

# ENSEÑAR CONSIDERANDO LA CARGA MENTAL DEL APRENDIZAJE: LA TEORIA DE LA CARGA COGNITIVA

## **Autores:**

**Jimmy Zambrano R.**

**Email:** [jimmyz@uhemisferios.edu.ec](mailto:jimmyz@uhemisferios.edu.ec)

**Institución:** Universidad de Los Hemisferios, Instituto Tecnológico Superior Ruminahui

## **RESUMEN**

Aprender conocimientos escolares tiene características diferentes de los aprendizajes que ocurren en situaciones de convivencia no escolarizada. Su principal diferencia radica en utilizar los sistemas cognitivos desarrollados para adquirir información. Los procesos de enseñanza-aprendizaje son más efectivos cuando se diseñan y ejecutan teniendo en mente los aspectos más relevantes de la cognición humana. La teoría de la carga cognitiva es una teoría instruccional que viene desarrollándose específicamente a partir de la investigación de la arquitectura cognitiva humana y opera durante el aprendizaje de la solución de problemas complejos. El principal propósito de esta teoría es proponer lineamientos para el diseño de ambientes apropiados de aprendizaje que permitan la construcción de esquemas de conocimientos de alta calidad en la memoria de largo plazo optimizando los recursos atencionales de la memoria de trabajo. Por esto, las investigaciones se han centrado en identificar las condiciones que resultan ser más favorables para instrucción y el aprendizaje de las tareas académicas. En este artículo se presenta una revisión general de la teoría de la carga cognitiva. Se distinguen los conocimientos biológicos primarios y secundarios, los sistemas, características y limitaciones de la arquitectura cognitiva humana, los tipos carga cognitiva y los efectos instruccionales encontrados en condiciones de experimentación. Esta revisión ofrece lineamientos instruccionales para el diseño de ambientes adecuados de aprendizaje, los cuales pueden servir de guía para los profesionales de la educación, los diseñadores instruccionales y los administradores de carreras y programas académicos.

*Palabras clave:* aprendizaje, teoría de la carga cognitiva, diseño instruccional, dominios escolares complejos.

## **INTRODUCCIÓN**

La teoría de la carga cognitiva es un enfoque instruccional basado en el funcionamiento de la arquitectura cognitiva humana y su rol en el aprendizaje y la solución de problemas (Sweller, 1994, 2016b; Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011). Esta arquitectura incluye los límites de la memoria de trabajo (MT), la organización multinivel de los conocimientos almacenados en la memoria de largo plazo (MLP) y la interacción de estos dos sistemas. La investigación de esta interacción marcó una primera versión de la teoría de la carga cognitiva. Sin embargo, su reciente versión ha puesto énfasis en las categorías del conocimiento y los principios de la arquitectura cognitiva humana tomando analógicamente la perspectiva biológica evolutiva (Paas & Sweller, 2012; Sweller, 2003, 2008). Este nuevo enfoque de la teoría pretende dar mayor poder explicativo de los efectos encontrados y generar un más amplio rango de hipótesis (Sweller, 2016a). Dado los recientes avances de esta teoría, este artículo pretende presentar una revisión general, enfocándose en las categorías del conocimiento según la psicología evolutiva educativa, en la arquitectura cognitiva humana, en los tipos de carga cognitiva y en las implicaciones para la instrucción de los efectos hallados. Además, se motiva a los docentes a considerar los lineamientos instruccionales de esta teoría para la implementación de ambientes apropiados de aprendizaje.

## **DESARROLLO**

La carga cognitiva se refiere a la magnitud de las demandas de procesamiento de la durante la operación de la memoria de trabajo (Kalyuga & Singh, 2016). La carga cognitiva se la asocia a la intensidad de recursos cognitivos o atencionales que se deben invertir para aprender elementos de información de una tarea de aprendizaje (Sweller, 2011; Sweller et al., 2011). En la medida en que la tarea de aprendizaje es más compleja, es decir, tiene más elementos de información que deben ser adquiridos y el tiempo para procesarlos es reducido, la carga cognitiva es mayor. Si los elementos de información superan la capacidad y duración de la memoria de trabajo, el aprendizaje decae sustancialmente. Ante la cuestión del por qué tenemos una limitada capacidad de adquirir nueva información, se ha propuesto una teoría de la carga cognitiva que intenta explicar este fenómeno describiendo los tipos de conocimientos, la estructura cognitiva y los efectos que produce la instrucción.

La teoría de la carga cognitiva postula que los humanos están genéticamente predispuestos a adquirir conocimientos (Paas & Sweller, 2012). A partir de los avances recientes de la psicología educativa desde la perspectiva evolutiva (Geary, 2005, 2008a, 2012; Sweller, 2016a), esta teoría clasifica el conocimiento humano en dos tipos: conocimientos biológicos primarios y secundarios. Los conocimientos biológicos primarios se definen como aquellas habilidades o destrezas que han sido necesarios para la

supervivencia humana durante incontables generaciones y que se desarrollan de forma inconsciente al ser parte de un grupo social. Algunos ejemplos de los conocimientos primarios son el aprendizaje un idioma nativo, reconocer rostros y voces, trabajar colaborativamente, imitación acciones, comunicación gestual, entre otros. Una característica de estos dominios es que no requieren ser aprendidos mediante enseñanza explícita ni requieren esfuerzo cognitivo sustancial. Por esta razón, se asumen que se aprenden de forma involuntaria, rápida e inconscientemente solo por el hecho de interactuar con otros a través del lenguaje y otros elementos de la cultura donde el individuo se desarrolla. Al parecer, los humanos hemos desarrollado mecanismos cerebrales especializados para procesar y adquirir este tipo de conocimiento de forma eficiente (Kalyuga, 2015). Según Geary (2012), estos conocimientos se pueden encapsular en tres grupos: la psicología popular (e.g., la habilidad de distinguir entre rostros humanos o las habilidades sociales), la biología popular (e.g., comprender a otras especies) y la física popular (e.g., reconocimiento de objetos físicos). Según Sweller et al. (2011), las habilidades universales tales como la solución de problemas a través de ensayo y error, son conocimientos biológicos primarios ya se las puede realizar sin haber recibido instrucción de cómo realizarlas.

Los conocimientos biológicos secundarios son aquellos que son el resultado del desarrollo cultural. Es decir, son aquellos que se prescriben en el currículum de los programas educativos formales. La base para la instrucción y la adquisición de los conocimientos biológicamente secundarios son los conocimientos biológicos primarios (Paas & Sweller, 2012). En general, los profesores no enseñan a los estudiantes cómo aprender conocimientos biológicos secundarios. Solo los enseñan de forma explícita utilizando según las características y demandas de dicho conocimiento. Por esta razón, se asume que los humanos han evolucionado para adquirir cualquier tipo de conocimiento secundario a partir de los conocimientos biológicos primarios. Un ejemplo sería despejar  $x$  de la ecuación  $x/b=c$  es. Para resolver esta ecuación se requiere conocimientos biológicos primarios tales como el conteo, el enfoque visual y los mecanismos de control inhibitorio (también denominadas funciones ejecutivas) (Geary, 2008b). Sin embargo, a diferencia de los conocimientos primarios, los conocimientos secundarios son difíciles de aprender, requieren de enseñanza explícita y apropiada, demandan de esfuerzo cognitivo y alta motivación. Los conocimientos de dominio universal o primarios tales como el análisis de medios y fines (i.e., conocimientos biológicos primarios) no requieren ser enseñados porque se pueden llevar a cabo intuitivamente por un estudiante típico. Pero las tareas de aprendizaje que son producto del desarrollo cultural y que generalmente forman parte del currículum educativo no pueden aprenderse sin una guía adecuada o sin procesos apropiados de instrucción (Kirschner, Sweller, & Clark, 2006). Consecuentemente, la teoría

de la carga cognitiva aplica cuando se requiere aprender conocimientos biológicos secundarios.

El aprendizaje de conocimientos biológicos secundarios depende de las características de la arquitectura cognitiva humana. Tomando analógicamente la teoría de la evolución biológica (Sweller, 2016a), se ha indicado que los mecanismos de la estructura cognitiva humana deben incorporar los procesos y funciones de la evolución por selección natural (Sweller et al., 2011). Para esto, los investigadores de la teoría de la carga cognitiva suelen comparar el funcionamiento de la cognición humana con la teoría de la evolución, sugiriendo que ambos son sistemas de procesamiento de información natural (Sweller, 2003, 2004, 2016a). La estructura cognitiva humana puede ser descrita mediante cinco principios básicos:

- *Principio de almacenamiento de información.* Indica que los sistemas naturales de procesamiento de información tienen grandes almacenes de información que gobiernan sus actividades. La memoria de largo plazo provee esta función.
- *Principio de prestación y reorganización.* La información almacenada en su mayoría es prestada de otros almacenes de información. Este préstamo no produce una copia exacta sino una esquematización reorganizada. Los humanos imitan, escuchan, observan o leen la información de otros para almacenarla en la memoria de largo plazo con una organización propia.
- *Principio de génesis aleatoria.* La información que se requiere para resolver un problema pero que está disponible, se adquiere mediante procesos aleatorios de prueba y generación. Debido a la ausencia de información relevante en la memoria de largo plazo, la información nueva se adquiere usando métodos generales (i.e., biológicos primarios) como el análisis de medios y fines.
- *Principio de limitaciones reducidas para el cambio.* Los cambios en el almacén de información son lentos y no aleatorios para evitar destruir su funcionalidad. Este principio es asociado a la memoria de trabajo, la cual es muy limitada en capacidad y duración, porque permite procesar poca información nueva. Si la información nueva supera las capacidades de la memoria de trabajo, el sistema experimenta sobrecarga reduciendo el aprendizaje.
- *Principio de organización y vínculo ambiental.* La información almacenada en la memoria de largo plazo orienta el comportamiento del sistema en el ambiente. Las limitaciones de la memoria de trabajo no aplican cuando la información es recuperada de la memoria de largo plazo.

Estos principios presuponen otro principio fundamental: la relativa apertura cognitiva del sistema y la interdependencia cognitiva entre múltiples sistemas de conocimiento

(Kirschner, Sweller, Kirschner, & Zambrano R., 2018). Estos principios tomados en conjunto definen el comportamiento de la arquitectura cognitiva humana cuando se requiere aprender conocimientos biológicos secundarios. Esto ha implicado investigar cómo los estudiantes aprenden de mejor manera las tareas de aprendizaje gestionando la capacidad de la memoria de trabajo. La finalidad de esta gestión es la construcción y automatización de esquemas de conocimiento en la memoria de largo plazo.

Como se dijo anteriormente, la memoria de trabajo es limitada porque solo puede procesar y mantener alrededor de  $4\pm 1$  elementos nuevos de información durante 20 segundos aproximadamente (Baddeley, 2006; Cowan, 2005; Miller, 1956; Peterson & Peterson, 1959). Por esta razón, se sugiere que la memoria de trabajo es un reservorio de recursos cognitivos o atencionales limitados que pueden ser dedicados de acuerdo con la magnitud o demanda de las tareas de aprendizaje. Teniendo en cuenta estos límites, la carga cognitiva es definida como la intensidad de actividades cognitivas que deben ser ejecutadas en la memoria de trabajo durante un tiempo determinado según la cantidad de unidades o elementos de información (Chen, Kalyuga, & Sweller, 2016; Sweller et al., 2011). En la medida en que aumenta el número de elementos de información y el tiempo es relativamente corto, el estudiante debe procesar más elementos en menos tiempo, por lo cual debe dedicar más recursos cognitivos para poder comprenderlos y aprenderlos. Si la tarea supera la capacidad de procesamiento, el estudiante experimenta sobrecarga cognitiva deteriorando substancialmente su aprendizaje. Por esta razón, las investigaciones se han enfocado en precisar las mejores condiciones para aprender conocimientos biológicos secundarios optimizando la capacidad de la memoria de trabajo.

La memoria de trabajo se comporta según el nivel de complejidad (i.e., de elementos interconectados de información) del dominio específico y del conocimiento previo almacenado en la memoria de trabajo (Kalyuga, Ayres, Chandler, & Sweller, 2003). Asumiendo niveles motivacionales estables, hasta el momento se conoce que el impacto de la cantidad de elementos de información sobre la memoria de trabajo depende de si el estudiante tiene; o no, conocimientos previos relacionados con las tareas que pretende aprender (Kalyuga et al., 2003). Cuando el estudiante debe aprender una tarea nueva y ésta supera los límites de capacidad y duración de su memoria de trabajo, el estudiante se sentirá abrumado afectando su desempeño negativamente. Sin embargo, cuando tiene conocimientos previos relevantes sobre tal tarea, los elementos de información no afectan el procesamiento de la memoria de trabajo. Por el contrario, los trata como un elemento encapsulado. Los conocimientos previos liberan capacidad cognitiva para poder tratar con más información.

Los investigadores han definido dos categorías de carga cognitiva relacionadas con el aprendizaje. La carga cognitiva *intrínseca* está asociada a los elementos esenciales de la

tarea. Esta carga es causada estrictamente por la información que debe ser aprendida. A más unidades de información, mayor será la carga cognitiva intrínseca. Esta carga puede ser graduada para ajustarla a la capacidad del estudiante mediante procedimientos instruccionales (Sweller, 2010). Si una tarea es compleja, se la puede simplificar fragmentándola en bloques de información más pequeños y presentarlos de manera secuencial y ajustada a la adquisición en la memoria de largo plazo (e.g., Van Merriënboer, Kester, & Paas, 2006). Por ejemplo, si los estudiantes no saben el procedimiento para resolver ecuaciones lineales, es más adecuado comenzar con tareas simples como  $x-4=5$ , para luego incrementar la cantidad de elementos de información tal como  $2(x-5)=-22-4(2-3x)/2$ .

La carga cognitiva *ajena* es causada por los elementos de información que no pertenecen al contenido esencial que debe ser aprendido. Sin embargo, estos elementos también consumen recursos substanciales de la memoria de trabajo (Sweller, 2010). Por ejemplo, cuando un material de ciencias naturales divide la atención al presentar una figura del aparato respiratorio y sus partes y/o funciones están señaladas con números; pero la explicación de cada número está en otra página (efecto de atención dividida espacialmente). O cuando un video presenta la misma información en audio y en textos simultáneamente (efecto de redundancia). Estos materiales demandan de más recursos cognitivos, lo cual disminuye la capacidad para procesar la información esencial que debe ser aprendida. La carga cognitiva ajena debe ser disminuida.

La investigación ha encontrado algunos efectos de la instrucción para diferentes tópicos de aprendizaje. Estos efectos impactan positiva o negativamente el aprendizaje y su consistencia ha permitido establecer lineamientos generales para diseñar mejores condiciones de aprendizaje. A continuación un breve resumen de estos efectos (vea una descripción más detallada en Sweller et al., 2011):

- *Efecto de los ejemplos resueltos.* Los ejemplos resueltos son explicaciones de cada paso para resolver un problema. Cuando los estudiantes aprenden con ejemplos resueltos, logran mejor desempeño que quienes aprenden con problemas convencionales sin explicaciones apropiadas. Estos ejemplos reducen la carga ajena y enfocan la atención en la información esencial evitando que el estudiante divague en procesos cognitivos irrelevantes.
- *Efecto de completar problemas.* A diferencia de los ejemplos resueltos, los problemas incompletos proveen una solución parcial de un problema de aprendizaje para que el estudiante lo complete. Se sugiere usar después de presentar un ejemplo resuelto.
- *Efecto de la atención dividida.* Este efecto es perjudicial y se produce cuando dos o más recursos de información que deben ser comprendidos de forma integrada,

están separados espacial o temporalmente dividiendo la atención del estudiante innecesariamente. Un ejemplo es el material del aparato digestivo ya mencionado.

- *Efecto de modalidad.* El aprendizaje mejora cuando se presenta la información verbal de forma hablada (i.e., auditivamente) acompañada con imágenes relacionadas (i.e., viso espacial), es decir, que no pueden ser comprendidas por separado.
- *Efecto de redundancia.* Es negativo y ocurre cuando se usa simultáneamente fuentes de información que pueden ser comprendidas por separado. Un ejemplo es el vídeo anteriormente mencionado.
- *Efecto de reversión de la experticia.* Es negativo, y ocurre cuando se enseña a estudiantes avanzados con material que es adecuado para estudiantes principiantes. Los ejemplos resueltos son mejores para los novatos, pero cuando se usan con estudiantes avanzados, producen en ellos igual o incluso bajo aprendizaje comparado con los novatos.
- *Efecto de guía gradual.* Este efecto surge como resultado del anterior. En la medida en que los estudiantes van adquiriendo conocimientos relevantes, los ejemplos resueltos deben reemplazarse por problemas más complejos y sin menos guía explícita. Es decir, la instrucción debe ajustarse a los esquemas de la memoria de largo plazo.
- *Efecto de la información transitoria.* Es negativo para el aprendizaje y se manifiesta cuando se usan animaciones, videos o información hablada en formato electrónico para tareas complejas. Por ejemplo, cuando se transforma la información de los textos en información hablada en la educación virtual. Estos materiales presentan la información momentáneamente y luego desaparece para presentar otra, sin permitir que el estudiante la comprenda antes de procesar la nueva información. Esto produce carga cognitiva ajena y disminuye el desempeño.
- *Efecto de imaginación.* Este efecto favorece el aprendizaje y se produce cuando se pide a los estudiantes que imaginen o repasen mentalmente una información aprendida previamente.
- *Efecto de separación de elementos.* Cuando el contenido esencial de aprendizaje tiene gran cantidad de elementos de información, se lo debe fragmentar en piezas de información que puedan ser aprendidas secuencialmente.
- *Efecto de memoria colectiva de trabajo.* Cuando las tareas son altamente complejas, es más efectivo y eficiente aprenderlas en grupos. Los miembros de un grupo juntan sus capacidades de memoria de trabajo y pueden distribuir la carga cognitiva de la tarea. Así, cada miembro debe procesar menos información que un estudiante

solitario. Los miembros de un grupo tienen que comunicarse y coordinar entre ellos lo cual produce una carga cognitiva adicional que no la tienen los individuos. Por esta razón, las tareas deben ser suficientemente complejas como para justificar la carga cognitiva colaborativa. Si la tarea es simple, es mejor trabajar con estudiantes individuales.

Como es de esperar, a partir de estos efectos (y otros que no se han mencionado por las limitaciones de espacio de este escrito) se han podido obtener importantes lineamientos para el diseño de ambientes apropiados de aprendizaje. Un ejemplo es el Modelo de Cuatro Componentes para el Diseño Instruccional (4C/ID) (Van Merriënboer & Kester, 2005; Van Merriënboer & Kirschner, 2013; Van Merriënboer, Kirschner, & Kester, 2003), el cual ha sido recomendado para la formación integral a nivel de cursos y curricular (e.g., la formación profesional de médicos) (Leppink & Duvivier, 2016; Vandewaetere et al., 2015; Young, Van Merrienboer, Durning, & Ten Cate, 2014).

## **CONCLUSIÓN**

La teoría de la carga cognitiva es una teoría que ayuda a los profesionales de la educación a diseñar ambientes de aprendizaje apropiados. El conocimiento académico que se aprende en las escuelas requiere tener en cuenta las limitaciones de la memoria de trabajo de los estudiantes. Si no se tiene en cuenta la carga mental que los estudiantes experimentan cuando aprenden nuevos conocimientos, se fomenta un bajo desempeño lo cual también trae consigo consecuencias negativas en términos de eficiencia educativa. Es imperativo que los profesores usen estrategias de enseñanza-aprendizaje basadas en la investigación científica, tales como los efectos arriba mencionados. Si la enseñanza no tiene en cuenta cómo aprendemos, es ciega. Por tanto, se sugiere tener en cuenta la teoría de la carga cognitiva como un marco que oriente las decisiones, el diseño y la práctica educativa a fin de que sea más efectiva y eficiente.

## **REFERENCIAS**

- Baddeley, A. D. (2006). Working memory: An overview. In S. J. Pickering (Ed.), *Working memory and education* (pp. 1-31). Burlington: Academic Press.
- Chen, O., Kalyuga, S., & Sweller, J. (2016). The expertise reversal effect is a variant of the more general element interactivity effect. *Educational Psychology Review*, 1-13. doi:10.1007/s10648-016-9359-1
- Cowan, N. (2005). *Working memory capacity*. New York, NY: Psychology Press.
- Geary, D. C. (2005). *The origin of mind: Evolution of brain, cognition, and general intelligence* (1st ed.). Washington, DC: American Psychological Association.
- Geary, D. C. (2008a). An evolutionarily informed education science. *Educational Psychologist*, 43(4), 179-195. doi:10.1080/00461520802392133



- Geary, D. C. (2008b). Whither evolutionary educational psychology? *Educational Psychologist*, 43(4), 217-226. doi:10.1080/00461520802392240
- Geary, D. C. (2012). Evolutionary educational psychology. In K. R. Harris, S. Graham, T. Urdan, C. B. McCormick, G. M. Sinatra, & J. Sweller (Eds.), *Apa educational psychology handbook, vol 1: Theories, constructs, and critical issues* (pp. 597-621). Washington, DC: American Psychological Association.
- Kalyuga, S. (2011). Cognitive load theory: How many types of load does it really need? *Educational Psychology Review*, 23(1), 1-19. doi:10.1007/s10648-010-9150-7
- Kalyuga, S. (2015). *Instructional guidance: A cognitive load perspective*. Charlotte, NC: Information Age Publishing, Inc.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38(1), 23-31. doi:10.1207/s15326985ep3801\_4
- Kalyuga, S., & Singh, A.-M. (2016). Rethinking the boundaries of cognitive load theory in complex learning. *Educational Psychology Review*, 28(4), 831–852. doi:10.1007/s10648-015-9352-0
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86. doi:10.1207/s15326985ep4102\_1
- Kirschner, P. A., Sweller, J., Kirschner, F., & Zambrano R., J. (2018). *From cognitive load theory to collaborative cognitive load theory*. Manuscript submitted for publication.
- Leppink, J., & Duvivier, R. (2016). Twelve tips for medical curriculum design from a cognitive load theory perspective. *Medical Teacher*, 1-6. doi:10.3109/0142159X.2015.1132829
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81-97. doi:10.1037/h0043158
- Paas, F., & Sweller, J. (2012). An evolutionary upgrade of cognitive load theory: Using the human motor system and collaboration to support the learning of complex cognitive tasks. *Educational Psychology Review*, 24(1), 27-45. doi:10.1007/s10648-011-9179-2
- Paas, F., Van Gog, T., & Sweller, J. (2010). Cognitive load theory: New conceptualizations, specifications, and integrated research perspectives. *Educational Psychology Review*, 22(2), 115-121. doi:10.1007/s10648-010-9133-8
- Peterson, L. R., & Peterson, M. J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 58(3), 193-198. doi:10.1037/h0049234
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295-312. doi:10.1016/0959-4752(94)90003-5

- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. *Psychology of learning and motivation*, 43, 215-266. doi:10.1016/s0079-7421(03)01015-6
- Sweller, J. (2004). Instructional design consequences of an analogy between evolution by natural selection and human cognitive architecture. *Instructional Science*, 32(1-2), 9-31. doi:10.1023/B:TRUC.0000021808.72598.4d
- Sweller, J. (2008). Instructional implications of david c. Geary's evolutionary educational psychology. *Educational Psychologist*, 43(4), 214-216. doi:10.1080/00461520802392208
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123-138. doi:10.1007/s10648-010-9128-5
- Sweller, J. (2011). Cognitive load theory. In P. M. Jose & H. R. Brian (Eds.), *Psychology of learning and motivation* (Vol. 55, pp. 37-76). San Diego, CA; London, UK: Academic Press.
- Sweller, J. (2016a). Cognitive load theory, evolutionary educational psychology, and instructional design. In C. D. Geary & B. D. Berch (Eds.), *Evolutionary perspectives on child development and education* (pp. 291-306). Cham: Springer International Publishing.
- Sweller, J. (2016b). Working memory, long-term memory, and instructional design. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 5(4), 360–367. doi:10.1016/j.jarmac.2015.12.002
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. New York, NY: Springer.
- Van Merriënboer, J. J. G., & Kester, L. (2005). The four-component instructional design model: Multimedia principles in environments for complex learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 71-94). Cambridge, U.K.; New York: Cambridge University Press.
- Van Merriënboer, J. J. G., Kester, L., & Paas, F. (2006). Teaching complex rather than simple tasks: Balancing intrinsic and germane load to enhance transfer of learning. *Applied Cognitive Psychology*, 20(3), 343-352. doi:10.1002/acp.1250
- Van Merriënboer, J. J. G., & Kirschner, P. A. (2013). *Ten steps to complex learning: A systematic approach to four-component instructional design* (2nd ed.). New York: Routledge.
- Van Merriënboer, J. J. G., Kirschner, P. A., & Kester, L. (2003). Taking the load off a learner's mind: Instructional design for complex learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 5-13. doi:10.1207/s15326985ep3801\_2
- Vandewaetere, M., Manhaeve, D., Aertgeerts, B., Clarebout, G., Van Merriënboer, J. J. G., & Roex, A. (2015). 4c/id in medical education: How to design an educational program

based on whole-task learning: Amee guide no. 93. *Medical Teacher*, 37(1), 4-20.  
doi:10.3109/0142159X.2014.928407

Young, J. Q., Van Merriënboer, J., Durning, S., & Ten Cate, O. (2014). Cognitive load theory: Implications for medical education: Amee guide no. 86. *Medical Teacher*, 36(5), 371-384. doi:10.3109/0142159X.2014.889290