

Teoría de la carga cognitiva, diseño multimedia y aprendizaje: *un estado del arte*

Cognitive Load Theory, Design and Multimedia Learning: A State of the Art
Théorie de la charge cognitive, dessin multimédia et apprentissage: un état de l'art
Teoria da carga cognitiva, desenho multimídia e aprendizagem: um estado da arte

Fecha de recepción: 18 DE JULIO DE 2011 / Fecha de aceptación: 5 DE SEPTIEMBRE DE 2012
Encuentre este artículo en <http://magisinvestigacioneducacion.javeriana.edu.co/>

SICI: 2027-1174(201212)5:10<75:TCDDMA>2.0.TX;2-N

Escrito por LUIS ALEJANDRO ANDRADE-LOTERO
INDIANA UNIVERSITY
BLOOMINGTON, ESTADOS UNIDOS
laandrad@indiana.edu

Resumen

En este artículo de revisión se presenta un resumen de la Teoría de la Carga Cognitiva y la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia. Se dan algunos ejemplos de investigaciones empíricas y se reflexiona acerca del valor explicativo de estas teorías del aprendizaje. Se exponen diez principios para el diseño de material instruccional. No obstante, otras investigaciones han encontrado limitaciones en el uso y práctica de estas teorías. Se refieren principalmente a la medición de la carga cognitiva, a la experiencia, al conocimiento previo de los aprendices y a la motivación y aspectos afectivos que intervienen en el proceso de aprendizaje.

Palabras clave autor

Aprendizaje, carga cognitiva, e-learning, multimedia, diseño instruccional.

Palabras clave descriptor

Aprendizaje cognoscitivo, diseño de sistemas de enseñanza, tecnología educativa, multimedia interactiva en la educación.

Transferencia a la práctica

El auge investigativo en psicología educativa de las últimas décadas ha resaltado la necesidad de que los diseñadores de material educativo tengan siempre presente los procesos cognitivos asociados con el aprendizaje. Este artículo ofrece un estado del arte acerca de los principales temas de investigación en el diseño multimedia y otros materiales instruccionales. Estas investigaciones se basan en la Teoría de la Carga Cognitiva (TCC) (Sweller, 1994) y la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia (TCAM) (Mayer, 2005), las cuales presentan un interesante panorama conceptual para comprender cómo mejorar el aprendizaje apoyado en estos medios electrónicos. Solo así, los educadores podrán seleccionar con fundamento los contenidos y diseños instruccionales que mejor se acomoden a los objetivos de aprendizaje de sus estudiantes. Educadores, pedagogos e investigadores interesados en e-learning pueden beneficiarse con este artículo y encontrar en esta teoría un marco de referencia para entender los requerimientos conceptuales para el diseño de este tipo de materiales. Predominantemente, estas ideas han tenido especial interés en el mundo anglosajón; actualmente, la literatura en español acerca de este tema se ha quedado corta en cuanto a publicaciones académicas —para una referencia en español, ver por ejemplo Sonia Rodríguez-Soto y Mynor Chacón-Díaz (2008)—.

Para citar este artículo / To cite this article / Pour citer cet article / Para citar este artigo

Andrade-Lotero, L. A. (2012). Teoría de la carga cognitiva, diseño multimedia y aprendizaje: un estado del arte. *magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*, 5 (10), 75-92.

Key words author

Learning, Cognitive Load, E-learning, Multimedia, Instructional Design.

Key words plus

Cognitive Learning, Instructional Systems – Design, Educational Technology, Interactive Multimedia in Education.

Abstract

In this review article is a summary of the Cognitive Load Theory and Cognitive Theory of Multimedia Learning. Some examples of empirical research and considerations on the explanatory value of these learning theories are given, and ten principles for designing instructional material are shown. However, other research has found limitations in the use and practice of these theories. They mainly concern the measurement of cognitive load, experience and prior knowledge of the learners, as well as motivation and emotional aspects involved in the learning process.

Transference to practice

The rise in educational psychology research in recent decades has highlighted the need for instructional designers constantly aware cognitive processes associated with learning. This article provides a state of the art on the main research topics in multimedia design and other instructional materials. These investigations are based on Cognitive Load Theory (CBT) (Sweller, 1994) and the Cognitive Theory of Multimedia Learning (TCAM) (Mayer, 2005), which provide an interesting picture for understanding how to improve learning supported in these electronic means. Only in this way, educators can select on the basis of content and instructional designs that best suit the goals of student learning. Educators, teachers and researchers interested in e-learning can benefit from this article, and find in this theory a framework for understanding the conceptual requirements for the design of such materials. For the most part, these ideas have taken special interest in the Anglo-Saxon world, and currently in Spanish literature on this topic has fallen short in terms of academic publications, for a reference in Spanish, see e.g. Sonia Rodríguez-Soto and Mynor Chacón-Díaz (2008).

Palavras-chave autor

Apprentissage, charge cognitive, e-learning, multimédia, dessin d'instruction.

Palavras-chave descritor

Apprentissage cognitif, conception pédagogique des systèmes, technologie de l'éducation, multimédia interactif en éducation.

Résumé

Dans cet article de révision on présente un résumé de la théorie de la charge cognitive et la théorie cognitive de l'apprentissage multimédia. On fournit des exemples de recherches empiriques et on fait une réflexion par rapport à l'importance explicative de ces théories d'apprentissage. On présente dix principes pour le dessin du matériel d'instruction. Malgré les recherches qu'ont trouvé des limitations dans l'usage et la pratique de ces théories. Elles font référence, notamment à la mesure de la charge cognitive, à l'expérience et la connaissance préalable des apprenants et aussi à la motivation et aux aspects affectifs qui interviennent dans le processus de l'apprentissage.

Transfert à la pratique

L'essor de la recherche en psychologie éducative dans les dernières décennies a montré le besoin de faire connaître aux dessinateurs du matériel éducatif les processus cognitifs associées à l'apprentissage. Le présent article fournit un état de l'art par rapport aux principaux sujets de recherche dans le dessin multimédia et dans d'autres matériels d'instruction. Ces recherches ont leur base dans la Théorie de la Charge Cognitive de l'Apprentissage Multimédia (TCAM) (Mayer, 2005), lesquelles fournissent un intéressant panorama conceptuel pour comprendre comment améliorer l'apprentissage soutenu dans ces moyens électroniques. Seulement ainsi, les éducateurs et chercheurs intéressés dans le e-learning pourront se bénéficier avec cet article, et trouver dans cette théorie un cadre de référence pour comprendre les requêtes conceptuelles pour le dessin de ce type de matériels. Notamment ces idées ont eu un intérêt dans le monde anglosaxon, et actuellement la littérature en espagnol par rapport à ce sujet est moins importante en ce qui concerne les publications académiques — pour une référence en espagnol, voir par exemple Sonia Rodríguez-Soto et Mynor Chacón-Díaz (2008).

Palavras-chave autor

Aprendizagem, carga cognitiva, e-learning, multimídia, desenho instrucional.

Palavras-chave descritor

Aprendizagem cognitiva, projeto de sistemas de instrução, tecnologia educacional, multimídia interativa em educação.

Resumo

Neste artigo de revisão se apresenta um resumo da teoria da carga cognitiva e da teoria cognitiva da aprendizagem multimídia. Apresentam-se alguns exemplos de pesquisas empíricas e se reflete a respeito do valor explicativo destas teorias da aprendizagem. São expostos dez princípios para o desenho de material instrucional. Afirma-se também que outras pesquisas encontraram limitações no uso e prática destas teorias. Estas se referem principalmente à medição da carga cognitiva, à experiência e conhecimento prévio dos aprendizes, bem como à motivação e aspectos afetivos que intervêm no processo de aprendizagem.

Transferência à prática

O auge investigativo em psicologia educacional das últimas décadas ressaltou a necessidade de os desenhistas de material educativo sempre considerarem os processos cognitivos associados com a aprendizagem. O presente artigo oferece um estado da arte a respeito dos principais temas da pesquisa no desenho multimídia e em outros materiais instrucionais. Estas pesquisas se baseiam na Teoria da Carga Cognitiva (TCC) (Sweller, 1994) e na Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia (TCAM) (R. E. Mayer, 2005), as quais oferecem um interessante panorama conceitual para compreender como melhorar a aprendizagem apoiada nestes meios eletrônicos. Só assim os educadores poderão selecionar com fundamento os conteúdos e desenhos instrucionais que melhor se acomodem aos objetivos de aprendizagem de seus estudantes. Educadores, pedagogos e pesquisadores interessados em e-learning podem se beneficiar deste artigo e encontrar nesta teoria um marco de referência para entender os requisitos conceituais para o desenho deste tipo de material. Predominantemente estas ideias tiveram especial interesse no mundo anglo-saxônico e atualmente a literatura em espanhol a respeito deste tema ficou curta quanto a publicações acadêmicas — para uma referência em espanhol, ver por exemplo Rodríguez Soto e Chacón Díaz (2008).

Introducción

A finales de la década de 1980, con el auge de la multimedia y las nuevas posibilidades que brindaba el computador en cuanto a gráficas y sonido, varios investigadores comenzaron a estudiar de qué manera estas herramientas podrían favorecer el aprendizaje. En efecto, la Teoría de la Carga Cognitiva (TCC) (Sweller, 1994) y más adelante, la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia (TCAM) (Mayer, 2005), se presentan como un marco conceptual perteneciente a las ciencias cognitivas que pretenden mejorar los ambientes multimedia o *e-learning* (Chong, 2005). Esta corriente se sitúa dentro del paradigma del procesamiento de la información, según el cual la cognición del ser humano es un "Sistema Natural de Procesamiento de Información" (Paas, Renkl & Sweller, 2004). Así pues, se propone alinear el diseño instruccional teniendo en cuenta la manera como el ser humano procesa la información procedente de su entorno.

Los principales exponentes de estas teorías pertenecen a universidades australianas, holandesas y estadounidenses. Algunos de los autores más importantes son, entre otros: John Sweller, de la Universidad de New South Wales (Sydney, Australia), quien inicialmente planteó la Teoría de la Carga Cognitiva; Fred Paas, de la Universidad Abierta de los Países Bajos (Rotterdam); Jeroen van Merriënboer, de la Universidad Libre de Ámsterdam (Ámsterdam); y por último, aunque no menos importante, Richard E. Mayer de la Universidad de California (Santa Bárbara), quien integró la TCC (Sweller, 1994), la Teoría de la Codificación Dual (Paivio, 1986, 1991), el Modelo de Memoria de Trabajo (Baddeley, 1992), las aplicó principalmente a la multimedia y llamó este resultado Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia (Mayer, 2005; Mayer & Sims, 1994).

Ahora bien, los propósitos del presente artículo son: a) hacer una síntesis de las ideas que conforman la TCC y la TCAM; b) mostrar algunos de los campos de aplicación de las investigaciones y aplicaciones empíricas; y c) reflexionar acerca del valor explicativo de este marco conceptual como una teoría del aprendizaje.

La Teoría de la Carga Cognitiva y la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia

La Teoría de la Carga Cognitiva (Sweller, 1994) y la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia (Mayer, 2005), en esencia, pretenden *alinear* el diseño de material instruccional con la Arquitectura Cognitiva Humana (ACH). Sus premisas son que los aprendices tienen una muy limitada capacidad de memoria de trabajo cuando deben enfrentarse con nueva información. Por ello, el aprendizaje se verá amenazado si los materiales instruccionales sobrecargan estos recursos. Dado que la información proveniente del entorno es recibida y procesada por medio de canales parcialmente independientes (auditivo y visual), la memoria de trabajo se puede ver beneficiada si el medio de presentación utiliza varios canales al mismo tiempo y/o evita sobrecargar uno solo. Además, la información nueva podrá ser adquirida solo si la actividad mental del aprendiz puede relacionarla con los esquemas mentales de la información previamente almacenada en la memoria de largo plazo (Clark & Mayer, 2007; Mayer, 2005).

A continuación, se describirá someramente cómo los teóricos de la TCC entienden la manera en que la mente está estructurada dentro del cerebro. A esto se le ha llamado la Arquitectura Cognitiva Humana, ACH (Sweller, 2008). También se considerarán los tipos de carga cognitiva que componen el procesamiento mental y su relación con el almacena-

Descripción del artículo | Article description | Description de l'article | Artigo descrição

Este artículo de revisión, derivado de la investigación *Estudio comparativo de la influencia del uso de representaciones externas con distintos grados de manipulación física (pictóricas, tangibles y digital-mouse) en los procesos mentales de carga cognitiva y mapeo cognitivo durante tareas de formación de conceptos artificiales en niños de 5 a 7 años*, presenta un estado del arte acerca de los principales temas de investigación en el diseño multimedia y otros materiales instruccionales. Las investigaciones revisadas se basan en la Teoría de la Carga Cognitiva (TCC) (Sweller, 1994) y la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia (Mayer, 2005) que ofrecen un interesante panorama conceptual para comprender cómo mejorar el aprendizaje apoyado en estos medios electrónicos.

La investigación en la que se enmarca el artículo fue desarrollada por el grupo de investigación Tendencias Actuales en Educación y Pedagogía, de la Universidad San Buenaventura de Bogotá, Colombia, entre 2009 y 2011.

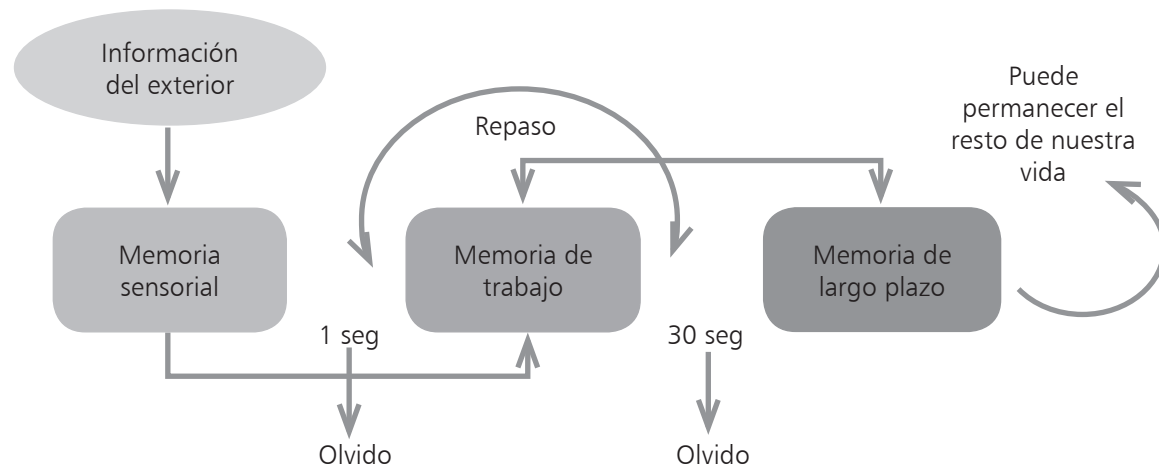
miento de la información a largo plazo. Además, se explican brevemente las consecuencias que se producen sobre el aprendizaje al modificar la presentación del material instruccional y alinearla con la ACH, es decir, lo que en esta literatura se conoce como *principios de aplicación*.

Arquitectura Cognitiva Humana, ACH

Entender la forma como el cerebro piensa es uno de los principales retos para explicar y mejorar el aprendizaje. Según los teóricos de la TCC, cualquier instrucción o enseñanza es efectiva solo si su diseño ha tenido en cuenta las características de la cognición humana.

Así pues, la arquitectura cognitiva es la manera como las estructuras y funciones cognitivas del ser humano están organizadas. Según la TCC, la información que entra al cerebro es procesada en tres diferentes estructuras, a saber: a) la memoria sensorial, b) la memoria de trabajo, y c) la memoria de largo plazo (figura 1).

Figura 1
Estructura de la Arquitectura Cognitiva Humana, ACH



Fuente: elaborado con base en Dale Shaffer, Wendy Doube y Juhani Touvinen, 2003

Memoria sensorial

Los canales sensoriales son sistemas como el visual y el auditivo, que constituyen la clave de nuestra capacidad para localizar los diferentes estímulos del entorno. La memoria sensorial recibe el estímulo de los sentidos y lo almacena por un muy corto tiempo (entre 1 y 3 segundos). Su función es convertir los estímulos sonoros y de la vista en información auditiva y visual. No obstante no les asigna significado. Ambos canales se encuentran separados y la información que allí llega se procesa independientemente (Shaffer, Doube & Tuovinen, 2003).

Memoria de trabajo

La memoria de trabajo permite retener y manipular la información por períodos cortos (de 15 a 30 segundos). El procesamiento de la información en esta memoria está relacionado con la actividad que estamos realizando de manera consciente (Sweller, 2006a). Para la TCC, una de las más importantes características de la memoria de trabajo es su limitada capacidad de procesamiento. Según ciertos autores, esta apenas puede manejar siete ítems a la vez (Miller, 1956). No obstante, estas restricciones se aplican únicamente a toda información nueva que no está vinculada con esquemas de la memoria de largo plazo (Shaffer, Doube & Tuovinen, 2003).

Además, recientes investigaciones han planteado que la memoria de trabajo está dividida en tres procesadores o canales (Chong, 2005). La información procesada en esta memoria está distribuida en dos procesadores parcialmente independientes, el auditivo y el visual, los cuales manipulan la información verbal y pictórica respectivamente. Adicionalmente, existe un tercer procesador conocido como central-ejecutivo, que es el responsable de coordinar el procesamiento de la información que entra y sale de la memoria de trabajo.

Memoria de largo plazo

A diferencia de la memoria a corto plazo, la memoria de largo plazo es ilimitada. Este tipo de memoria está encargado de almacenar información diversa relacionada con hechos, conceptos, imágenes, recuerdos y procedimientos, entre otros aspectos. Este tipo de memoria organiza y almacena la información en "esquemas" o constructos cognitivos que incorporan múltiples unidades de información dentro de una unidad singular de mayor nivel. Los esquemas son construidos en la memoria de trabajo y permiten procesar una cantidad mayor de información para crear pedazos más grandes de empaquetamiento (o *chunks*). No obstante, para que estos empaquetamientos se vuelvan esquemas, es necesaria su organización jerárquica. Es decir, mediante los esquemas se categorizan los conocimientos, para facilitar su posterior recuperación y aplicación en tareas particulares (Shaffer, Doube & Tuovinen, 2003).

En teoría, los esquemas no consumen recursos cognitivos cuando son automatizados luego de una extensa práctica. La automatización como complemento de la construcción de esquemas se refiere al proceso mediante el cual la información almacenada en esos esquemas se procesa de forma automática e inconsciente. En este sentido, el desarrollo de habilidades mediante la práctica contribuye a garantizar la ejecución espontánea y fácil de una tarea, puesto que la memoria de trabajo no se encuentra sobrecargada con demasiada información a procesar al mismo tiempo (Sweller, 2002).

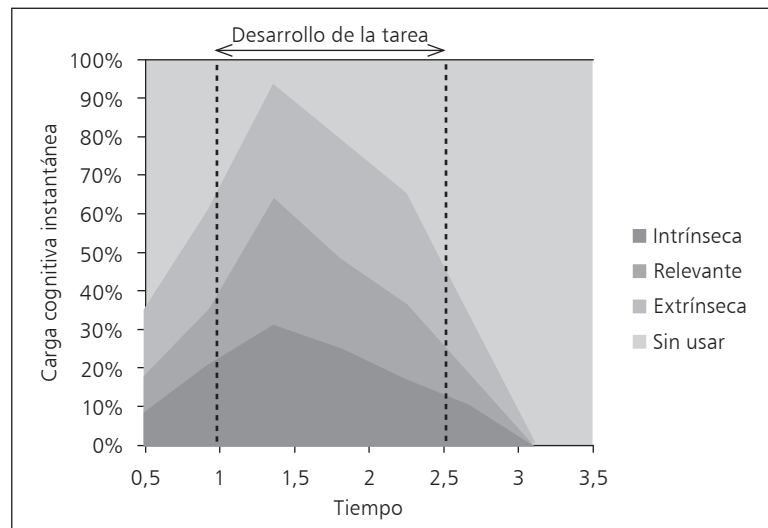
Debido a que todo contenido nuevo debe ser procesado en la memoria de trabajo, demasiada carga cognitiva puede impedir que el sujeto dedique recursos valiosos para la formación de esquemas y almacenamiento de información a largo plazo. Según la TCC, la carga cognitiva es la cantidad total de actividad mental procesada conscientemente en un momento dado cuando un sujeto está resolviendo una tarea (Paas, Tuovinen, Tabbers & van Gerven, 2003). No obstante, no toda la carga cognitiva es del mismo tipo. A continuación, se describen las clases de carga cognitiva y su relación con la memoria de corto y largo plazo.

Tipos de carga cognitiva

Fred Paas, Juhani E. Tuovinen, Huib Tabbers y Pascal W. M. van Gerven (2003) distinguen tres tipos de carga cognitiva, a saber: a) intrínseca, b) extrínseca y c) relevante (o germánica) (figura 2).

Figura 2

Gráfico de la memoria de trabajo de un sujeto mientras resuelve una tarea



Fuente: elaborado con base en Fred Paas, Juhani E. Tuovinen, Huib Tabbers y Pascal W. M. van Gerven, 2003

Carga cognitiva intrínseca

Se refiere a aquella carga inherente a la complejidad de la tarea y al nivel de experiencia del aprendiz. Depende entonces de dos variables: por un lado, la dificultad intrínseca del material a aprender, y por el otro, la pericia del aprendiz. En este sentido, la información previa deberá tenerse en cuenta, pues los empaquetamientos (o *chunks*) que ya están formados en la memoria de largo plazo influyen directamente en la capacidad de la memoria de trabajo del aprendiz. Una tarea específica puede ser compleja para un novato; no obstante, será sencilla para el experto (Chong, 2005).

Carga cognitiva extrínseca

Está relacionada con aquella carga innecesaria que satura, contamina y afecta la memoria de trabajo. Cuando el aprendiz está interactuando con un material o interfaz cuyo diseño o ejecución están dotados de elementos irrelevantes, aumenta la carga extrínseca, la cual entorpece los procesos tanto de construcción como de automatización de esquemas. Según Anthony R. Artino (2008), el mal diseño instruccional es aquel que no favorece el aprendizaje e introduce "ruido", por lo que el aprendiz utilizará sus limitados recursos cognitivos para poner atención a aspectos poco relevantes en la resolución de la tarea. Además, como la carga cognitiva es aditiva, las cargas intrínseca y extrínseca se suman, lo cual deja poco espacio para la carga relevante.

Carga cognitiva relevante (o Germánica)

Por definición, la carga relevante es la directamente responsable de contribuir al aprendizaje. Se constituye a partir de procesos cognitivos adecuados, como las abstracciones y las elaboraciones. Este tipo de carga está relacionada con el diseño de la interfaz, puesto que la manera como se presente la información y el tipo de actividades que se sugieran, puede favorecer el aprendizaje del individuo. Aunque la carga relevante también se suma a la carga cognitiva total, esta representa los recursos invertidos directamente al aprendizaje del material, como la construcción de esquemas (Artino, 2008).

Medición de la carga cognitiva

Para la realización de los estudios empíricos, los investigadores han apelado a varias maneras de medir la carga cognitiva. Según los teóricos, la medición de la carga cognitiva ha contribuido al éxito de la TCC y es indispensable para su futuro desarrollo. Para entender la medición, se ha definido una serie de conceptos relacionados. La carga cognitiva ha sido definida como "la carga que el desempeño de una tarea particular impone sobre el sistema cognitivo del aprendiz" (Paas, Tuovinen, Tabbers & van Gerven, 2003, p. 64). Este constructo teórico no puede ser medido directamente, así que los investigadores se han apoyado en la evaluación de dimensiones medibles, como la carga mental, el esfuerzo mental y el desempeño.

Carga mental

La carga mental se origina en la interacción entre a) las características de una tarea y b) las características del sujeto. Diferentes tareas pueden ser más complejas o sencillas, dependiendo por ejemplo de cuántos pasos sea necesario realizar o cuánta precisión requieren. Por su parte, distintos sujetos pueden tener habilidades, aptitudes y niveles diferentes de pericia para cierto tipo de tareas. Según los teóricos, la carga mental puede ser medida sobre la base de evaluar las características de estas dos variables, lo cual proveería una indicación de las demandas esperadas en la capacidad mental de un tipo de aprendiz para resolver una tarea determinada. En esencia, funciona como un estimado *a priori* de la carga cognitiva.

Esfuerzo mental

Este aspecto se refiere a los recursos cognitivos que en un momento dado se destinan para resolver una tarea. En este sentido, se considera que refleja la carga cognitiva "instantánea" (o actual). En efecto, el esfuerzo mental usualmente se mide cuando los participantes están realizando la tarea o inmediatamente después de terminarla (Hart, 2006).

Desempeño

Fred Paas, Juhani E. Tuovinen, Huib Tabbers y Pascal W. M. van Gerven (2003) consideran el desempeño un aspecto de la carga cognitiva. Este se entiende como los logros cuantificables del aprendiz, por ejemplo, el número correcto de respuestas, la cantidad de errores o el tiempo que le llevó resolver la tarea. Según los autores, puede ser medida mientras la gente está trabajando o inmediatamente después.

Métodos de medición de la carga cognitiva

La medición de la carga cognitiva se ha realizado principalmente por medio de dos técnicas: analíticas

y empíricas (Paas, Tuovinen, Tabbers & van Gerven, 2003). Los métodos analíticos son estimados de la cantidad de carga mental que una persona requeriría para resolver un problema determinado. Estas estimaciones se han basado en juicios de expertos en el dominio de la tarea y en modelos matemáticos de análisis.

De otra parte, los métodos empíricos usualmente miden el esfuerzo mental de los participantes por medio de instrumentos subjetivos. Por ejemplo, muchos de ellos han hecho uso de encuestas basadas en escalas Likert, las cuales registran el reporte introspectivo de esfuerzo mental que están requiriendo o han requerido los participantes al resolver una tarea (Rolo-González, Díaz-Cabrera & Hernández-Fernaud, 2009; Rubio, Díaz, Martín & Puente, 2004). También se han utilizado técnicas psicofisiológicas que intentan medir el nivel de actividad cerebral durante el desempeño (Paas, Tuovinen, Tabbers & van Gerven, 2003).

Implicaciones para el diseño de la interfaz

Para la TCC, considerar la interacción entre la presentación de la instrucción externa y la estructura cognitiva interna es esencial para el aprendizaje. Como la memoria de trabajo es limitada, un exceso de carga cognitiva es perjudicial para el aprendizaje. Por ello, los materiales instruccionales deben ayudar a reducir la carga cognitiva. Según las ideas de la TCC, es necesario disminuir la carga cognitiva extrínseca para aumentar el espacio de la carga relevante en la memoria de trabajo (Chong, 2005; Shaffer, Doube & Tuovinen, 2003).

Para la TCC, el aprendizaje es el cambio en la cantidad de información acumulada en la memoria de largo plazo. Así pues, la función de la enseñanza, en definitiva, es aumentar la información útil en los esquemas de los aprendices (Sweller, 2006a). Y como la construcción de esquemas se logra principalmente debido a la carga relevante, el aprendizaje es favorecido al reducir el exceso de carga cognitiva proveniente de la interfaz.

A continuación, se describen los efectos de la TCC sobre el diseño del material instruccional. Se han tenido en cuenta diez tipos de *principios de aplicación*, encontrados a lo largo de muchas investigaciones empíricas realizadas en diversas universidades del mundo por casi tres décadas (Chong, 2005; Kirschner, Ayres & Chandler, 2011).

Principios de aplicación de la TCC y la TCAM sobre la instrucción

Dado que los tres tipos de carga cognitiva son aditivos, el aumento o disminución de uno de ellos influirá directamente en la cantidad de recursos disponibles para los otros dos. Como la carga cognitiva

intrínseca no es fácil de manipular, pues depende de la complejidad del material y de la pericia del aprendiz sobre ese dominio, los primeros experimentos se centraron en disminuir la carga cognitiva extrínseca. De esta manera, se suponía que, a pesar de que la carga intrínseca se mantuviera igual, una disminución en la carga extrínseca dejaría más espacio y recursos cognitivos a la carga relevante (directa encargada de la construcción y automatización de esquemas). Posteriores estudios han considerado el papel de la pericia en los cambios de la configuración de la carga cognitiva, sobre todo en la disminución de la carga cognitiva intrínseca y el aumento de la carga cognitiva relevante (Bannert, 2002). A continuación, se describen diez principios de aplicación de la TCC y la TCAM sobre el diseño instruccional, así como también sobre el diseño de la interfaz:

Principio problemas con solución libre (Goal-free)

Se consigue una disminución de la carga cognitiva cuando el problema no tiene una única solución. Un problema de solución única es aquel en el que cada estudiante debe llegar a la misma solución, mientras que en un problema de solución libre cada estudiante llega a su propia solución. En este sentido, se desea evitar sobrecargar los recursos cognitivos cuando el aprendiz continuamente compara el estado final (objetivo) del problema frente al estado actual del problema. Sin embargo, los aprendices novatos tienden a utilizar esta última estrategia, la cual ha sido definida por John Sweller (2008) como “búsqueda aleatoria” o búsqueda por ensayo y error. Este tipo de estrategia es menos eficiente en términos de procesamiento cognitivo, en comparación con la estrategia de “trabajar hacia adelante”, usada por los expertos. Esta consiste en seleccionar una estrategia de aprendizaje que compara el tipo de problema con el repertorio conocido de procedimientos para la solución de problemas. Consecuentemente, cuando un aprendiz novato se enfrenta a un problema con solución libre, no utiliza la estrategia de búsqueda por ensayo y error, sino la de trabajar hacia adelante (Sweller, Mawer & Ward, 1983).

Principio ejemplos de problemas resueltos (Worked Example)

Esta aplicación instruccional apela al principio de “préstamo” y no al de “búsqueda aleatoria” (Sweller, 2008). Es decir, le ofrece al aprendiz ejemplos de problemas resueltos a la manera como la haría un experto en el campo. De esta manera, el aprendiz “toma prestado” los esquemas asociados con la resolución de un problema particular, en vez de gastar recursos cognitivos valiosos en una búsqueda por ensayo y error, que en cambio pueden ser dedicados al aprendizaje. El principio de “préstamo” responde a tres hallazgos experimentales de la psicología educativa, acerca de las diferencias entre las estrategias de resolución de problemas novato-experto. Estas investigaciones han mostrado que: a) la habilidad de resolución de problemas se confina a un dominio específico; b) que convertirse en experto toma un tiempo muy largo; y c) el conocimiento almacenado en la memoria de largo plazo es central. En este orden de ideas, para ser hábil solucionando problemas, se necesita una gran cantidad de conocimiento almacenado. Los numerosos esquemas guardados en la memoria de largo plazo le permiten al sujeto desempeñarse en función de diversos contextos. Por consiguiente, el objetivo principal de la instrucción debe ser asegurar que el conocimiento apropiado para desempeñarse hábilmente sea transferido adecuadamente a la memoria de largo plazo de los aprendices (Sweller, 2008).

Principio completar problemas

Este efecto es similar al anterior. No obstante, asume el inicio del desarrollo de la pericia en el aprendiz. Los problemas de completar son problemas parcialmente resueltos, excepto porque el aprendiz debe completar parte de la respuesta. De esta manera, los grados de libertad se reducen y se evita fomentar la estrategia de "búsqueda aleatoria", la cual aumentaría la carga cognitiva (Artino, 2008).

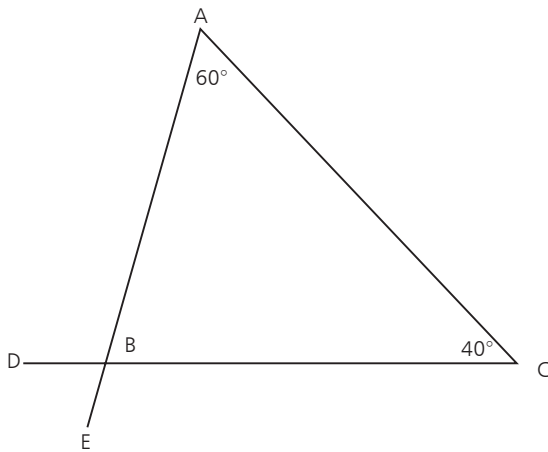
Principio atención dividida

Según la TCC y la TCAM, dos fuentes de información que no tienen sentido en sí mismas y que, a su vez, deben ser integradas mentalmente para com-

prender la información, deberían ser presentadas de manera asociada (Chong, 2005; Mayer, 2005). Usualmente, un mal diseño multimedia se ha relacionado con que la interfaz presenta de manera desagregada la información gráfica y escrita. Por ello, el sujeto requiere emplear muchos recursos cognitivos para integrar tal información, lo que sobrecarga la memoria viso-espacial. En cambio, se propone juntar espacialmente la información gráfica y escrita para reducir la carga cognitiva. En la figura 3 se muestra un ejemplo de esta instrucción: a la izquierda se presenta un material en el cual integrar la información requiere más esfuerzo mental; a la derecha, en contraste, se presenta el mismo gráfico con la información integrada.

Figura 3

Ejemplo del efecto atención dividida



In the above figure, find a value for Angle DBE.

Solution:

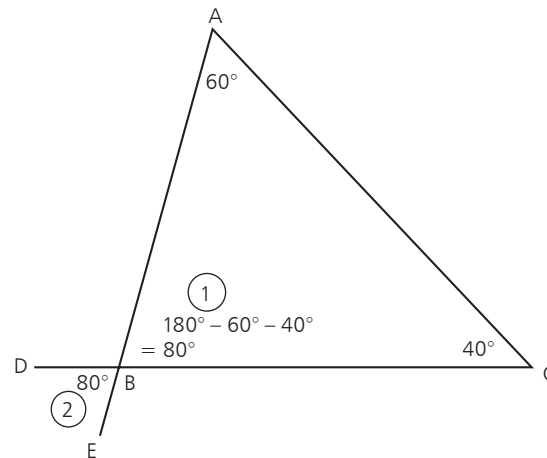
$$\begin{aligned} \text{Angle ABC} &= 180^\circ - \text{Angle BAC} - \text{Angle BCA (Internal angles of a} \\ &\quad \text{triangle add to } 180^\circ) \\ &= 180^\circ - 60^\circ - 40^\circ \\ &= 80^\circ \\ \text{Angle DBE} &= \text{Angle ABC (Vertically opposite angles are equal)} \\ &= 80^\circ \end{aligned}$$

An example of a conventional, split-attention diagram and text

Fuente: John Sweller, 2002

Principio modalidad

Este efecto pretende expandir la memoria de trabajo al usar múltiples canales sensoriales, en los cuales dos fuentes de información que no tienen sentido en sí mismas deben ser integradas mentalmente. De esta forma, los investigadores de la TCC y la TCAM han reemplazado las descripciones escritas por descripciones habladas. Este efecto asume que la memoria de trabajo no se sobrecarga, debido a que la información auditiva y visual es procesada de manera independiente. Los diseñadores han hecho extenso uso de este



An example of an integrated diagram and text

efecto para crear programas educativos multimedia, presentar evaluaciones en línea apoyadas en el computador (Clark & Mayer, 2007; Mayer, 2005; Tabbers, Martens & van Merriënboer, 2004).

Principio redundancia

Este efecto considera que múltiples fuentes de información que tienen sentido en sí mismas deberían ser reducidas a una sola. Para ello, se propone evaluar las diferentes fuentes de información y eliminar la menos efectiva. El aprendiz podría ignorar la información

que está de más; sin embargo, diferentes pruebas han demostrado que también termina desperdiciando recursos cognitivos al tratar de obviar la información redundante. Este efecto es proporcional al nivel de pericia, pues cuanto más experta es una persona, más capaz será de manejar información redundante (Chong, 2005). De hecho, se ha encontrado que los lectores avanzados se benefician más de materiales complejos que pueden incluir información redundante (Kalyuga, Ayres, Chandler & Sweller, 2003).

Principio imaginación

Este principio propone pedirle al aprendiz que repase mentalmente los procedimientos o conceptos sin los materiales de aprendizaje con los que ya ha trabajado. De esta manera, el aprendiz se ve obligado a estar y ser consciente de los procedimientos que debe utilizar, es decir, procesarlos en la memoria de trabajo. Las investigaciones parecen mostrar que es una técnica que rápidamente transfiere información a la memoria de largo plazo (Scheiter, Gerjets & Catrambone, 2004; Schwartz & Black, 1996; Sweller, 2008; Tindall-Ford & Sweller, 2006). No obstante, este efecto se ha pensado para expertos, pues estos ya cuentan con los esquemas que les permiten vislumbrar las estrategias de resolución del problema.

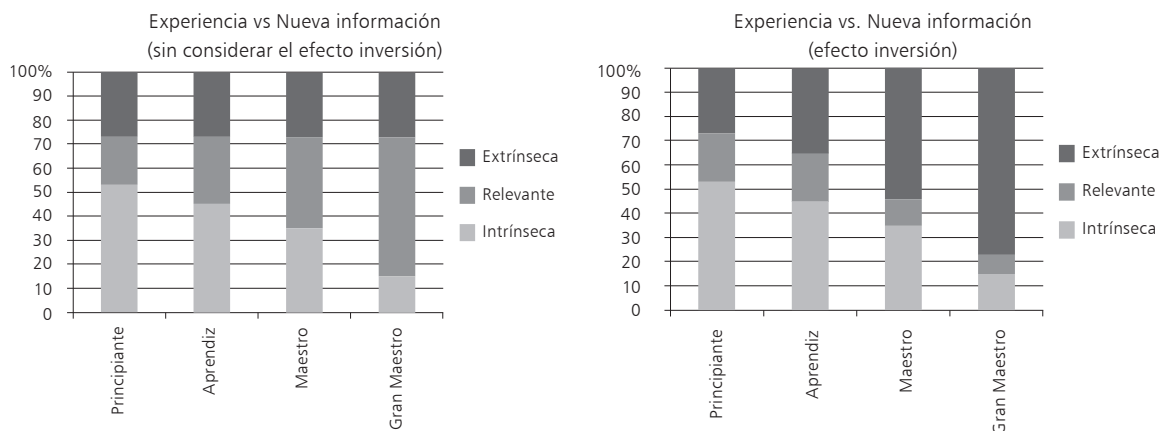
Principio interactividad

Al aprender material complejo, es decir, que tiene muchos elementos interactuando entre sí, podría ser necesario aprender primero los elementos y luego la relación entre ellos. Demasiados elementos con un nivel alto de interactividad pueden sobrecargar la memoria de trabajo y hacer imposible su aprendizaje. Así pues, el efecto interactividad predice que algunos de estos elementos deberán ser procesados en la memoria de trabajo de manera aislada hasta cuando puedan ser archivados y recuperados en la memoria de largo plazo como elementos de mayor nivel. Al final, los elementos así aprendidos, que interactúan desde la memoria de largo plazo, pueden ser combinados sin saturar la memoria de trabajo (Chong, 2005). Según John Sweller (2002), el efecto interactividad es una combinación de los efectos atención dividida, redundancia y modalidad, en interacción con la complejidad del material a ser aprendido.

Principio inversión por pericia

Este efecto tiene en cuenta el conocimiento previo y pericia del aprendiz. Las primeras investigaciones de la TCC consideraron únicamente la reducción de carga cognitiva general. No obstante, los resultados mostraron que durante la aplicación de las pruebas con aprendices de mayor pericia, el interfaz de los grupos control, el cual estaba diseñado para presentar mayor carga cognitiva, obtenía mejores puntajes que los diseños experimentales, pensados para producir menor carga cognitiva. Parece que cuando aumenta la pericia de una persona, lo que antes era una ayuda esencial para resolver el problema, se convierte en información redundante, lo que disminuye la *carga cognitiva intrínseca* y aumenta la *carga cognitiva extrínseca*. Por esto, fue llamado *principio inversión por aumento de pericia* (Kalyuga, Ayres, Chandler & Sweller, 2003). Una plausible explicación de este fenómeno es que conforme la carga cognitiva intrínseca disminuye, la carga cognitiva extrínseca aumenta proporcionalmente (figura 4). Otra manera de entender este problema es la siguiente: los novatos se favorecen de diseños de interfaz que reduzcan la carga cognitiva; al contrario, los expertos se favorecen al usar diseños que demanden altos niveles de carga cognitiva. Es decir, es beneficioso aumentar la ayuda a los aprendices novatos, pero reducir el nivel de ayuda a los aprendices más avanzados.

Figura 4.
El efecto inversión debido al aumento de pericia



Fuente: elaboración propia con base en Slava Kalyuga, Paul Ayres, Paul Chandler y John Swelles, 2003

Principio desvanecimiento del andamiaje

La idea del efecto desvanecimiento de la guía es proporcionar un andamiaje que se retira conforme aumenta la pericia. Como se expresó en el principio inversión, los materiales diseñados para reducir la carga cognitiva funcionan mejor con personas novatas y, por ello, conforme aumenta la pericia, los materiales deben acoplarse para disminuir el nivel de apoyo, lo que aumenta la interactividad y el nivel de complejidad de la información (Reiser, 2004). Debido a que la carga cognitiva extrínseca de un mismo material instruccional aumenta con respecto a la pericia, la respuesta debe ser aumentar progresivamente los efectos modalidad, interactividad, redundancia y atención dividida. El aumento en la carga extrínseca se puede explicar a partir del siguiente razonamiento: dado que la presentación de la información destinada a apoyar al aprendiz novato no puede ser obviada o ignorada por el aprendiz experto, termina convirtiéndose en una carga para

el procesamiento en la memoria de trabajo (Chong, 2005; Kalyuga, Ayres, Chandler & Sweller, 2003).

Algunas investigaciones aplicadas de TCC

Durante varias décadas se han realizado diversas investigaciones empíricas basadas en el constructo de "carga cognitiva". A continuación, se presenta una tabla en la que se categorizan algunos de las temáticas que han tenido en cuenta la relación entre carga cognitiva, presentación de materiales instruccionales y aprendizaje (tabla 1). Estas categorías pretenden ilustrar la extensa contribución de la TCC en las revistas científicas alrededor del mundo en la última década. Aunque no son exhaustivas, son una agrupación con el ánimo de concentrar algunos de los tópicos que es posible encontrar bajo las palabras claves "cognitive load theory" en las bases de datos académicas.

Tabla 1
Categorías de algunas investigaciones aplicadas de la TCC

No.	Categoría	Publicaciones
1	Sistemas naturales de información	(Fred Paas, Alexander Renkl & John Sweller, 2004; John Sweller, 2006b, 2008)
2	Resolución de problemas y Principio problemas con solución libre	(Ton de Jong, 2001; Josef Künsting, Joachim Wirth & Fred Paas, 2011; Roxana Moreno, 2006; John Sweller, 1988; John Sweller, Robert F. Mawer & Mark R. Ward, 1983; Joachim Wirth, Josef Künsting & Detlev Leutner, 2009)
3	"Autoexplicaciones", aprendizaje autodirigido y personalizado	(Shaaron E. Ainsworth & Andrea T. Loizou, 2003; Gemma Corbalan, Liesbeth Kester & Jeroen J. G. van Merriënboer, 2006; Robert G. M. Hausmann & Kurt Vanlehn, 2010; Slava Kalyuga, 2009; Jeroen J. G. van Merriënboer & Dominique M. A. Sluijsmans, 2009)
4	Principio imaginación	(Katharina Scheiter, Peter Gerjets & Richard Catrambone, 2004; Daniel L. Schwartz & John B. Black, 1996; Sharon Tindall-Ford & John Sweller, 2006)

No.	Categoría	Publicaciones
5	Interactividad o complejidad de los elementos de la tarea	(Paul A. Kirschner, 2002; John Sweller, 1994; Joachim Wirth, Josef Künsting & Detlev Leutner, 2009)
6	Pericia, conocimiento previo y andamiaje	(Shaaron E. Ainsworth, 2008b; Franck Amadieu, André Tricot & Claudette Mariné, 2009; Susan R. Goldman, 2009; Arthur C. Graesser & Danielle S. Mc-Namara, 2005; Slava Kalyuga, 2007; Brian J. Reiser, 2004; John Sweller, 2006a; John Sweller, Robert F. Mawer & Mark R. Ward, 1983)
7	Transferencia y metacognición	(Ton de Jong, 2001; Slava Kalyuga, 2009; Martin Valcke, 2002; Pieter Wouters, Fred Paas & Jeroen J. G. van Merriënboer, 2010)
8	Motivación	(Anthony R. Artino, 2008; I. Jung Chen & Chi-Cheng Chang, 2009; Susan R. Goldman, 2009; Jeroen J. G. van Merriënboer & John Sweller, 2005)
9	Animaciones	(Shaaron E. Ainsworth, 2008a; Ruth Colvin Clark & Richard E. Mayer, 2007; Katharina Scheiter, Peter Gerjets & Richard Catrambone, 2004; Pieter Wouters, Fred Paas & Jeroen J. G. van Merriënboer, 2010)
10	Principio modalidad y diseño multimedia	(Ruth Colvin Clark & Richard E. Mayer, 2007; Rochard E. Mayer, 2005; Sonia Rodríguez-Soto & Mynor Chacón-Díaz, 2008; Huib Tabbers, Rob L. Martens & Jeroen J. B. van Merriënboer, 2004)
11	Representaciones externas y carga cognitiva	(Shaaron E. Ainsworth, 2008b; Luis Alejandro Andrade-Lotero, Carolina Espitia-Gómez, Elquin Antonio Huertas-Franco, Derly Rocío Aldana-Ahumada & Paola Andrea Bacca-Pachón, 2012; Andrew Manches & Claire O'Malley, 2011; Taylor Martin & Daniel L. Schwartz, 2005; Hitendra Pillay, 1998; Katharina Scheiter, Peter Gerjets & Richard Catrambone, 2004; John Sweller, 2002)
12	Aprendices con necesidades educativas especiales y adultos mayores	(Pascal van Gerven, 2002; Pascal van Gerven, Fred Paas, Jeroen J. G. van Merriënboer & Henk G. Schmidt, 2002; Ulrich von Hecker & Stephan Dutke, 2004)
13	Aprendizaje colaborativo apoyado en computador, Interactividad computador-humano y Teoría de carga cognitiva (CSCL, HCI & CLT)	(Nina Hollender, Cristian Hofmann, Michael Deneke & Bernhard Schmitz, 2010; Femke Kirschner, Fred Paas & Paul A. Kirschner, 2009; Jan van Bruggen, Paul A. Kirschner & Wim Jochems, 2002)

Fuente: elaboración propia

Reflexiones acerca del aprendizaje

Para los investigadores de la TCC y la TCAM, la enseñanza multimedia y los ambientes de aprendizaje basados en computador deben tener un fundamento empírico. Además, el diseño de la instrucción debe estar sustentado en la comprensión de la cognición humana. Usar la tecnología solo por incorporarla al aula no conlleva ningún beneficio (Paas, Tuovinen, Tabbers y van Gerven, 2003; Sweller, 2008).

En ocasiones, las recomendaciones pueden ser contraintuitivas. Por ejemplo, buscar el realismo de la instrucción puede ser contraproducente. Puesto que los fenómenos en la realidad son complejos y tienen muchos elementos que interactúan simultáneamente, aprender de materiales realistas, como las animaciones, puede sobrecargar los limitados recursos cognitivos del aprendiz. Además, si el ser humano aprendiera siempre de la realidad, no habría razón para que hubieran surgido las instituciones educativas (Sweller, 2008). A su vez, la TCC recomienda enseñar por medio de la práctica intensiva ciertas partes del problema, aun si esas partes aisladas no se comprenden en ese momento. El objetivo será automatizar ciertos elementos para que

interactúen desde la memoria de largo plazo y solo luego presentar el problema complejo con todas sus interrelaciones (Sweller, 2006a).

Ahora bien, aunque la TCC ha podido explicar y mejorar el diseño de materiales instruccionales en varias áreas del aprendizaje al recurrir a principios de las ciencias cognitivas, la concepción misma del concepto de aprendizaje y los objetivos de la enseñanza propuestos por esta teoría no son compartidos por todas las posturas teóricas. Así pues, las críticas a la TCC y a la TCAM pueden dividirse en dos dimensiones; por un lado, a la metodología y la interpretación de los resultados y, por el otro, a los objetivos del aprendizaje.

Principales críticas a la TCC

De una parte, las principales críticas se relacionan con los diseños metodológicos aplicados para obtener los datos. Según Shaaron E. Ainsworth (2008b), las investigaciones iniciales acerca de los ambientes multimedia se preguntan únicamente acerca de si estos son efectivos para apoyar el aprendizaje. Además, los diseños empleados casi siempre usan novatos como aprendices, esperan que algo sea aprendido en

un período corto y evalúan los aprendizajes inmediatamente concluida la instrucción. No obstante, de acuerdo con Ainsworth (2008b), las verdaderas preguntas deberían ser más complejas y profundas, como: ¿bajo qué condiciones funciona aprender con un ambiente multimedia, para qué tipo de personas, en qué tipo de tareas y cuáles son los objetivos del aprendizaje?

Además, según Paul A. Kirschner, Paul Ayres y Paul Chandler (2011), el aspecto más conflictivo de la TCC es la medición de la carga cognitiva. Según estos autores, aunque las mediciones desarrolladas durante los primeros estudios tuvieron su utilidad, tal vez estas mediciones son limitadas para los diseños instruccionales más complejos de hoy. Estas mediciones se apoyaban en las escalas de esfuerzo mental desarrolladas por Paas, Tuovinen, Tabbers y van Gerven (2003). Sin embargo, será necesario perfeccionar los instrumentos que miden individualmente los diferentes tipos de carga cognitiva (intrínseca, extrínseca o relevante) y así apoyar los argumentos teóricos elaborados en las investigaciones (Bannert, 2002).

De otra parte, varios investigadores han destacado que el concepto de aprendizaje debe ir más allá de la mera memorización y automatización de procesos, y fomentar la reflexión y la comprensión profunda (Graesser & McNamara, 2005; Xie & Sharma, 2010). En este sentido, algunos autores afirman que basarse únicamente en la carga cognitiva no es suficiente, e incluso puede ser contraproducente a la hora de evaluar los logros de aprendizaje (van Nimwegen, Burgos, van Oostendorp & Schijf, 2006). Estas posiciones resaltan el uso de estrategias metacognitivas o enseñar a desarrollar procesos de control sobre la misma cognición. Por ello, otra perspectiva de investigación ha propuesto incorporar un andamiaje computarizado que acompañe al aprendiz a generar este tipo de herramientas metacognitivas. En este sentido, se han diseñado tutores virtuales que apoyan el razonamiento autoexplicativo. Esta metodología ha mostrado un avance para mejorar tanto el aprendizaje de contenido como de estrategias de aprendizaje (Graesser & McNamara, 2005).

Otras investigaciones hacen hincapié en que las investigaciones que hacen uso de la animación, la multimedia y la realidad virtual han arrojado resultados contradictorios (Ainsworth, 2008a). Por ello, la interpretación de los resultados debería considerar múltiples niveles de explicación. Según Shaaron E. Ainsworth (2008a), es cierto que las animaciones producen mayor esfuerzo cognitivo, que los aprendices novatos pueden hallar difícil desarrollar estrategias que les permitan aprender de las animaciones y que también pueden producir una “ilusión de comprensión” que interfiere con el aprendizaje exitoso. No obstante, existen otras dimensiones que deben ser tenidas en cuenta a la hora de evaluar estos materiales multimedia, como la importancia de las características expresivas de la animación, los factores afectivos y motivacionales, y las funciones comunicativas y de interacción social que pueden estar siendo favorecidas (Ainsworth, 2008a). Finalmente, se han encontrado resultados verdaderamente contradictorios frente al uso de “detalles llamativos” en las animaciones para mejorar el aprendizaje multimedia —por ejemplo, figuras 3D, objetos en movimiento o colores brillantes y cambiantes— (Kirschner, Ayres & Chandler, 2011).

Conclusiones

En el presente artículo se ha planteado que es necesario entender las estructuras de la cognición humana para mejorar el diseño de material instruccional. Los científicos de la TCC y la TCAM han desarrollado un marco teórico para comprender los fenómenos del aprendizaje basados en el planteamiento de una sencilla y específica Arquitectura Cognitiva

Humana. Esta arquitectura plantea que la información se manipula a lo largo de tres procesadores o memorias. La variable más importante a controlar es que la instrucción no debe sobrecargar la memoria de trabajo del aprendiz, lo cual impediría el aprendizaje. Así pues, la *carga cognitiva* debe ser el centro de atención, pues esta relaciona directamente el diseño de interfaz con el aprendizaje.

A partir de la TCC y la TCAM se han propuesto al menos diez diferentes *principios de aplicación* que pueden utilizarse para mejorar el diseño, o en otras palabras, para “alinearse” la enseñanza con la manera como la mente humana está configurada para procesar la información. En general, estos principios se refieren a considerar la manera como se presenta la información gráfica, escrita y auditiva. Algunas de las recomendaciones más conocidas son la integración de los gráficos con el texto, así como reemplazar las descripciones escritas por descripciones habladas (Mayer, 2005).

No obstante, debido a las diversas características de los dominios de aprendizaje y de los sujetos aprendices, los resultados de las investigaciones que prueban nuevos diseños multimedia han encontrado varias limitaciones. Estas, principalmente, se refieren a la medición de la carga cognitiva, a la experiencia y conocimiento previo de los sujetos, a la motivación y a otros aspectos afectivos frente al contenido y formato de la instrucción (Artino, 2008; van Merriënboer & Sweller, 2005).

Finalmente, las teorías sobre la cognición en ambientes multimedia como la TCC y la TCAM, seguirán siendo centrales para futuras investigaciones y aplicaciones de los llamados e-learning, b-learning, v-learning, etc. Principalmente, se seguirá trabajando acerca de la visualización y aprendizaje (gráficas, imágenes y texto en la pantalla), así como en el uso de conversaciones y cambiar las palabras por audio, por citar solo algunos ejemplos (Clark & Mayer, 2007; Kirschner, Ayres & Chandler, 2011; Mayer, 2005).

Sobre el autor

Luis Alejandro Andrade-Lotero es asistente de investigación y estudiante de doctorado en ciencias del aprendizaje, Indiana University. Magíster en educación, Pontificia Universidad Javeriana. Antropólogo, Universidad de los Andes. Tutor e investigador asociado a la Fundación Alandra-DifuCiencia.

Referencias

Ainsworth, S. (2008a). How do animations influence learning? En Daniel H. Robinson & Gregory Schraw (eds.). *Current Perspectives on Cogni-*

tion, Learning, and Instruction: Recent Innovations in Educational Technology that Facilitate Student Learning, 37-67. Charlotte, North Carolina: Information Age Publishing.

Ainsworth, S. (2008b). How Should We Evaluate Multimedia Learning Environments? En Richard Lowe, Wolfgang Schnotz & Jean-François Rouet (eds). *Understanding Multimedia Documents*, 249-265. London: Springer Science + Business Media.

Ainsworth, S. E. & Loizou, A. T. (2003). The Effects of Self-Explaining when Learning with Text or Diagrams. *Cognitive Science*, 27 (4), 669-681.

Amadiou, F.; Tricot, A. & Mariné, C. (2009). Prior Knowledge in Learning from a Non-Linear Electronic Document: Disorientation and Coherence of the Reading Sequences. *Computers in Human Behavior*, 25 (2), 381-388.

Andrade-Lotero, L. A.; Espitia-Gómez, C.; Huertas-Franco, E. A.; Aldana-Ahumada, D. R. & Bacca-Pachón, P. A. (2012). Tocar o mirar: comparación de procesos cognitivos en el aprendizaje con o sin manipulación física. *Revista de Psicología Educativa*, 18 (1), 29-40. Disponible en: <http://www.copmadrid.org/webcopm/publicaciones/educativa/ed2012v18n1a3.pdf>

Artino, A. R. (2008). Cognitive Load Theory and the Role of Learner Experience: An Abbreviated Review for Educational Practitioners. *Association for the Advancement of Computing In Education Journal, AACE Journal*, 16 (4), 425-439. Disponible en: editlib.org/d/25229

Baddeley, A. (1992). Working Memory. *Science*, 255 (5044), 556-559. Disponible en: [http://www.tamu.edu/faculty/takashi/psyc689/Irrelevant%20speech/Baddeley%20\(working%20memory\)%201992.pdf](http://www.tamu.edu/faculty/takashi/psyc689/Irrelevant%20speech/Baddeley%20(working%20memory)%201992.pdf)

Bannert, M. (2002). Managing Cognitive Load: Recent Trends in Cognitive Load Theory. *Learning and Instruction*, 12 (1), 139-146. Disponible en: [http://sites.huji.ac.il/science/stc/thj/articles_tj/articles_english/Learning%20and%20Instruction%2012_1%20\(2002\)/Managing%20cognitive%20load%97recent%20trends%20in.pdf](http://sites.huji.ac.il/science/stc/thj/articles_tj/articles_english/Learning%20and%20Instruction%2012_1%20(2002)/Managing%20cognitive%20load%97recent%20trends%20in.pdf)

Bruggen, J. M. van; Kirschner, P. A. & Jochems, W. (2002). External Representation of Argumentation in CSCL [Computer-Supported Collaborative Learning] and the Management of Cognitive Load. *Learning and Instruction*, 12 (1), 121-138. Disponible en: http://igitur-archive.library.uu.nl/fss/2006-1214-210940/kirschner_02_external_representation_argumentation_cscl_management_cognitive_load.pdf

Chen, I.-J. & Chang, C.-C. (2009). Teoría de la carga cognitiva: un estudio empírico sobre la ansiedad

- y el rendimiento en tareas de aprendizaje de idiomas. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 7 (2), 729-746.
- Chong, T. S. (2005). Recent Advances in Cognitive Load Theory Research: Implications for Instructional Designers. *Malaysian Online Journal of Instructional Technology (MOJIT)*, 2 (3), 106-117.
- Clark, R. C. & Mayer, R. E. (2007). *E-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning*. New York: John Wiley and Sons.
- Corbalan, G.; Kester, L. & Merriënboer, J. J. G. van (2006). Towards a Personalized Task Selection Model with Shared Instructional Control. *Instructional Science*, 34 (5), 399-422.
- Gerven, P. van (2002). *Efficient Complex Skill Training into Old Age: Exploring the Benefits of Cognitive Load Theory*. Rotterdam: Maastricht University Press.
- Gerven, P. W. M. van; Paas, F. G. W. C. van; Merriënboer, J. J. G. van & Schmidt, H. G. (2002). Cognitive Load Theory and Aging: Effects of Worked Examples on Training Efficiency. *Learning and Instruction*, 12 (1), 87-105.
- Goldman, S. R. (2009). Explorations of Relationships among Learners, Tasks, and Learning. *Learning and Instruction*, 19 (5), 451-454.
- Graesser, A. C. & McNamara, D. S. (2005). Scaffolding Deep Comprehension Strategies through Point&Query, AutoTutor, and iSTART. *Educational Psychologist*, 40 (4), 225-234. Disponible en: <http://www.learnlab.org/uploads/mypslc/publications/graesser%20mcnamara%20vanlehn%20ep%2005.pdf>
- Hart, S. G. (2006). *NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting. Disponible en: http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/downloads/HFES_2006_Paper.pdf
- Hausmann, R. G. M. & Vanlehn, K. (2010). Explaining Self-Explaining: A Contrast between Content and Generation. *LearnLab.org*. Disponible en: http://www.learnlab.org/uploads/mypslc/publications/hausmannvanlehn2007_final.pdf
- Hecker, U. von & Dutke, S. (2004). Integrative Social Perception: Individuals Low in Working Memory Benefit more from External Representations. *Social Cognition*, 22 (3), 336-365. Disponible en: http://psych.cf.ac.uk/home2/vonhecker/vonHecker_Dutke_04.pdf
- Hollender, N.; Hofmann, C.; Deneke, M. & Schmitz, B. (2010). Integrating Cognitive Load Theory and Concepts of Human-Computer Interaction. *Computers in Human Behavior*, 26 (6), 1278-1288. Disponible en: http://www.sfb716.uni-stuttgart.de/uploads/tx_vispublications/sdarticle_01.pdf
- Jong, T. de (2001). Cognitive Psychology of Explanation-Based Learning. En Neil J. Smelser & Paul B. Baltes (eds.). *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*, Volume 8, 5159-5162. Oxford, United Kingdom: Elsevier.
- Kalyuga, S. (2009). Instructional Designs for the Development of Transferable Knowledge and Skills: A Cognitive Load Perspective. *Computers in Human Behavior*, 25 (2), 332-338.
- Kalyuga, S.; Ayres, P.; Chandler, P. & Sweller, J. (2003). The Expertise Reversal Effect. *Educational Psychologist*, 38 (1), 23-31. Disponible en: http://www.cs.pitt.edu/~chopin/references/tig/kalyuga_ayres.pdf
- Kirschner, F.; Paas, F. & Kirschner, P. A. (2009). A Cognitive Load Approach to Collaborative Learning: United Brains for Complex Tasks. *Educa-*

- tional Psychology Review*, 21 (1), 31-42. Disponible en: http://dspace.ou.nl/bitstream/1820/1864/1/Kirschneretal_2009_EPR.pdf
- Kirschner, P. A. (2002). Cognitive Load Theory: Implications of Cognitive Load Theory on the Design of Learning. *Learning and Instruction*, 12 (1), 1-10. Disponible en: http://ou-nl.academia.edu/PaulKirschner/Papers/281915/Cognitive_Load_Theory_Implications_of_Cognitive_Load_Theory_on_the_Design_of_Learning
- Kirschner, P. A.; Ayres, P. & Chandler, P. (2011). Contemporary Cognitive Load Theory Research: The Good, The Bad and The Ugly. *Computers in Human Behavior*, 27 (1), 99-105.
- Künsting, J.; Wirth, J. & Paas, F. (2011). The Goal Specificity Effect on Strategy Use and Instructional Efficiency during Computer-Based Scientific Discovery Learning. *Computers & Education*, 56 (3), 668-679.
- Manches, A. & O'Malley, C. (2011). Tangibles for Learning: A Representational Analysis of Physical Manipulation. *Personal and Ubiquitous Computing*, 1-24. doi:10.1007/s00779-011-0406-0
- Martin, T. & Schwartz, D. L. (2005). Physically Distributed Learning: Adapting and Reinterpreting Physical Environments in the Development of Fraction Concepts. *Cognitive Science*, 29, 587-625. Disponible en: http://csjarchive.cogsci.rpi.edu/2005v29/4/s15516709HCOG0000_15/s15516709HCOG0000_15.pdf
- Mayer, R. E. (2005). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. & Sims, V. K. (1994). For Whom is a Picture Worth A Thousand Words? Extensions of A Dual-Coding Theory of Multimedia Learning. *Journal of Educational Psychology*, 86 (3), 389-401. doi: 10.1037/0022-0663.86.3.389
- Merriënboer, J. J. G. van & Sluijsmans, D. M. A. (2009). Toward a Synthesis of Cognitive Load Theory, Four-Component Instructional Design, and Self-Directed Learning. *Educational Psychology Review*, 21 (1), 55-66.
- Merriënboer, J. J. G. van & Sweller, J. (2005). Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions. *Educational Psychology Review*, 17 (2), 147-177.
- Miller, G. A. (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *The Psychological Review*, 63, 16. Retrieved from <http://www.musanim.com/miller1956/>
- Moreno, R. (2006). When Worked Examples don't Work: Is Cognitive Load Theory at an Impasse? *Learning and Instruction*, 16 (2), 170-181.
- Nimwegen, C. van; Burgos, D.; Oostendorp, H. van & Schijf, H. (2006). The Paradox of the Assisted User: Guidance can be Counterproductive. En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 917-926. New York: Association for Computing Machinery, ACM.
- Paas, F.; Renkl, A. & Sweller, J. (2004). Cognitive Load Theory: Instructional Implications of the Interaction between Information Structures and Cognitive Architecture. *Instructional Science*, 32 (1-2), 1-8.
- Paas, F.; Tuovinen, J. E.; Tabbers, H. & Gerven, P. W. M. van (2003). Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. *Educational Psychologist*, 38 (1), 63-71.
- Paivio, A. (1986). *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. New York: Oxford University Press.
- Paivio, A. (1991). Dual Coding Theory: Retrospect and Current Status. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 45 (3), 32. doi: 10.1037/h0084295

- Pillay, H. (1998). Cognitive Processes and Strategies Employed by Children to Learn Spatial Representations. *Learning and Instruction*, 8 (1), 1-18.
- Reiser, B. J. (2004). Scaffolding Complex Learning: the Mechanisms of Structuring and Problematizing Student Work. *The Journal of the Learning Sciences*, 13 (3), 273-304. Disponible en: http://northwestern.academia.edu/BrianReiser/Papers/216586/Scaffolding_Complex_Learning_The_Mechanisms_of_Structuring_and_Problematizing_Student_Work
- Rodríguez-Soto, S. & Chacón-Díaz, M. (2008). Bases teóricas y consideraciones prácticas en la elaboración de material multimedia para un curso de cálculo. *Actualidades Investigativas en Educación*, 8 (1), 30. Disponible en: <http://revista.inie.ucr.ac.cr/articulos/1-2008/archivos/bases.pdf>
- Rolo-González, G.; Díaz-Cabrera, D. & Hernández-Fernaud, E. (2009). Desarrollo de una escala subjetiva de carga mental de trabajo. *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones*, 25 (1), 29-37. Disponible en: http://www.gobiernodecanarias.org/cicnt/icasel/documentos/manualcarga_mental.pdf
- Rubio, S.; Díaz, E.; Martín, J. & Puente, J. M. (2004). Evaluation of Subjective Mental Workload: A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods. *Applied Psychology: An International Review*, 53 (1), 61-86.
- Scheiter, K.; Gerjets, P. & Catrambone, R. (2004). *Using Visualizations to Teach Problem-Solving Skills in Mathematics: Which Kind of Visualization Works?* Paper presented at the First Joint Meeting of the EARLI SIGs, Instructional Design and Learning and Instruction with Computers, Tübingen. Disponible en: <http://telearn.archives-ouvertes.fr/docs/00/19/73/65/PDF/Scheiter-Katharina-2004.pdf>
- Schwartz, D. L. & Black, J. B. (1996). Shuttling between Depictive Models and Abstract Rules: Induction and Fallback. *Cognitive Science*, 20 (4), 457-497.
- Shaffer, D.; Doube, W. & Tuovinen, J. (2003). *Applying Cognitive Load Theory to Computer Science Education*. Paper presented at the 15th Workshop of the Psychology of Programming Interest Group, Keele UK. Disponible en: <http://www.ppig.org/papers/15th-shaffer.pdf>
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load during Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12 (2), 257-285. Disponible en: <http://dcom.arch.gatech.edu/old/Coa6763/Readings/sweller-88a.pdf>
- Sweller, J. (1994). Cognitive Load Theory, Learning Difficulty, and Instructional Design. *Learning and Instruction*, 4 (4), 295-312.
- Sweller, J. (2002). Visualisation and Instructional Design. *Knowledge Media Research Center*. Disponible en: <http://www.iwm-kmrc.de/workshops/visualization/sweller.pdf>
- Sweller, J. (2006a). Discussion of 'Emerging Topics in Cognitive Load Research: Using Learner and Information Characteristics in the Design of Powerful Learning Environments'. *Applied Cognitive Psychology*, 20 (3), 353-357.
- Sweller, J. (2006b). The Worked Example Effect and Human Cognition. *Learning and Instruction*, 16 (2), 165-169.
- Sweller, J. (2008). Human Cognitive Architecture. *California State University*. Disponible en: http://www.csuchico.edu/~nschwartz/Sweller_2008.pdf
- Sweller, J.; Mawer, R. F. & Ward, M. R. (1983). Development of Expertise in Mathematical Problem Solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112 (4), 639-661. Tabbers, H. K.; Martens, R. L. & Merriën-

- boer, J. J. G. van (2004). Multimedia Instructions and Cognitive Load Theory: Effects of Modality and Cueing. *British Journal of Educational Psychology*, 74 (1), 71-81.
- Tindall-Ford, S. & Sweller, J. (2006). Altering the Modality of Instructions to Facilitate Imagination: Interactions between the Modality and Imagination Effects. *Instructional Science*, 34 (4), 343-365.
- Valcke, M. (2002). Cognitive Load: Updating the Theory? *Learning and Instruction*, 12 (1), 147-154.
- Wirth, J.; Künsting, J. & Leutner, D. (2009). The Impact of Goal Specificity and Goal Type on Learning Outcome and Cognitive Load. *Computers in Human Behavior*, 25 (2), 299-305.
- Wouters, P.; Paas, F. & Merriënboer, J. J. G. van (2010). Observational Learning from Animated Models: Effects of Studying-Practicing Alternation and Illusion of Control on Transfer. *Instructional Science*, 38 (1), 89-104.
- Xie, Y. & Sharma, P. (2010). Exploring Evidence of Reflective Thinking in Student Artifacts of Blogging-Mapping Tool: A Design-Based Research Approach. *Instructional Science*, 39 (5), 695-719.