavavajillas. Está más allá del objetivo de este artículo explicar exhaustivamente estos cinco componentes. En vez de eso, nos centraremos en los niveles de representación cognitiva y en las preguntas que conlleva una comprensión profunda. Es lo que trataremos en la siguiente sección.

Preguntas y comprensión profunda

Imagine que está leyendo un texto ilustrado que describe el mecanismo de un aparato cotidiano, como la cerradura cilíndrica que aparece en la figura 1. Usted lee el texto. Intenta descifrar los componentes, etiquetas, relaciones espaciales, y flechas del dibujo. Intenta relacionar la información del texto con el contenido dibujado en la ilustración. Y aquí surge la pregunta. ¿Cómo sabe usted que entiende el mecanismo a un nivel profundo?

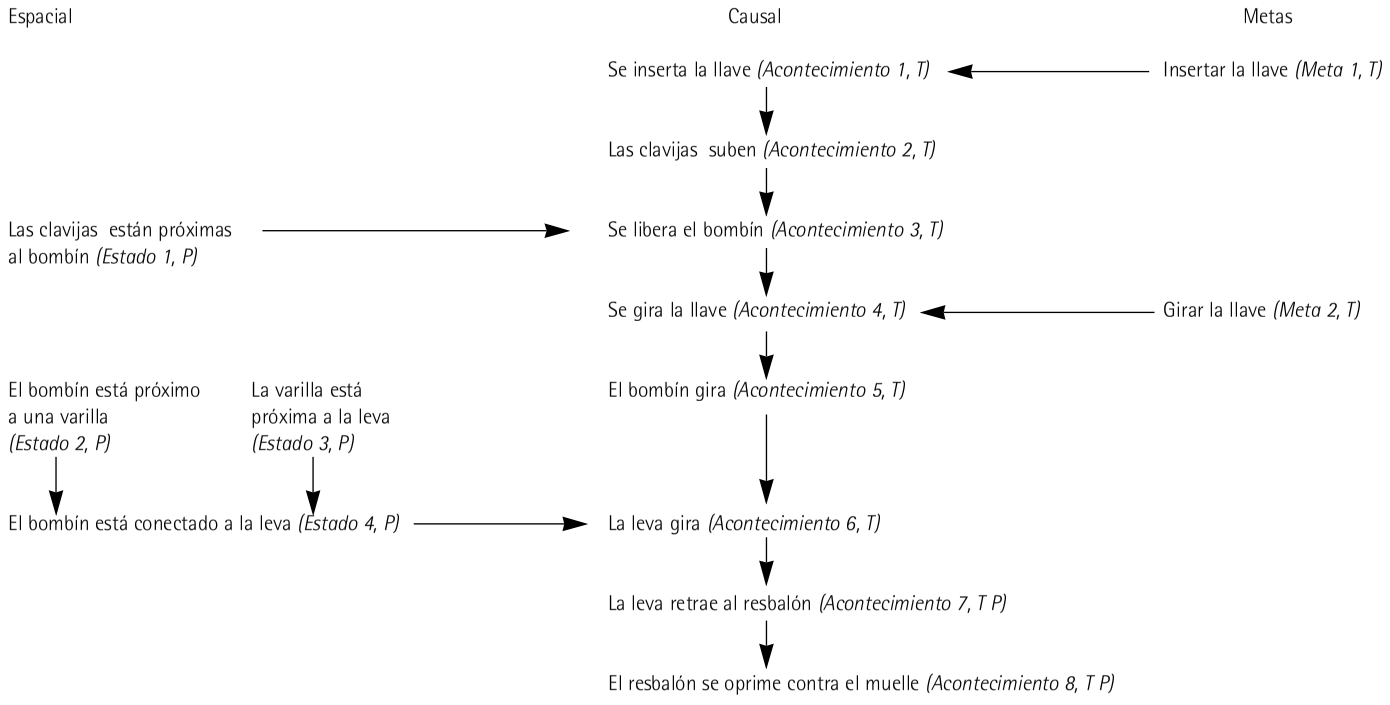
Las representaciones de la estructura del conocimiento

Los psicólogos del discurso han investigado en las últimas tres décadas cómo se alcanza la comprensión en distintos niveles de profundidad (para una revisión, ver Britton y Graesser, 1996; Graesser, Millis, y Zwaan, 1997; Kintsch, 1998). El nivel menos profundo es el código superficial, que mantiene las palabras y sintaxis exacta del material explícito verbal. Si consideramos la modalidad visual, se mantienen las líneas de nivel básico, ángulos, tamaños, formas y texturas de las ilustraciones. En un nivel intermedio, hay una representación proposicional que captura el significado del texto explícito y las ilustraciones. Y en el nivel más profundo, hay un modelo mental o modelo de la situación sobre la que trata el texto. Para los aparatos cotidianos esto incluiría: los componentes del sistema electrónico o mecánico, la configuración espacial de los componentes, la cadena causal de acontecimientos cuando el sistema funciona satisfactoriamente, los mecanismos que explican cada paso causal, las funciones del aparato y sus componentes, y los objetivos de los agentes que manipulan el sistema para distintos propósitos. Está claro que se construye un rico conjunto de estructuras de conocimiento cuando un adulto comprende un aparato de forma profunda.

Los investigadores en psicología del discurso e inteligencia artificial han desarrollado teorías que especifican cómo se organiza y se representa el conocimiento sobre el mundo. Este conocimiento consiste en componentes jerarquizados, configuraciones espaciales, mecanismos causales, procedimientos orientados a una meta y otros tipos de conocimiento (Graesser y Clark, 1985; Graesser, Gordon, y Brainerd, 1992; Kintsch, 1998; Lehmann, 1992; Lenat, 1995; Perfetti, Britt, y Georgi, 1995; Trabasso y van den Broek, 1985; Schank, Kass, y Riesbeck, 1994). Creemos que para conseguir un entendimiento teórico sofisticado de la comprensión profunda es necesario un análisis detallado de estos modelos mentales.

Figura 2

Gráfica conceptual de parte del contenido del texto ilustrado sobre la cerradura cilíndrica



Por ejemplo, la figura 2 presenta una parte de una estructura de conocimiento que ilustra la información explícita en un texto ilustrado sobre una cerradura cilíndrica. Se basa en la representación llamada estructura gráfica conceptual desarrollada por Graesser (Baggett y Graesser, 1995; Graesser y Clark, 1985; Graesser *et al.*, 1992; Graesser, Wiemer-Hastings, y Wiemer-Hastings, 2001; Williams, Hultman, y Graesser, 1998). La composición de estas estructuras gráficas conceptuales no es arbitraria, sino que se basa en restricciones formales y conceptuales que han sido estudiadas durante tres décadas. Por ejemplo, las categorías de *nodos* y *arcos* son funcionalmente adecuadas para implementar modelos de formulación de preguntas y respuestas que han sido puestos a prueba en experimentos con adultos (Graesser y Hemphill, 1991; Graesser, Lang, y Roberts, 1991; Otero y Graesser, 2001). En el centro hay una cadena causal de acontecimientos que se desarrollan cuando la llave es capaz de abrir la cerradura. A la izquierda aparecen los nodos que capturan parte de la composición espacial del sistema que hace posible los acontecimientos. A la derecha están las metas del agente (persona) que interactúa con la cerradura. Es necesario inferir algunos nodos para asegurar que el gráfico está coherentemente organizado. Creemos que construimos en nuestra mente estructuras de conocimiento como éstas, durante el proceso de comprensión de un texto ilustrado y, posteriormente, cuando reflexionamos sobre el contenido mientras resolvemos problemas.

Dedicaremos unas pocas palabras a la terminología que esta asociada con las estructuras gráficas conceptuales. Una estructura gráfica conceptual consiste en un conjunto de nodos conectados por una serie de arcos direcccionados, categorizados. Los nodos son conceptos y descripciones similares a proposiciones que se refieren bien a los constituyentes del texto o bien a los aspectos visuales o espaciales de las ilustraciones. De este modo, hay un lenguaje de descripción de imágenes que puede traducir la mayoría de los aspectos de una imagen a una descripción estructurada. Por ejemplo, los conceptos asociados con una cerradura cilíndrica incluirían los siguientes referentes de nombres: *cerradura, clavijas, leva, muelle, varilla, resbalón* y otros parecidos. Las descripciones similares a proposiciones son categorizadas como estados *(La varilla esta cerca de la leva)*, acontecimientos *(La leva gira)*, objetivos *(Girar la llave)*, o alguna otra categoría ontológica. Los nodos están conectados por distintas categorías de arcos que especifican causalidad (C) y habilitación, razones (R) para generar objetivos, y resultados (R) de los objetivos. El sistema de representación completo tiene 22 categorías básicas de arcos (Graesser, Wiemer-Hastings, y Wiemer-Hastings, 2001, pero no es propósito de este artículo proporcionar todos los detalles del sistema de representación. La mayoría de las categorías de arco son directas, con un nodo de inicio y uno de fin. Por ejemplo, en el caso de los arcos causales, la causa debe preceder en el tiempo al efecto, de modo que la flecha va desde el

nodo de inicio *(El bombín gira)* al nodo fin *(La leva gira):* (Nodo 5)-C -> (Nodo 6) en la figura 2.

Algunos elementos de conocimiento se refieren a la imagen, otros al texto, y otros a ambos. Por ejemplo, consideremos los nodos en la figura 2. Los nodos que se refieren estrictamente a la imagen son el acontecimiento 6, y los estados, 1, 2, 3, y 4. Los nodos que sólo aparecen en el texto son los acontecimientos 1, 2, 3, y 5 y los objetivos 1 y 2. Los nodos que se refieren tanto al texto como a la imagen son los acontecimientos 4, 7 y 8. Se puede esperar que un lector con una alta aptitud verbal se centre en los nodos referidos al texto, mientras que los lectores con una alta habilidad viso-espacial se centren en los nodos referidos a la imagen. Hay algunos indicios de que el texto domina el proceso de lectura cuando los estudiantes universitarios leen textos ilustrados que tienen que comprender (Baggett y Graesser, 1995; Hegarty y Just, 1993). En la investigación de Hegarty y Just sobre movimientos visuales, por ejemplo, el texto es el que dirige los movimientos del ojo. Los movimientos visuales se dirigen a las imágenes principalmente cuando hay un término o proposición en el texto que se desconoce o es confuso. En la investigación de Bagget y Graesser sobre la contestación a preguntas, los nodos basados en el texto se daban en las respuestas a preguntas de razonamiento profundo (por qué, cómo, qué sucedería si, qué sucedería si no...) con una incidencia mucho más alta que los nodos basados en imágenes. Además, los nodos aparecían con mucha probabilidad en la respuesta si pertenecían tanto al texto como a la imagen. Esto último es lo que predeciría una teoría de código dual sobre el procesamiento multimedia (Mayer y Sims, 1994).

Una prueba rápida de comprensión profunda: la formulación de preguntas

La importancia práctica de alcanzar una comprensión profunda es obvia. En el campo de la educación y el entrenamiento, una de las misiones importantes es promover una comprensión profunda del campo de conocimiento de que se trate ya sea la ciencia, las matemáticas, la historia o cualquier otra área. No es suficiente impartir un conocimiento superficial, inerte; el estudiante también necesita adquirir un conocimiento profundo que pueda aplicarse de manera activa en la práctica y que le ayude a solucionar problemas difíciles.

La Marina de los Estados Unidos, la institución que financió la presente investigación, tiene la necesidad de asignar deberes y tareas apropiadas a los marineros. Lo ideal sería, por ejemplo, que un marinero fuera asignado a ser cerrajero si el marinero tiene un conocimiento profundo de los mecanismos causales que explican las cerraduras, y no si conoce solamente la jerga comercial. ¿Pero cómo saber cuándo un marinero tiene el talento y el conocimiento profundo necesario para una tarea? ¿Existe alguna prueba rápida que nos permita saber si se

ha alcanzado un conocimiento profundo? Sabemos que no vamos a obtener mucha información de utilidad si simplemente le preguntamos al marinero (por ejemplo, "¿qué tal se te da abrir cerraduras?"). ¿Por qué? Porque existen serias limitaciones en las habilidades cognitivas de los adultos a la hora de evaluar su propia comprensión (Glenberg *et al.*, 1982; Hacker *et al.*, 1998; Otero, 1998). Sabemos que no obtendremos mucha información útil examinando al marinero sobre su conocimiento superficial e inerte, que es lo que sucedería si usáramos un test de vocabulario y jerga técnica (por ejemplo, ¿qué es una leva?). No sería rentable emplear años en el desarrollo de un test psicométrico válido y fiable para cada dispositivo del ejército. Los dispositivos estarían obsoletos para cuando el test psicométrico estuviera acabado. Tampoco sería muy práctico administrar una batería exhaustiva de pruebas que midieran el rico conjunto de conocimientos y habilidades asociados al modelo mental ideal que subyace a un cierto dispositivo. Imagine lo que costaría, por ejemplo, comprobar que cada nodo y arco de la figura 2 está intacto en la mente de un marinero en particular.

Recientemente hemos identificado una prueba reveladora del grado en que un estudiante universitario ha alcanzado una comprensión profunda de un dispositivo. Esta prueba se basa en 2 supuestos centrales sobre la comprensión profunda. Primero, la comprensión se manifiesta cuando el dispositivo se estropea, no cuando funciona correctamente. El razonamiento explicativo no es algo particularmente crítico cuando un dispositivo funciona sin problemas y cuando el agente humano tiene interacciones mínimas con el dispositivo. Las explicaciones son necesarias cuando los dispositivos dejan de funcionar, se diagnostican fallos y se reparan. Segundo, la comprensión se pone de manifiesto en la calidad de las preguntas que hace un adulto cuando se enfrenta a una situación problemática. Esto significa que cuando se ha comprendido en profundidad se hacen preguntas de calidad que conducen al punto donde se ha producido el fallo. Desde la perspectiva de las estructuras gráficas conceptuales, una comprensión profunda lleva a formular preguntas que conducen a aquellos nodos en la estructura que son causas plausibles de los fallos. En resumen, una buena prueba reveladora de comprensión profunda de un dispositivo se basa en la calidad de las preguntas que se realizan en el contexto de una situación problemática.

Consideremos un ejemplo de situación problemática que puede ocurrir en el contexto de una cerradura cilíndrica. Supongamos que un adulto llamado Jaime se enfrenta con el siguiente problema: La llave gira, pero el resbalón no se mueve. O lo que es lo mismo, Jaime mueve la llave y no hay ningún problema para girarla, pero desafortunadamente el resbalón no se mueve hacia adelante ni hacia atrás (ver figura 1). Jaime puede hacer preguntas explícitas sobre las causas potenciales del mal funcionamiento.

O las preguntas pueden simplemente aparecer en su mente, con distintos grados de precisión, realismo, y siendo más o menos completas. Las preguntas pueden ser implícitas, pero pueden estar manifestándose en las acciones o las expresiones que Jaime hace abiertamente. Si Jaime se pregunta si la leva está rota, puede tener lugar uno de los siguientes acontecimientos:

1) Jaime pregunta: ¿Está girando la leva?".
2) Jaime dice: "La leva puede tener un problema al girar".
3) Jaime mira la leva.
4) Jaime observa la leva mientras mueve la llave.

Todas estas acciones cuentan como *formulación de preguntas* en el sentido en que reflejan un proceso de indagación, incertidumbre y curiosidad. Jaime se pregunta si la leva está causando el problema, así que lleva a cabo algún acto físico, perceptivo o verbal para reducir la incertidumbre y satisfacer su curiosidad. Lo importante no es si la pregunta se manifiesta perceptualmente, físicamente, verbalmente, o en una forma sintáctica interrogativa. La pregunta emerge en cualquiera de estas formas.

La pregunta que formula Jaime es una buena pregunta porque identifica un posible fallo que puede explicar la inmovilidad del resbalón. Una buena pregunta conduce a las posibles causas del problema. En el ejemplo, los posibles fallos se corresponden con dos nodos de la figura 2: el acontecimiento 6 *(La leva gira)* y el acontecimiento 7 *(La leva mueve hacia atrás el resbalón).* Los otros 12 nodos de la figura 2 no son el lugar donde se producen los posibles fallos. Hay un gran número de preguntas que serían malas porque no explicarían el mal funcionamiento. Por ejemplo, las siguientes preguntas son de baja calidad porque fallan a la hora de dar cuenta del problema:

5) "¿Están las varillas levantadas?" Las varillas deben estar levantadas porque la llave esta dentro y gira satisfactoriamente.
6) "¿Es la llave correcta?" Por supuesto que es la llave correcta porque se ha introducido y girado sin problemas.
7) "¿Está el muelle roto?" El muelle puede ayudar al resbalón a moverse, pero no puede impedir que éste se mueva.

La comprensión profunda se manifestaría en las preguntas 1-4, mientras que la superficial se reflejaría en las preguntas 5-7.

Una pregunta obvia que se podría hacer es por qué la formulación de preguntas es una prueba tan buena para medir la comprensión profunda. ¿Por qué una tarea que exija "pensamiento en voz alta" no es una prueba más fiable de la comprensión profunda, como dirían Ericsson y Simon (1993) y otros? Nuestro argumento es que los mecanismos de formulación de preguntas son especialmente adecuados para las situaciones problemáticas. El desequilibro cognitivo conduce a la formulación de preguntas genuinas, en busca de información

(Berlyne, 1960; Chinn y Brewer, 1993; Collins, 1988; Festinger, 1957; Flammer, 1981; Graesser, Baggett, y Williams, 1996; Graesser y McMahen, 1993; Graesser y Person, 1994; Otero y Graesser, 2001; Schank *et al.*, 1994). Los individuos formulan preguntas cuando se enfrentan a obstáculos para alcanzar sus objetivos, acontecimientos anómalos, contradicciones, discrepancias, contrastes llamativos, lagunas obvias de conocimiento y decisiones que requieren la discriminación entre alternativas igualmente atractivas. Se espera que las respuestas a estas preguntas restauren el equilibrio y la homeostasis. Otra razón, en cierta medida independiente de ésta, es que se necesita una gran cantidad de conocimiento para que las preguntas emerjan a la consciencia. Ya hace 20 años Miyake y Norman (1979) decían que "para hacer una pregunta, uno debe saber lo suficiente para saber lo que no se sabe".

La comprensión profunda de los textos ilustrados: un estudio empírico

Hemos llevado a cabo un estudio que examina la predicción de que una prueba reveladora de comprensión profunda consiste en las preguntas que se realizan en el contexto de una situación problemática. Estudiantes universitarios de la Universidad de Memphis leyeron en primer lugar un texto ilustrado, después se les proporcionó una situación problemática, y posteriormente formularon preguntas. Las preguntas que los participantes realizaron deberían tener una mayor calidad cuanto más profunda fuera su comprensión sobre la materia. Después de completar la tarea de formulación de preguntas, se les administró un test de comprensión sobre los dispositivos. Evidentemente, la predicción es que la actuación en este test de comprensión debe correlacionar positivamente con la calidad de las preguntas que habían formulado. Los participantes también completaron una batería de tests de habilidad cognitiva y personalidad.

Esta sección trata sobre los resultados más relevantes de esta investigación sobre formulación de preguntas, mientras que los detalles del método y resultados pueden encontrarse en Graesser, Olde, Whitten, Lu, Pomeroy y Craig (2000). Se informa del método con el detalle suficiente como para mostrar nuestros métodos de investigación sobre los mecanismos de formulación de preguntas, con la esperanza de que otros investigadores repliquen la metodología con otros tipos de textos y artefactos científicos. También queremos presentar unos pocos resultados clave que sustentan la idea de que una buena prueba rápida de comprensión profunda se basa en las preguntas formuladas en el contexto de una situación problemática.

Textos ilustrados y tareas

Los participantes leyeron 6 textos ilustrados sobre aparatos de la vida diaria: una cerradura de bombín, un timbre electrónico, un termómetro del coche, una mordaza, un tostador y un lavaplatos. Los mecanismos de

los aparatos fueron extraídos del libro de Macaulay con ilustraciones, *El modo en que funcionan las cosas* (Macaulay, 1988). Después de haber leído sobre cada aparato, se proporcionaba a los participantes una situación en la que el aparato no funcionaba. Por ejemplo, esta es la situación para la cerradura cilíndrica de la figura 1.

Situación problemática para la cerradura cilíndrica: Suponga que la llave gira, pero el resbalón no se mueve.

Durante ese tiempo, a los participantes se les pedía o bien que escribieran y pensaran en voz alta (lo que hemos llamado tarea de escritura en voz alta) o que escribieran preguntas (tarea de formulación de preguntas) durante tres minutos. Durante la tarea de escritura en voz alta y la tarea de formulación de preguntas los participantes normalmente reflexionaban sobre cómo diagnosticar y reparar los fallos de funcionamiento. Primero se realizaba la tarea de escritura en voz alta para tres aparatos, antes de la tarea de formulación de preguntas, que se realizaba para los otros tres restantes. La asignación de dispositivos a las diferentes condiciones y orden de las pruebas fue contrabalanceada para los 108 estudiantes de la Universidad de Memphis.

Test de comprensión de los aparatos

Después de suministrar los protocolos de formulación de preguntas y de escritura en voz alta para los 6 aparatos, los participantes realizaron una prueba objetiva sobre su comprensión de los aparatos. Consistía en 6 preguntas con 3 alternativas de respuesta cerrada para cada aparato (36 preguntas en total para los 6 aparatos). Cuatro de las preguntas sobre el aparato se referían a información explícita y las otras 2 a inferencias. A continuación proporcionamos ejemplos de cada tipo de preguntas:

Explícitas: ¿qué acción hace que las varillas se levanten?
a) Insertar la llave (respuesta correcta).
b) Sacar la llave.
c) Girar la llave.

Inferencia: ¿Qué les sucede a las varillas cuando se gira la llave para abrir la puerta?
a) Se levantan.
b) Se bajan.
c) Permanecen igual (respuesta correcta).

La puntuación sobre la comprensión del aparato se mide en un rango de 0 a 36. Una puntuación de 12 correspondería al azar si los sujetos no hiciesen tanteos sofisticados o utilizasen conocimiento general auxiliar.

Batería de tests sobre diferencias individuales

Después de la prueba objetiva de comprensión de los aparatos, los participantes completaron una batería de tests que medían su habilidad cognitiva y su personalidad. Entre los tests de habilidad cognitiva se encontraba el ASVAB (Batería de

Aptitud Vocacional de las Fuerzas Armadas, Departamento de Defensa de EE UU, 1983). Este test se suministra a más de un millón de estudiantes de educación secundaria cada año en Estados Unidos. Se compone de las siguientes subescalas: comprensión mecánica, electrónica, ciencia general, automoción, conocimiento matemático, razonamiento aritmético, operaciones numéricas, conocimiento del mundo, comprensión de un párrafo y velocidad lectora. De las 10 variables que mide el ASVAB, se derivan 5 variables compuestas: conocimiento técnico-científico, habilidad verbal, habilidad numérica, velocidad de lectura e inteligencia general (g). Los tests de habilidad cognitiva incluían además pruebas sobre la capacidad de la memoria de trabajo (LaPointe, y Engle, 1990), razonamiento espacial (Bennet, Seashore, y Wesman, 1972) y exposición a las publicaciones (el test de reconocimiento de autor, Stanovich y Cunningham, 1992).

También se medían distintas variables no cognitivas: edad, género y distintas escalas de un test de personalidad. El test de personalidad era el NEO (Costa y McCrae, 1991), que mide los cinco grandes factores de personalidad: neuroticismo, extroversión, apertura, agradabilidad y autoconciencia. La subescala de apertura intenta medir la creatividad, que probablemente correlacionase con la formulación de preguntas. Se tardaba 4 horas aproximadamente en completar la batería de tests, en dos sesiones en días diferentes.

Resultados

La medida más apropiada de la comprensión profunda era la prueba de comprensión de aparatos. La puntuación media fue de 23.5 sobre 36 preguntas (DT=5.3). Por tanto, el 65% de las respuestas de 3 alternativas fueron correctas. Las preguntas explícitas fueron contestadas correctamente más a menudo que las preguntas de inferencia: 71% y 54% respectivamente.

De acuerdo con nuestra hipótesis, se esperaría que las puntuaciones de comprensión de aparatos tuviesen una alta correlación positiva con las preguntas formuladas en la situación problema. Se tomaron distintas medidas de los protocolos verbales para comprobar esta hipótesis. Las 4 medidas eran:

1) Volumen de preguntas: Número de preguntas formuladas en la tarea de formulación de preguntas.
2) Calidad de las preguntas*:* Proporción de preguntas que se refieren a un posible mal funcionamiento que explique el problema.
3) Volumen de ideas: Número de ideas que aparecían en la tarea de escritura en voz alta.
4) Calidad de las ideas: Proporción de ideas que se refieren a un posible fallo.

Los 108 participantes fueron puntuados en estas cuatro medidas, que se correlacionaron con las puntuaciones en comprensión

de aparatos. Se encontró que la correlación más alta se producía entre la comprensión de aparatos y la calidad de las preguntas ($r = .51$, $p < .05$). El volumen de preguntas e ideas no estaba correlacionado significativamente con la comprensión de los aparatos. La calidad de las ideas si correlacionaba significativamente con la comprensión de los aparatos ($r = .38$, $p < .05$), pero no es una correlación tan alta como con la calidad de las preguntas. Por tanto, la calidad de las preguntas era el mejor test de comprensión profunda al considerar las cuatro medidas de los protocolos verbales.

¿Cómo se relaciona la calidad de las preguntas con las medidas generales de habilidad cognitiva y los factores no cognitivos? La calidad de las preguntas se comparó de manera realmente favorable. Las correlaciones bivariadas eran pequeñas o no significativas en el caso de los 5 factores de personalidad, edad, memoria de trabajo, exposición a las publicaciones y muchas de las escalas del ASVAB. La correlación con el conocimiento técnico-científico ($r = .72$, $p < .05$) era mejor que con la calidad de las preguntas, pero el resto de las medidas del ASVAB (incluido el razonamiento espacial) tenían aproximadamente la misma correlación o más baja con la comprensión de aparatos que la que tenía la calidad de las preguntas. Los varones tienen unas puntuaciones de comprensión de aparatos significativamente mayores que las mujeres ($r = .40$, $p < .05$), pero esta correlación no es tan alta como la de la calidad de las preguntas.

El conocimiento técnico-científico tenía una alta correlación con la comprensión de los aparatos así que examinamos las diferencias entre las preguntas hechas por participantes con alto y bajo conocimiento técnico-científico. En uno de los análisis, se comparaba la distribución de las preguntas formuladas por estudiantes universitarios con altas puntuaciones de comprensión mecánica (33% superior de la distribución) y las puntuaciones bajas en comprensión mecánica (33% inferior de la distribución). Las preguntas formuladas por estudiantes con alta puntuación tenían dos características: a) las preguntas convergían en componentes del mecanismo con fallos plausibles y b) las preguntas eran más elaboradas respecto a los componentes, procesos y relaciones que explicaban *cómo* se producía el fallo. Dicho en otras palabras, había una gran *convergencia* y un alto nivel de *detalles mecánicos*. Por el contrario, las preguntas formuladas por estudiantes con puntuaciones bajas en comprensión mecánica eran bastante diferentes: a) las preguntas eran más difusas que convergentes (por ejemplo, la mayoría de los componentes del sistema estaban rotos en vez de converger en 1 o 2 componentes), b) las preguntas tenían una elaboración mínima del mecanismo responsable del proceso (por ejemplo, el componente X estaba roto, pero no había elaboración respecto a cómo podía estar roto), y c) algunas preguntas eran superficiales e irrelevantes.

Para transmitir algunos de los resultados anteriores de forma más concreta, la tabla

1 muestra la distribución de preguntas formuladas para la cerradura cilíndrica. En ésta se incluyen aquellas preguntas formuladas por al menos 2 participantes con alta puntuación en comprensión mecánica (de 11 participantes) o con una baja puntuación en comprensión mecánica (también de 11); tan sólo se pudo disponer de la mitad de la muestra de participantes cuando se realizó este análisis. Cabe hacer 3 puntualizaciones a estos datos. Primera, los estudiantes con alta puntuación en comprensión mecánica identifican el fallo en el área de la leva con mucha mayor frecuencia que los estudiantes con baja puntuación. Segunda, la cantidad de detalles mecánicos es mucho más impactante en los participantes con alta comprensión mecánica, y bastante más baja en el caso de los de baja comprensión mecánica. Estas dos observaciones prueban que aquellos sujetos con una comprensión profunda hacen mejores preguntas. Tercera, el número de preguntas era el mismo en ambos grupos de participantes. Por tanto, no es que los que alcanzan una comprensión profunda hagan mas preguntas si no que hacen preguntas de mayor calidad. Cuarto, el acuerdo fue mucho mayor para los que tenían una alta comprensión mecánica. El acuerdo se mide como la proporción de preguntas formuladas por 2 o más participantes dentro de un grupo de habilidad (por contraposición a las preguntas idiosincrásicas formuladas sólo por un sujeto). Por tanto, los participantes con una comprensión profunda convergen en los fallos probables del dispositivo, mientras que los que tienen una comprensión superficial mezclan ideas errática e indiscriminadamente.

Desarrollamos actualmente estructuras gráficas conceptuales para textos ilustrados sobre aparatos. Estas estructuras incluyen componentes jerárquicos, jerarquías de regiones espaciales, redes y cadenas causales, jerarquías de objetivos/planes/acciones y descripciones de las propiedades que se describen bien de forma pictórica o textual (Baggett y Graesser, 1993; Graesser *et al*., 1992). Se identificará el contenido de las estructuras gráficas conceptuales que es relevante e irrelevante en las situaciones problemáticas. El contenido de los protocolos verbales de los 108 estudiantes de los protocolos de escritura en voz alta y formulación de preguntas ha sido transformado en estructuras gráficas conceptuales. Esto nos permitirá determinar qué propiedades de las representaciones de los conocimientos de los participantes pueden predecirse por las habilidades cognitivas, medidas de personalidad, género y puntuaciones de test de comprensión de aparatos.

También se están tomando medidas de movimientos visuales de lectores durante la comprensión de textos ilustrados y la posterior formulación de preguntas al enfrentarse con situaciones problemáticas. Durante la fase inicial de lectura, el texto debe ser lo que principalmente guíe los movimientos oculares si los hallazgos de

Hegarty y Just (1993) son generalizables a nuestros textos ilustrados. Esto significa que los movimientos oculares deben empezar centrándose en los constituyentes del texto y desplazarse a las ilustraciones para resolver las incertidumbres del texto. Durante la fase posterior de formulación de preguntas, debería haber grandes diferencias entre los estudiantes con baja y alta puntuación en habilidad técnico-científica. Los estudiantes con alta puntuación deberían centrarse rápidamente en la causa del mal funcionamiento, (por ejemplo, la leva) mientras que los estudiantes con bajas

Tabla 1

Preguntas sobre una cerradura cilíndrica

	Comprensión de la mecánica	
	Alta	Baja
¿Es la llave correcta?	6	5
¿Qué tipo de cerradura es?	0	3
¿Está roto el muelle?	5	5
¿Impide el muelle que se mueva el resbalón?	3	0
¿Está el muelle empujando el resbalón hacia atrás?	2	0
¿Está el muelle atascando el resbalón?	2	0
¿Está rota la leva?	6	2
¿Se está moviendo la leva?	2	2
¿Está moviendo la leva el resbalón hacia atrás?	2	0
¿Está rota la barra bajo la leva?	2	0
¿Está la leva desconectada/no sincronizada con el bombín?	2	0
¿Está girando el bombín?	3	2
¿Está el bombín girando la leva?	2	0
¿Está atascado el resbalón?	3	3
¿Está el resbalón conectado a la barra?	2	0
¿Están rotas las varillas?	4	2
¿Se levantan las varillas correctamente?	3	2
¿Para qué se usan las varillas?	0	2
Número de participantes	11	11
Preguntas por participante	7.0	7.1
Proporción de preguntas en común	.70	.35

puntuaciones deberían buscar la causa indiscriminadamente a lo largo de todo el texto ilustrado. Además, los movimientos oculares deberían estar coordinados sistemáticamente con cada pregunta que se formula. En otras palabras, los participantes mirarán a la leva antes, durante o después de la pregunta "¿Está rota la leva?".

Comentarios finales

En resumen, los resultados de esta investigación son compatibles con la propuesta de que una excelente prueba reveladora de la comprensión de aparatos se basa en las preguntas formuladas en el contexto de una situación problemática. La calidad de las preguntas, no su cantidad, es importante. Los participantes con una buena comprensión hacen preguntas que convergen en fallos posibles, mientras que las preguntas de los participantes con una comprensión pobre son indiscriminadas. Los que tienen una buena comprensión tienen en cuenta los detalles del mecanismo roto (por ejemplo, ¿cómo está roto X?) mientras que los participantes con una comprensión pobre simplemente preguntan si los componentes están rotos (por ejemplo, ¿está roto X?).

Es importante señalar que se necesitan instrucciones para animar al que aprende a que formule preguntas. Las preguntas no se formulan necesariamente de modo espontáneo. De hecho, el número de preguntas que hacen los estudiantes es increíblemente bajo en una situación de clase (Dillon, 1988), en la tutoría individual (Graesser y Person, 1994; Graesser, Person, y Magliano, 1995), y en los ambientes de laboratorio (Graesser, Langston, y Baggett, 1993; Graesser y McMahen, 1993). Entrenar a los estudiantes a hacer preguntas es tan difícil como enseñarles qué preguntas hacer. Sin embargo, creemos que entrenar a los estudiantes en cómo hacer buenas preguntas también resolverá el problema relacionado de cómo hacer buenas inferencias. Se ha demostrado que el entrenamiento en cómo hacer y responder preguntas de calidad durante el proceso de lectura produce mejoras significativas en la comprensión lectora (Beck *et al.*, 1997; King, 1994; Palincsar y Brown, 1984). Un objetivo pedagógico razonable sería enseñar a los estudiantes a hacer los siguientes tipos de pregunta mientras leen: "¿por qué ocurre X?", "¿cómo ocurre X?", "¿cuál es el proceso?", "¿cuáles son las fases del proceso?", "¿qué sucedería si ocurriera X?", "¿qué sucedería si X no ocurriera?", "¿por qué el autor dice X?", "¿qué pruebas sustentan la afirmación X?" y "¿entonces qué?". Por el contrario, cuando a los estudiantes se les entrena para generar una clase particular de inferencia se quedan en blanco porque las construcciones son muy poco claras. Las preguntas pueden terminar siendo la puerta que facilite las inferencias y la comprensión profunda en el mundo educativo.

Bibliografía

Baggett, W. B., y Graesser, A. C. (1995). Question answering in the context of illustrated expository text. *Proceedings of the 17th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 334-339.

Beck, I. L., Mckeown, M. G., Hamilton, R. L., y Kucan, L. (1997). *Questioning the Author: An approach for enhancing student engagement with text*. Delaware: International Reading Association.

Bennet, G. K., Seashore, H. G., y Wesman, A. G. (1972). *Differential aptitude test: Spatial relations, Form T*. New York: Psychological Corporation.

Berlyne, D. E. (1960). *Conflict, arousal, and curiosity*. New York: McGraw-Hill.

Bransford, J. D., Sharp, D. M., Vye, N. J., Goldman, S. R., Hasselbring, T. S., Goin, L., O'banion, K., Livernois, J., Saul, E., y Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1996). Most environments for accelerating literacy development. En S. Vosniadou, E. De Corte, R. Glaser, y H. Mandl (eds.). *International perspectives on the psychological foundations of technology-supported learning environments*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 223-256.

Britt, M. A., Perfetti, C. A., Sandak, R., y Rouet, J. (1999). Content integration and source separation in learning from multiple texts. En. S.R. Goldman, A. C., Graesser, and P. van den Broek (eds.). *Narrative comprehension, causality, and coherence: Essays in honor of Tom Trabasso*. Mahwah, NJ: Erlbaum, 209-234.

Britton, B. y Graesser, A. C. (eds.) (1996). *Models of understanding text*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Chen, C. y Rada, R. (1996). Interacting with hypertext: A meta-analysis of experimental studies. *Human Computer Interaction,* 11, 125-156.

Chinn, C., y Brewer, W. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63, 1-49.

Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1997). *The Jasper project: Lessons in curriculum, instruction, assessment, and professional development*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1998). Designing environments to reveal, support, and expand our children's potentials. En S. A. Soraci y W. J. McIlvane (eds.), *Perspectives on fundamental processes in intellectual functioning: A survey of research approaches*. Stamford, CT: Ablex, Vol. 1, 313-350.

Collins, A. (1988). Different goals of inquiry teaching. *Questioning Exchange,* 2, 39-45.

Costa, P. T., y Mcrae, R. R. (1991). *NEO: Five Factor Inventory*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.

Coté, N., Goldman, S. R., y Saul, E. U. (1998). Students making sense of informational text: Relations between processing and representation. *Discourse Processes,* 25, 1-53.

DEPARTMENT OF DEFENSE (1983). *Armed Services Vocational Aptitude Battery, Form 12a*. Washington, D.C.: Department of Defense.

DILLON, T. J. (1988). *Questioning and teaching: A manual of practice*. New York: Teachers College Press.

DILLON, A. y GABBARD, R. (1998). Hypermedia as educational technology: A review of the quantitative research literature on learner comprehension, control and style. *Review of Educational Research,* 68, 322-349.

ERICSSON, K. A., y SIMON, H. A. (1993). *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data* (rev. edn). Cambridge, MA: MIT Press.

FESTINGER, T. J. (1957). *A theory of cognitive dissonance*. Evanston, IL: Row and Peterson.

FLAMMER, A. (1981). Towards a theory of question asking. *Psychological Research, 43*, 407-420.

GLENDBERG, A. M., WILKINSON, A. C., y EPSTEIN, W. (1982). The illusion of knowing: Failure in self-assessment of comprehension. *Memory y Cognition,* 10, 597-602.

GOLDMAN, S. R. (1985). Inferential reasoning in and about narrative texts. En A. Graesser y J. Black (eds.), *The psychology of questions* Hillsdale, NJ: Erlbaum, 247-276.

GOLDMAN, S. R., y DURÁN, R. P. (1988). Answering questions from oceanography texts: Learner, task and text characteristics. *Discourse Processes,* 11, 373-412.

GOLDMAN, S. R., DUSCHL, R. A., ELLENBOGEN, K., WILLIAMS, S., y TZOU, C. T. (2003). Science Inquiry in a Digital Age: Possibilities for Making Thinking Visible. En H. van Oostendorp (ed.), *Cognition in a digital age*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

GOLDMAN, S. R., SAUL, E. U., y COTÉ, N. (1995). Paragraphing, reader, and task effects on discourse comprehension. *Discourse Processes,* 20, 273-305.

GRAESSER, A. C., BAGGETT, W., y WILLIAMS, K. (1996). Question-driven explanatory reasoning. *Applied Cognitive Psychology,* 10, S17-S32.

GRAESSER, A. C., y BERTUS, E. L. (1998). The construction of causal inferences while reading expository texts on science and technology. *Scientific Studies of Reading,* 2, 247-269.

GRAESSER, A. C., y BLACK, J. B. (eds.) (1985). *The psychology of questions*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

GRAESSER, A. C., BOWERS, C. A., OLDE, B., y POMEROY, V. (1999). Who said what? Source memory for narrator and character agents in literary short stories. *Journal of Educational Psychology,* 91, 284-300.

GRAESSER, A. C., y CLARK, L. C. (1985). *Structures and procedures of implicit knowledge*. Norwood, NJ: Ablex.

GRAESSER, A. C., GORDON, S. E., y BRAINERD, L. E. (1992). QUEST: A model of question answering. *Computers and Mathematics with Applications,* 23, 733-745.

GRAESSER, A. C. y HEMPHILL, D. (1991). Question answering in the context of scientific mechanisms. *Journal of Memory and Language,* 30, 186-209.

GRAESSER, A. C., LANG, K. L., y ROBERTS, R. M. (1991). Question answering in the context of stories. *Journal of Experimental Psychology: General,* 120, 254-277.

GRAESSER, A. C., LANGSTON, M. C., y BAGGETT, W. B. (1993). Exploring information about concepts by asking questions. En G. V. Nakamura, R. M. Taraban, y D. Medin (eds.), *The psychology of learning and motivation: Vol. 29._Categorization by humans and machines*. Orlando, FL: Academic Press, 411-436.

GRAESSER, A. C., y MCMAHEN, C. L. (1993). Anomalous information triggers questions when adults solve problems and comprehend stories. *Journal of Educational Psychology,* 85, 136-151.

GRAESSER, A. C., MILLIS, K. K., y ZWAAN, R. A. (1997). Discourse comprehension. En J. T. Spence, J. M. Darley, and D. J. Foss (eds.), *Annual Review of Psychology,* Vol. 48. Palo Alto, CA: Annual Reviews Inc.

GRAESSER, A. C., OLDE, B., WHITTEN, S., LU, S., POMEROY, V. y CRAIG, S. (2000). *Question asking while comprehending breakdown scenarios about everyday devices.* Manuscrito en preparación.

GRAESSER, A. C., y PERSON, N. K. (1994). Question asking during tutoring. *American Educational Research Journal,* 31, 104-137.

GRAESSER, A. C., PERSON, N. K., y MAGLIANO, J. P. (1995). Collaborative dialogue patterns in naturalistic one-to-one tutoring. *Applied Cognitive Psychology,* 9, 495-522.

GRAESSER, A. C., SINGER, M., y TRABASSO, T. (1994). Constructing inferences during narrative text comprehension. *Psychological Review,* 101, 371-95.

GRAESSER, A. C., WIEMER-HASTINGS, P., y WIEMER-HASTINGS, K. (2001). Constructing inferences and relations during text comprehension. In T. Sanders, J. Schilperoord, y W. Spooren (eds.), *Text representation: Linguistic and psycholinguistic aspects*. Amsterdam: John Benjamins.

GRAESSER, A. C., WIEMER-HASTINGS, K., WIEMER-HASTINGS, P., KREUZ, R., y TRG (1999). AutoTutor: A simulation of a human tutor. Journal of Cognitive Systems Research, 1, 35-51.

HACKER, D. J., DUNLOSKY, J., y GRAESSER, A. C. (eds..) (1998). *Metacognition in educational theory and practice*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

HEGARTY, M., y JUST, M. A. (1993). Constructing mental models of machines from text and diagrams. *Journal of Memory and Language,* 32, 717-742.

KING, A. (1994). Guiding knowledge construction in the classroom: Effects of teaching children how to question and how to explain. *American Educational Research Journal,* 31, 338-368.

KINTSCH, W. A. (1998). *Comprehension: A paradigm in cognition.* Cambridge: Cambridge University Press.

LAPOINTE, L. B., y ENGLE, R. W. (1990). Simple and complex word spans as measures of working memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General,* 64, 1118-1133.

LEHMANN, F. (ed.) (1992). *Semantic networks in artificial intelligence*. New York: Pergamon.

LENAT, D. B. (1995). CYC: A large-scale investment in knowledge infrastructure. *Communications of the ACM*, 38, 33-38.

MACAULAY, D. (1988). *The way things work*. Boston: Houghton Mifflin.

MAYER, R. E., y ANDERSON, R. B. (1992). The instructive animation: Helping students to build connections between words and pictures in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology, 84*, 405-412.

MAYER, R. E., y SIMS, V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dual-code theory of multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 86, 389-401.

MILLIS, K., y GRAESSER, A. (1994). The time-course of constructing knowledge-based inferences for scientific texts. *Journal of Memory and Language*, 33, 583-599.

MIYAKE, N., y NORMAN, D. A. (1979). To ask a question one must know enough to know what is not known. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior,* 18, 357-364.

NARAYANAN, N. H. y HEGARTY, M. (1998). On designing comprehensible interactive hypermedia manuals. *International Journal of Human-Computer Studies,* 48, 267-301.

NOORMAN, L. G. M., VONK, W., y KEMPFF, H. J. (1992). Causal inferences during the reading of expository texts. *Journal of Memory and Language,* 31, 573-590.

OTERO, J. (1998). Influence of knowledge activation and context on comprehension monitoring of science texts. En Hacker, D., Dunlosky, J., and Graesser. A. C. (eds.), *Metacognition in educational theory and practice*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 145-164.

OTERO, J., y CAMPANARIO, J. M. (1990). Comprehension evaluation and regulation in learning from science texts. *Journal of Research in Science Teaching,* 27, 447-460.

OTERO, J., y GRAESSER, A. C. (2001). PREG: Elements of a model of question asking. *Cognition and Instruction,* 19, 143-175.

OTERO, J., y KINTSCH, W. (1992). Failures to detect contradictions in text: What readers believe vs. what the read. *Psychological Science,* 3, 229-235.

PALINCSAR, A. S. y BROWN, A. (1984). Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition y Instruction,* 1, 117-175.

PERFETTI, C. A., BRITT, M. A., y GEORGI, (1995). *Text-based learning and reasoning: Studies in history*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

SCARDAMALIA, M. y BEREITER, C. (1985). Fostering the development of self-regulation in children's knowledge processing. In S.F. Chipman, J. W. Segal, y R. Glaser (eds.). *Thinking and learning skills: Research and open questions*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, Vol. 2, 563-578.

SCHANK, R. C., KASS, A., y RIESBECK, C. K. (1994). *Inside case-based explanation*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

SHNEIDERMAN, B. (1998). *Designing the user interface: Strategies for effective human-computer interaction* (3ª ed.). Reading, MA: Addison Wesley.

SINGER, M., HARKNESS, D., y STEWART, S.T. (1997). Constructing inferences in expository text comprehension. *Discourse Processes*, 24, 199-228.

STANOVICH, K. E. y CUNNINGHAM, A. E. (1992). Studying the consequences of literacy within a literate society: The cognitive correlates of print exposure. *Memory y Cognition,* 20, 51-68.

TRABASSO, T. y VAN DEN BROEK, P. (1985). Causal thinking and the representation of narrative events. *Journal of Memory and Language,* 24, 612-630.

WILEY, J. y VOSS, J. F. (1999) Constructing arguments from multiple sources: Tasks that promote understanding and not just memory for text. *Journal of Educational Psychology,* 91, 1-11.

WILLIAMS, K. E., HULTMAN, E., y GRAESSER, A. C. (1998). CAT: A tool for eliciting knowledge on how to perform procedures. *Behavior Research Methods, Instruments, y Computers,* 30, 565-572.

ZWAAN, R. A. y RADVANSKY, G. A. (1998). Situation models in language comprehension and memory. *Psychological Bulletin,* 123, 162-185.

Resumen

El propósito de este artículo es discutir el papel de las inferencias y las preguntas cuando se intenta comprender un texto científico. Si el texto científico es comprendido, el lector debería ser capaz de generar inferencias a un nivel más profundo de representación, es decir, en el nivel de los mecanismos causales. El artículo está dividido en tres partes. La primera bosqueja las habilidades cognitivas necesarias para la alfabetización cognitiva en la moderna era de la informática. La segunda parte trata sobre las representaciones cognitivas que se construyen durante la comprensión profunda, así como los mecanismos de generación de preguntas. Como avance, diremos que nuestra hipótesis es que la comprensión profunda se pone de manifiesto en las preguntas que realiza una persona cuando se enfrenta a una situación problemática. La tercera parte trata sobre un estudio que llevamos a cabo sobre la comprensión de textos ilustrados que se refieren a aparatos cotidianos.

Abstract

The purpose of this article is to discuss the role of inferences and questions when learners attempt to comprehend scientific text. When a scientific text is understood, the comprehender should be able to generate inferences at deeper levels of representation, namely the causal mechanisms. The article is divided into three sections. The first section sketches the cognitive skills that are needed for cognitive literacy in a modern electronic

age. The second section discusses the cognitive representations that are constructed during deep comprehension, as well as the mechanisms that generate questions. We advance the argument that deep comprehension is manifested in the questions that a person asks when confronted with a breakdown scenario. The third section reports a study that we are currently conducting that investigates the comprehension of illustrated texts on everyday devices.

Arthur C. Graesser
Brent Olde
Victoria Pomeroy
Shannon Whitten
Shulan Lu
Scotty Craig
Psychology Departament
202 Psychology Building
University of Memphis
Memphis. T14 38152-3230
a-graesser@memphis.edu