

Actualización de la memoria de trabajo: una revisión

David Saeteros^{1, a}  & José A. Rodas^{b, c} 

^a Universidad de Barcelona, Barcelona, España, ^b Universidad de Guayaquil, Ecuador y ^c University College Dublin, Ireland

Recibido: 30/06/2021 Aceptado: 19/11/2021

Publicado: 20/12/2021

Citar como:

Saeteros, D. & Rodas, J. A. (2021). Actualización de la memoria de trabajo: una revisión. *Veritas & Research*, 3(2), 134-149.

Resumen

La memoria de trabajo es un sistema complejo y un elemento clave en la cognición humana, ya que permite el procesamiento de todo tipo de información, la resolución de problemas y la toma de decisiones. Su mayor limitación es el reducido espacio que tiene para almacenar y procesar contenido, por lo que es necesario un proceso de actualización constante, integrando y eliminando contenido. Pese a su rol decisivo ha recibido poca atención en comparación con otros componentes de la memoria de trabajo. En esta revisión narrativa, discutimos algunos estudios que contribuyen a la construcción de un concepto unificado de este proceso. Empezamos describiendo la memoria de trabajo y precisamos el rol del proceso de actualización. Luego, describimos detalladamente las características de este proceso y varios métodos frecuentemente empleados para su investigación y evaluación. Concluimos discutiendo algunos problemas actuales en su estudio y algunas direcciones futuras.

Palabras clave: *actualización, memoria de trabajo, cognición, procesamiento de la información, evaluación*

Updating of working memory: A review

Abstract

Working memory is a complex system and a key element in human cognition since it allows the processing of all information, problem-solving and decision-making. Its most significant limitation is the reduced space it has to store and process information; thus, a constant updating process is necessary. Despite its decisive role, it has received little attention when compared to other components of working memory. In this literature review, we discuss some studies that contribute to the construction of a unified concept of this process. We start by describing the working memory system and specify the role of the updating process. Then, we describe in detail the characteristics of this process and various methods frequently used for its investigation and evaluation. We conclude by discussing some of the current issues in its study and future directions.

¹ Contacto: david.saeterosp@ub.edu

Keywords: *updating, working memory, cognition, information processing, assessment*

Atualização da memória de trabalho: uma revisão

Resumo

A memória de trabalho é um sistema complexo e um elemento chave na cognição humana, pois permite o processamento de todas as informações, a resolução de problemas e a tomada de decisões. Sua limitação mais significativa é o espaço reduzido de que dispõe para armazenar e processar informações; portanto, é necessário um processo de atualização constante. Apesar de seu papel decisivo, tem recebido pouca atenção quando comparado a outros componentes da memória de trabalho. Nesta revisão de literatura, discutimos alguns estudos que contribuem para a construção de um conceito unificado desse processo. Começamos descrevendo o sistema de memória de trabalho e especificamos a função do processo de atualização. Em seguida, descrevemos em detalhes as características desse processo e vários métodos frequentemente usados para sua investigação e avaliação. Concluimos discutindo algumas das questões atuais em seu estudo e orientações futuras.

Palavras-chave: atualização, memória de trabalho, cognição, processamento de informação, avaliação

“La habilidad de guiar el comportamiento a través de representaciones de estímulos discriminativos en lugar de los estímulos discriminativos es uno de los más grandes logros de la evolución” (Goldman-Rakic, 2011).

Introducción

A pesar de las muchas investigaciones que existen sobre la memoria de trabajo (MT) y su funcionamiento, su proceso de actualización no ha recibido una definición que integre todos los elementos que la investigación ha ido acumulando con el paso del tiempo. Esto llama la atención principalmente por el rol decisivo que tiene este proceso. Los estudios disponibles que abordan este tema investigan sus aspectos específicos a través del diseño y aplicación de tareas cognitivas complejas, pero, hasta ahora, no se ha realizado una integración del conocimiento alcanzado que permita ofrecer una imagen clara y más precisa de su configuración y su funcionamiento. A fin de llenar esta carencia teórica, que dificulta futuros trabajos de investigación al aumentar el riesgo de obviar conclusiones ya alcanzadas, hemos intentado unificar algunos trabajos de investigación dedicados a esclarecer su naturaleza, funcionamiento y configuración estructural.

Memoria de trabajo

La MT es un espacio mental de almacenamiento y procesamiento temporal de información para lograr llevar a cabo actividades cognitivas cotidianas (Gómez-Veiga, Vila, García-Madruga, Contreras Felipe, & Elosúa, 2013). Su función no consiste únicamente en almacenar información, como la memoria a largo plazo, sino que participa activamente en el desarrollo de tareas cognitivas complejas. De forma general, la memoria se puede comparar con el espacio de trabajo de un estudiante: las estanterías y cajones donde guarda sus libros y cuadernos son el equivalente de la memoria de largo plazo mientras que la mesa de trabajo donde se sienta a estudiar y a desarrollar sus tareas correspondería a la MT. Así como el estudiante escoge elementos de sus estanterías y cajones según las actividades que debe realizar y, además, agrega nuevos

elementos que no poseía antes en sus estanterías; así mismo la MT es la mesa donde se ubican los elementos de las estanterías o elementos nuevos que son necesarios para desarrollar una actividad.

Aunque nos hemos referido a la MT como un espacio mental de almacenamiento de la información, no se la debe entender únicamente como un almacén de información si no como un sistema que, de acuerdo con la actividad que necesite realizar, hace disponibles piezas de información en una estructura mental organizada (Oberauer, 2017). Se comprende a la MT como un conjunto de componentes mentales que mantienen una pequeña cantidad de información en un estado elevado de accesibilidad para utilizarla en el desarrollo de alguna actividad (Cowan, 2017).

Desde una perspectiva neurológica, la MT no ha sido ubicada en una región delimitada y específica del cerebro, es decir, no se ha encontrado evidencia de una corteza cerebral única para la MT, aunque existe cierta evidencia sobre la corteza prefrontal y hay estudios que determinan el grado de afectación de los lóbulos cerebrales a partir de la evaluación en funciones ejecutivas, como la MT (Mariño-Velasteguí, Vargas-Alulema, & Silador-Utrera, 2020). En efecto, el funcionamiento neuropsicológico de la MT se puede observar en la comunicación entre la corteza prefrontal y las cortezas sensoriales; de tal modo que la información recibida por los sentidos externos y que se almacena en las áreas corticales destinadas para cada uno de ellos, es posteriormente utilizada en la comunicación entre la corteza prefrontal y las cortezas sensoriales produciendo el funcionamiento de la MT (Nyberg & Eriksson, 2016). Por tanto, la MT es vista como el producto de la comunicación entre procesos sensoriales, atencionales y mnemónicos y sus regiones cerebrales correspondientes, en otras palabras, un proceso emergente de la interacción de otros procesos (Bledowski, Kaiser, & Rahm, 2010; Nyberg & Eriksson, 2016).

Como consecuencia de esta configuración cerebral, la MT se vale de distintos procesos cognitivos rectores que son compartidos también con actividades atencionales o con otras formas de memoria. Según Bledowski et al., (2010) estos procesos rectores son la selección, la actualización focal, la actualización de contenidos, la repetición de ensayos y el control de la interferencia. La selección supone que la MT posee criterios para priorizar sus contenidos en relación con la actividad a desarrollar; la actualización focal es la modificación de los contenidos presentes en el foco de la atención; la

actualización de contenido es la modificación de los contenidos presentes en la MT según la actividad desarrollada; la repetición de ensayos previene el decaimiento de la información en la memoria a corto plazo; y el control de la interferencia previene que la información memorizada se confunda con otra información disponible en el ambiente o previamente memorizada.

Uno de los modelos de memoria de trabajo más influyente es el propuesto por Baddeley y Hitch, quienes proponen un modelo multialmacén con un proceso rector de actividades denominado el ejecutivo central, y tres subprocesos: la agenda viso-espacial, el bucle fonológico y el retén episódico (Baddeley, 2010, 2018; Baddeley & Hitch, 1974). Cada componente cumple una actividad específica: la agenda viso-espacial almacena y procesa información viso-espacial a la vez que trabaja con imágenes mentales, el bucle fonológico almacena y procesa información acústica incluyendo información verbal, el retén episódico conecta los dos procesos antedichos con la memoria a largo plazo, y el ejecutivo central coordina las actividades de todos los componentes de la MT (Gómez-Veiga et al., 2013). Una de las actividades que desarrolla el ejecutivo central es conocida como la actualización de la MT (Morris & Jones, 1990). El objetivo de este artículo es describir este proceso y su importancia para el resto de las actividades cognitivas.

Actualización de la memoria de trabajo

Si la MT recibe información de los sentidos externos y de la memoria a largo plazo, y esta información cambia según las actividades que realizamos; entonces la MT debe ser un sistema lo suficientemente flexible para permitir el ingreso de información nueva, la eliminación de información innecesaria, pero al mismo tiempo, lo suficientemente estable para llevar a cabo estos dos procesos sin perjuicio en el mantenimiento de la información que no necesita modificación (Kessler & Meiran, 2008). Por tanto, se ha hipotetizado la existencia de la actualización de la MT como uno de los subcomponentes de la MT que modifica la información almacenada a través de la incorporación de nuevos elementos y la eliminación de elementos innecesarios (Rac-Lubashevsky & Kessler, 2016).

Funcionamiento y configuración de la actualización de la memoria de trabajo

La actualización de la MT (en adelante A-MT) fue definida por primera vez en el trabajo de Morris y Jones (1990) como la modificación de una representación mental para permitir el ingreso de nuevos elementos en la representación. Esta definición supone que la MT no posee una capacidad ilimitada de almacenamiento y, por tanto, debe ser capaz de eliminar elementos innecesarios (Vockenberg, 2006). La A-MT es, en términos sencillos, el proceso de modificación de los contenidos de la MT. Así mismo, la A-MT es considerada, junto con la inhibición y la alternancia (la capacidad de mover la atención de una representación mental a otra), como una función ejecutiva (Miyake et al., 2000), es decir, como procesos cognitivos de alta jerarquía que permiten realizar acciones orientadas hacia un objetivo (Diamond, 2013; Dohle, Diel, & Hofmann, 2018).

La mayoría de las veces los contenidos de la MT no están aislados sino asociados a otros contenidos o integrados en un esquema de contenidos mucho más amplio (Ecker, Lewandowsky, & Oberauer, 2014; Ecker, Oberauer, & Lewandowsky, 2014). Por tanto, Kessler y Meiran (2008) propusieron que la actualización ocurre de dos modos: en contenidos individuales, conocida como la actualización local (Vockenberg, 2006), y en esquema de contenidos, conocida como la actualización global (Kessler & Meiran, 2006). Para estos autores, la actualización local consiste en la modificación de los contenidos relevantes, es decir, de los que deben ser cambiados; mientras que la actualización global consiste en la integración de los contenidos actualizados al esquema de contenidos previamente existente, con lo cual se consigue también estabilizar el conjunto de contenidos una vez ha ocurrido la actualización.

Para investigar la actualización local y global, Kessler y Meiran (2008) utilizaron una tarea en la que se presenta al participante un número específico de estímulos (por ejemplo, cuatro letras) distribuidos en cuadros adyacentes a razón de un estímulo por cuadro. Cada vez que el participante presiona una tecla predefinida los estímulos previamente presentados pueden ser reemplazados en su totalidad (actualización global) o solo algunos de ellos (actualización local). Cada reemplazo del juego de letras constituye un ensayo.

Por ejemplo, se le presentan cuatro letras al participante y se le indica que presione una tecla cuando las haya

memorizado. Al presionar la tecla, algunas (actualización local) o todas las letras (actualización global) cambian, exigiendo que el participante actualice la lista de letras en su memoria. Una vez actualizada, el participante debe presionar nuevamente la tecla, lo que lo llevará a un nuevo ensayo. La tarea continúa por varios ensayos, cuyo número es desconocido por el participante, hasta que se le pida indicar las cuatro letras más recientes.

Los resultados de Kessler y Meiran (2008) con esta tarea demostraron que el tiempo de respuesta para la actualización local era mayor que el tiempo de respuesta para la actualización global, constituyéndose de esta manera en una evidencia de la existencia de estos dos procesos ya que, de no existir el proceso de actualización global, el tiempo de respuesta aumentaría progresivamente con el número de estímulos por actualizarse. Esto indica que el proceso de actualización en ambos casos es distinto. En el caso de la actualización local debe incluir: (a) la desvinculación de los contenidos desactualizados al grupo de contenidos memorizados previamente, (b) la sustitución de algunos de los contenidos y (c) la revinculación de los nuevos contenidos al grupo de contenidos memorizados; mientras que en la actualización global solo (a) se descarta todo el grupo de contenidos memorizados y (b) se memoriza un grupo nuevo de contenidos.

Otra explicación posible de estos resultados sugiere que la MT tiene dos modos de operación: el mantenimiento y la actualización, y que la alternancia entre estos dos modos toma tiempo. Esto significaría que el tiempo de actualización aumenta a medida que la cantidad de alternancias aumenta, por tanto, la actualización global tomará menos tiempo ya que implica solo una alternancia (Kessler & Oberauer, 2014).

Es importante tomar en cuenta que, a pesar de que hemos explicado estos dos procesos de forma separada, en realidad se dan en conjunto. De acuerdo con los autores, estos procesos ocurren secuencialmente, empezando por la actualización local, que permite la sustitución de elementos antiguos por elementos nuevos, y terminando con la actualización global, que permite la integración de los nuevos elementos en el esquema de contenidos actualizado facilitando también el mantenimiento de la información memorizada (Kessler & Meiran, 2008).

Siguiendo la explicación de Kessler y Meiran (2008), el proceso de actualización es precedido por un cambio en la representación conceptual de los contenidos

memorizados que será detectado por otro componente del sistema ejecutivo: el foco de la atención. A nivel cortical, la representación conceptual de los contenidos memorizados se mantiene y actualiza en las cortezas posteriores/sensoriales, en cambio, los contenidos ubicados en el foco de la atención, que son propiamente los contenidos memorizados, se mantienen en la corteza prefrontal. Ambos almacenes de contenidos se comunican a través de un sistema de compuertas ubicado en los ganglios basales: la actualización ocurre cuando se abren las compuertas y el mantenimiento de la información solamente puede ocurrir cuando las compuertas se cierran (O'Reilly & Frank, 2006). Los contenidos de las cortezas sensoriales se actualizan automáticamente mientras que los de la corteza prefrontal dependen del sistema de compuertas ya explicado (Kessler & Oberauer, 2014; Rac-Lubashevsky & Kessler, 2016). Este sistema de compuertas y la actualización automática también han sido identificados entre los contenidos almacenados en la memoria a largo plazo y los contenidos de la MT (Rac-Lubashevsky & Kessler, 2016).

Por tanto, para cumplir su función la A-MT debe permitir la modificación de los contenidos desactualizados y la conservación de todos los contenidos, tanto los no desactualizados como los nuevos. Sin embargo, Ecker, Lewandowsky, Oberauer y Chee, (2010) concluyeron que estos hallazgos no explicaban adecuadamente el funcionamiento específico de la A-MT y, en consecuencia, hipotizaron tres funciones de la A-MT, a saber: la recuperación, la transformación y la sustitución, para conocer la implicación de cada una en el proceso general de la actualización. El primer subcomponente consiste en la búsqueda de información previamente almacenada en la memoria de largo plazo porque se necesita en el momento. El segundo consiste en la modificación de la información recuperada de acuerdo con la nueva información disponible. El tercero consiste en el intercambio de la información anterior por la información nueva. Como se demostrará más adelante, de los tres componentes la sustitución es la que tradicionalmente se ha identificado con la actualización. Un ejemplo cotidiano de estos tres subprocesos lo vemos en la gestión de invitados para un evento social: inicialmente el organizador registra un número n de invitados que asistirán a su evento, aunque este número comúnmente cambia según el ritmo al que los invitados confirmen su asistencia. Supongamos, entonces, que el organizador registra 20 invitados al inicio y que

posteriormente le indican que vendrán 5 invitados más. Ante esto, el organizador *recupera* la cantidad memorizada previamente (20 invitados), realiza la suma de los nuevos invitados de modo que *transforma* la información previa ($20 + 5$), y finalmente obtiene un resultado que *sustituye* con la información previa (25). La división de estos tres subcomponentes en un contexto experimental fue lograda a través de un paradigma parecido al utilizado por Oberauer, Süß, Schulze, Wilhelm y Wittmann (2000); Salthouse, Babcock y Shaw (1991). Esta tarea consistía en la actualización de letras por medio de operaciones aritméticas. Cada ensayo incluía la memorización de tres letras del abecedario y, una vez memorizadas, el participante presionaba una tecla permitiendo la presentación de operaciones aritméticas de suma y resta de números del 0 al 9 en uno de los tres cuadros donde antes estaban las letras. Las operaciones aritméticas indicaban que la letra presentada (p. ej.: la "a") debía ser cambiada por aquella que se ubica en el abecedario n posiciones hacia adelante (suma, $a + n$) o hacia atrás (resta, $a - n$). De esta manera, Ecker et al., (2010) midieron los tiempos de respuesta para la *recuperación*, en caso de que no hubiese operación aritmética y solo se deba recordar la letra anterior; para la *transformación*, en caso de que hubiese una operación aritmética entre el 1 al 9 (por ejemplo: $k + 9$); y la *sustitución*, en caso de que no hubiese operación aritmética sino solamente una nueva letra distinta a la anterior. Este estudio demuestra, entre otras cosas, que los tres subcomponentes contribuyen independientemente al rendimiento en tareas de actualización y que operan secuencialmente. Además de describir estos subcomponentes, los autores intentaron determinar cuáles de estos tres eran compartidos con la MT y cuáles eran únicos de la A-MT a través de la comparación de las pruebas que utilizaron para la A-MT con otras que usaron para la MT en un modelo de ecuaciones estructuradas. La conclusión a la que llegaron fue que la sustitución es el único subcomponente propio de la A-MT y que la recuperación y transformación son compartidos con la capacidad de la MT (Ecker et al., 2010). Este hallazgo tiene implicaciones para las mediciones que se han usado comúnmente para la A-MT en las que los distintos subcomponentes no son diferenciados. Posteriormente, Ecker, Lewandowsky, et al., (2014) subdividieron aún más el proceso de sustitución en: la eliminación de la información desactualizada y el registro de la información nueva. También hipotizaron que la eliminación de la información, entendida como el

desaprendizaje o la desvinculación de un elemento con su contexto, es el proceso único y específico de la A-MT y que las tareas comúnmente utilizadas para la evaluación de la actualización han evaluado otros procesos distintos a la eliminación de la información desactualizada o mezclándola con procesos no específicos de la A-MT.

La separación de la sustitución en *eliminación* y nuevo *registro* se obtuvo a través de una tarea que avisaba al participante qué estímulo sería actualizado y cuál no lo sería momentos antes de que ocurriera la actualización. En la tarea se tomó la precaución de que los estímulos eliminados y los nuevos no fueran muy similares entre sí y tuvieran la misma probabilidad de ser actualizados. El participante, por tanto, podía eliminar el estímulo memorizado y prepararse para el registro de un nuevo estímulo. Los autores modificaron la tarea utilizada por Ecker y otros (2010) agregando un intervalo entre ensayos, conocido como el intervalo señal-objetivo (en inglés cue-target interval, CTI), de manera que los cuadros donde se ubicaban las letras cambiaban de color antes de empezar los siguientes ensayos indicando el estímulo a ser actualizado. De este estudio se concluyó que: (a) la eliminación de la información es un proceso activo de la MT (Ecker, Lewandowsky, et al., 2014; Ecker, Oberauer, et al., 2014; Oberauer & Lewandowsky, 2013) y no un efecto secundario ocasionado por el paso del tiempo (Baddeley, 2000); (b) que este proceso de eliminación activa, cuando dispone de suficiente tiempo (CTI = 1500 ms), no es afectado por la similitud de los estímulos; y (c) que las tareas utilizadas por estos autores constituyen una medida confiable de la A-MT.

Aunque también es uno de los componentes de la actualización, la recuperación ha demostrado explicar una mayor proporción de la varianza en la capacidad de la memoria de trabajo que en la actualización. Esto apunta a que la exactitud con la que se recupera la información que tiene que ser actualizada se relaciona con las diferencias individuales en la capacidad de la memoria de trabajo (Ecker et al., 2010). En efecto, se ha demostrado que hay diferencias en la cantidad de errores cometidos en tareas de actualización por razón de la recuperación según la edad del participante (Linares, Bajo, & Pelegrina, 2016) y que personas con menos desarrollo en su capacidad de memoria de trabajo cometían más errores en tareas de actualización que personas con mayor desarrollo (Unsworth & Engle, 2008).

La actualización de contenidos asociados entre sí

Otro aspecto importante que tomar en cuenta en el proceso de actualización es que los contenidos de la MT están asociados a otros contenidos y, por tanto, es lógico considerar que la A-MT puede funcionar de manera distinta dependiendo de la cantidad de contenidos que deba actualizar. Como ya hemos señalado, el trabajo de Kessler y Meiran (2008) evidencia la existencia de dos procesos de actualización: local y global. Kessler y Oberauer (2014), por su parte, hipotetizaron que cuando un elemento se actualiza en la memoria de trabajo, no solamente se actualiza el elemento sino también toda su red de asociaciones. Este proceso se explica en cuatro hipótesis: (1) en la hipótesis conocida como la asociación elemento-posición, el elemento se relaciona con su posición o contexto, por ejemplo la palabra que constituye el sujeto de una oración; (2) en la hipótesis conocida como la asociación elemento-elemento, un elemento se asocia con otros elementos, por ejemplo los dígitos que conforman un número telefónico; (3) en la hipótesis conocida como el encadenamiento, cada elemento se encadena con los elementos inmediatamente próximos en la lista, por ejemplo en una serie de cinco dígitos, cada uno estará más fuertemente asociado con el dígito inmediatamente próximo y menos con el dígito que se encuentre más distante; y (4) en la hipótesis conocida como la actualización-alternancia, la memoria de trabajo posee dos modos de actuación que son alternados entre el mantenimiento de la información y su actualización.

Kessler y Oberauer (2014) investigaron estas cuatro hipótesis creando un modelo de regresión y utilizando el paradigma de Kessler y Meiran (2008) con algunas modificaciones, de manera que presentaba, en el primer experimento, todos los cuatro estímulos por ensayo y, en el segundo experimento, solamente aquellos estímulos que eran actualizados sustituyendo los elementos no actualizados con un asterisco (*). Los autores, además, configuraron la tarea de tal manera que cada uno de los cuatro estímulos podía actualizarse (U), repetirse (R) o cambiar de posición formando 12 combinaciones posibles de actualización donde, si una combinación era RRUU, los dos primeros elementos se repetían y los dos últimos se actualizaban. Las combinaciones que involucraban cambios de posición de los ítems se codificaban como UR₁R₂U, donde R₁ indica que se repite el primer elemento del ensayo anterior (ahora en la segunda posición en vez de la

primera posición) y R_2 indica que se repite el segundo elemento del ensayo anterior (ahora en la tercera posición). Los resultados sugieren que, al iniciarse el proceso de actualización, el modo por defecto de la MT es el mantenimiento de la información, continúa con un escaneo de principio a fin de los nuevos elementos presentados, tanto en las tareas donde se presentaban todos los elementos por ensayos como en la que solo se mostraban algunos, y viene seguido por la evaluación de la necesidad de actualización de cada uno de los elementos. Posteriormente, la MT alternará, según cada elemento, entre la actualización del elemento nuevo a través de la sustitución de la asociación del elemento antiguo con su posición y la asociación del nuevo elemento con esa posición (primera hipótesis) y continúa en ese modo hasta encontrar un elemento que no necesita actualización frente al cual volverá al modo de mantenimiento (cuarta hipótesis) aunque, en ocasiones, actualice también elementos no modificados ahorrando el tiempo que requiere la alternancia. En general, sus hipótesis fueron confirmadas por su modelo, aunque las hipótesis sobre la asociación elemento-elemento y sobre el encadenamiento (hipótesis dos y tres, respectivamente), no fueron confirmadas.

En un estudio, Ecker, Oberauer, et al., (2014), presentaron evidencia que sustentaba la hipótesis relativa a la alternancia entre el modo de mantenimiento y de actualización de la MT; **Error! Marcador no definido.** así como también sobre el proceso de eliminación de la información desactualizada dentro del modelo de funcionamiento de la A-MT propuesto por Kessler y Meiran (2008). Esto nos lleva a pensar que la eliminación de la información desactualizada ocurre a través de la eliminación de las asociaciones elemento-posición y que, de forma general, la A-MT elimina estas asociaciones una por una después de analizar la necesidad de actualizar cada elemento de la MT, cuando realiza una actualización parcial de los contenidos. En el caso de la actualización global de los contenidos se eliminan todas las asociaciones desactualizadas para reemplazarlas con las asociaciones actualizadas (Ecker, Oberauer, et al., 2014).

Esta evidencia nos hace pensar que los contenidos de la MT forman asociaciones con esquemas de contenidos (también conocidos como contextos) que organizan los contenidos asociados a ellos. Esta explicación se conoce como la hipótesis de las asociaciones o hipótesis vinculante (Oberauer, 2017). Un ejemplo de las asociaciones que realiza la MT lo encontramos cuando

vemos algún encuentro deportivo. En efecto, el espectador debe asociar las actividades que se realizan en el juego (*contenido*) con el jugador respectivo (*esquema de contenido o contexto*) que lleva a cabo esa actividad; de no ser así, seríamos incapaces de asociar actividades nuevas con los jugadores y de seguir el desenlace del partido. Desde esta hipótesis se afirma que las representaciones de contenidos nuevos para la MT establecen asociaciones con las representaciones de sus contextos. Algunos ejemplos de estos esquemas de han sido detallados en varios estudios (Goodwin & Johnson-Laird, 2005; Morrow, Greenspan, & Bower, 1987). La hipótesis de las asociaciones ha sido sustentada previamente mediante las correlaciones altas que obtuvo la prueba de medición de asociaciones desarrollada por Wilhelm, Hildebrandt y Oberauer (2013) con tres pruebas distintas que evalúan la MT.

Otra evidencia de la hipótesis de las asociaciones proviene del modelo computacional de la MT conocido como el Serial Order in a Box (SOB), el cual describe cómo se realizan estas asociaciones: la MT es descrita como la conexión a través de aprendizaje hebbiano (activación simultánea de neuronas que establecen o consolidan sinapsis constituyéndose en una unidad funcional) de dos capas de neuronas: la primera capa mantiene representaciones de elementos como palabras o números y la segunda capa mantiene representaciones de contextos como el orden de unas palabras en una oración (Farrell & Lewandowsky, 2002; Oberauer, Lewandowsky, Farrell, Jarrold, & Greaves, 2012). Las dos capas están conectadas por una matriz de cargas que se ajusta dependiendo de la información que va recibiendo, cuando la información de una capa coincide con la de otra, ambas se activan reforzando su conexión y debilitando conexiones erróneas (Oberauer, 2017).

La hipótesis de las asociaciones contempla la actualización como un cambio de contexto, espacial, temporal o de otra naturaleza; o como un aumento o disminución de los contenidos asociados al contexto. Por ejemplo, una narración sobre las actividades de una ama de casa durante una mañana de trabajo detallará que la persona cambió de habitación varias veces durante sus actividades, recibió la visita de una amiga en una de las habitaciones del hogar, etc. De esta manera, el observador debe actualizar su contenido (ama de casa) según los distintos contextos (habitaciones de la casa) y el contexto (habitaciones de la casa) según los contenidos (ama de casa y visita).

Procesos que influyen en el desempeño de la A-MT

Finalmente, se han identificado dos procesos que influyen en la A-MT haciéndola más rápida o disminuyendo su desempeño, estos procesos son la facilitación proactiva y la interferencia proactiva (Oberauer & Vockenberg, 2009). Siguiendo el mismo ejemplo del ama de casa, supongamos que en un intervalo específico del día está en el comedor, se desplaza a la cocina y, luego, vuelve al comedor. El lector ha memorizado un mismo contenido en dos contextos espaciales distintos y en tres tiempos diferentes. La facilitación proactiva ocurre cuando la asociación original ha sido reemplazada por una distinta y luego se vuelve a utilizar permitiendo disponer más rápidamente de ella. La interferencia proactiva ocurre cuando la asociación de un contenido se ha realizado con diferentes contextos y algunas de las asociaciones previamente establecidas continúa afectando a la MT. El proceso de facilitación proactiva, no así el de interferencia proactiva, fue confirmado en una tarea de actualización de un grupo reducido de estímulos asociados a dos posibles posiciones y cambiando las asociaciones de los estímulos con estas posiciones (Oberauer & Vockenberg, 2009). Este hallazgo confirma también la existencia de un proceso de

eliminación de la información no completamente perfecto, pero altamente efectivo.

En resumen, la A-MT consiste en la eliminación de una o varias asociaciones elementos-contexto y su sustitución por nuevas asociaciones, las que a su vez ocurren por un cambio en la percepción de un estímulo o evento, bien sea por adición, eliminación o sustitución de elementos. Este subproceso de la memoria de trabajo no es insignificante, de hecho la A-MT permite mantener la correspondencia entre la realidad empírica y nuestro entendimiento de la misma, llevar a cabo operaciones mentales de mucha complejidad como una operación aritmética de varios dígitos o la comprensión de toda una línea de ideas argumentativas en un discurso, y desempeñar actividades complejas para las que la sola repetición de rutinas no basta para alcanzar sus objetivos (Rac-Lubashevsky & Kessler, 2016). En relación con la influencia de la A-MT en otros procesos psicológicos, se ha encontrado que, cuando la A-MT ha sido entrenada para mejorar su desempeño, también se encuentran beneficios en la regulación emocional (Xiu, Zhou, & Jiang, 2016) y el desempeño escolar matemático (Zhang, Chang, Chen, Ma, & Zhou, 2018). Estos hallazgos deben ser matizados por el hecho de que muchas de las tareas usadas en estos estudios para evaluar la A-MT no evalúan únicamente este proceso sino otros procesos cognitivos (Ecker et al., 2010).

Evaluación de la actualización de la memoria de trabajo

Una adecuada comprensión de la A-MT nos permitirá desarrollar estrategias para evaluarlas. El problema con la evaluación de las funciones ejecutivas ha sido reportado repetidas veces en la literatura (Chan, Shum, Touloupoulou, & Chen, 2008; Friedman & Miyake, 2017; Jurado & Rosselli, 2007; Monette & Bigras, 2008). El mayor inconveniente para su evaluación es que estas no funcionan aisladamente, sino que están muy integradas a otras funciones. A pesar de esto, se han realizado esfuerzos para lograr aislar la A-MT y obtener una tarea cognitiva lo suficientemente precisa como para evaluar este único proceso.

Dentro de la psicología cognitiva, una forma muy común de evaluar procesos cognitivos es a través de la medición de sus tiempos de respuesta. Se presenta un estímulo visual o auditivo y el participante debe realizar alguna acción, comúnmente presionar una tecla, lo cual

permite registrar el tiempo que le toma reaccionar al estímulo. Otra forma de evaluar su funcionamiento es a través del número de respuestas correctas que se obtiene en la tarea. Una de las tareas más utilizadas para evaluar la A-MT es la tarea memoria de letras (Miyake et al., 2000; Morris & Jones, 1990). En esta tarea, se presenta una serie de letras a un intervalo fijo (p. ej. una letra por segundo) y se pide al participante que recuerde las últimas cuatro letras que se le presentan a medida que avanza la serie. Debido a que el participante desconoce la cantidad de letras que se le presentarán, debe actualizar el contenido de su memoria de trabajo a medida que salen nuevas letras. Por ejemplo, han salido las letras R, J, X, P, al aparecer la siguiente letra ("H"), el participante ahora deberá recordar las letras J, X, P, H, si la siguiente letra es la "M", deberá recordar X, P, H, M, y así sucesivamente, hasta que le pida indicar

cuáles fueron las últimas cuatro letras presentadas. Se puede observar una representación gráfica de la tarea en la Figura 1. Esta tarea también se la conoce como *running memory span* (Pollack, Johnson, & Knaff, 1959), aunque su nombre en inglés *letter memory task* (tarea memoria de letras en español) es más común para

denominar a la versión de la prueba en la que los estímulos se presentan a razón de uno por segundo. Esta versión de la tarea ha mostrado tener una buena consistencia interna (alpha de Cronbach) y correlación con otras pruebas que comúnmente se usan para la MT (Berberian et al., 2015).

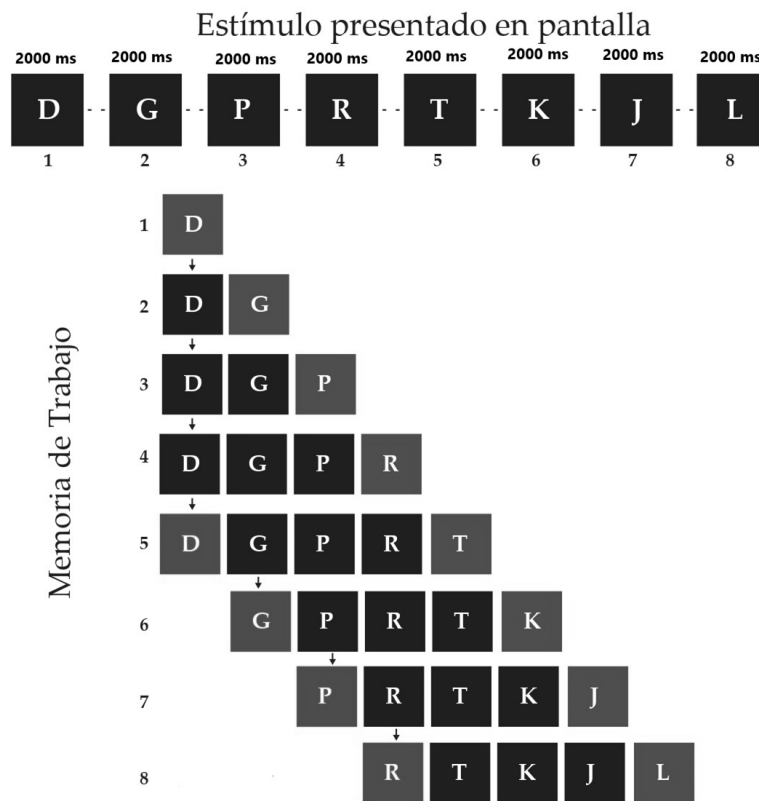


Figura 1. Tarea memoria de letras. En esta prueba se presenta una letra a la vez en la pantalla (las letras en la parte superior). A partir de la cuarta pantalla, el participante debe memorizar las nuevas letras presentadas (la última letra de cada serie) y olvidar las letras antiguas (la primera letra de cada serie), ya que solo debe mantener en la memoria las últimas 4 letras presentadas

Esta tarea involucra los procesos de la A-MT en la eliminación de las letras desactualizadas, es decir, aquellas que superan la cantidad específica de elementos que se deben memorizar, en la protección de las cuatro letras vigentes, y en el registro de las últimas letras presentadas. El puntaje de esta tarea es la cantidad de letras recordadas en el orden correcto. En esta tarea se observa también la A-MT en el registro de información nueva sin sustitución, esto es en las primeras etapas de la tarea. Aunque la A-MT ha sido comúnmente asociada con la sustitución y eliminación de información, la creación de nuevas asociaciones

elemento-posición también actualizan la MT, por lo que son necesarios realizar estudios en esta dirección.

La A-MT también ha sido evaluada a través de una tarea que requiere de la clasificación de una serie de palabras a unas categorías previamente establecidas (*keep track task*). Por ejemplo, se presentan 4 categorías como “Países”, “Animales”, “Colores” y “Comida”, los ensayos consistirán en la presentación de palabras que pueden pertenecer a una de estas categorías. La tarea consiste en recordar la última palabra presentada en cada categoría. La MT deberá registrar las categorías y asociar a ellas las distintas palabras que se observen; a

partir de la segunda palabra por categoría, se deberá sustituir la palabra desactualizada por la nueva palabra (Miyake et al., 2000; Yntema, 1963). Para esta tarea también se ha encontrado una buena consistencia interna (Berberian et al., 2015). Es importante considerar que la tarea no evalúa exclusivamente el proceso de actualización (sustitución) sino que también

comparte el proceso de la recuperación con la capacidad de la MT (Ecker et al., 2010). Se puede ver una representación gráfica de la tarea en la Figura 2. Esta tarea ha sido usada, por ejemplo, para evaluar la influencia de la actualización como mediador entre la edad y la inteligencia fluida (Chen & Li, 2007).



Figura 2. *Keep track task*. Las categorías en este caso son "animales", "colores" y "países". Las palabras presentadas en grande deben ser memorizadas y sustituidas. Una vez presentados todos los estímulos el participante debe recordar la última palabra de cada categoría

Otra tarea que evalúa el proceso de A-MT de manera más específica consiste en la presentación de cuatro dígitos, seleccionados de entre 1 y 9, en una matriz de 2x2 a razón de un número por cuadro. Los siguientes ensayos mostrarán operaciones aritméticas de suma o resta (p. ej. +2, -8, etc.) en uno de los cuadros de la matriz a la vez, permaneciendo vacíos los demás. Estas operaciones aritméticas deben realizarse al número que estaba en ese mismo cuadro en el ensayo anterior, de modo que el evaluado deberá actualizar el contenido de los cuadros en la medida en la que estos se modifiquen por las operaciones aritméticas. Después de un número de operaciones desconocido por el participante, se le pide indicar los números actualizados de cada uno de los cuadros (Oberauer, 2002; Salthouse et al., 1991).

En este ejercicio el participante debe, en primer lugar, memorizar los números del primer ensayo y luego aplicar las operaciones aritméticas únicamente en los cuadros donde aparezcan. La A-MT se evalúa en los tres subprocesos propuestos por Ecker et al., (2010), la recuperación ocurre al recordarse los dígitos del ensayo anterior, la transformación ocurre cuando se aplican las operaciones aritméticas y la sustitución ocurre cuando se elimina el dígito anterior asociado al cuadro actualizado y se reemplaza por el resultado obtenido en la operación aritmética. Toda esta operación de actualización será evaluada a través del tiempo de respuesta que le toma al individuo desde la presentación del estímulo hasta su respuesta motora (comúnmente, presionar una tecla). La consistencia interna de esta tarea medida por el alpha de Cronbach es de 0.81 y para

una versión parecida, pero con posiciones de figuras, se reporta un alpha de Cronbach de 0.85 (Oberauer et al., 2000). Esta tarea ha sido utilizada, por ejemplo, en un artículo que estudia la validez de un modelo de MT que considera al foco de atención dentro de su configuración

(Oberauer, 2002). En otro estudio, se han observado puntajes elevados de fiabilidad expresado en un alpha de Cronbach entre .85 a .91 (Lewandowsky, Oberauer, Yang, & Ecker, 2010). En la Figura 3 se puede ver una representación gráfica de la tarea.

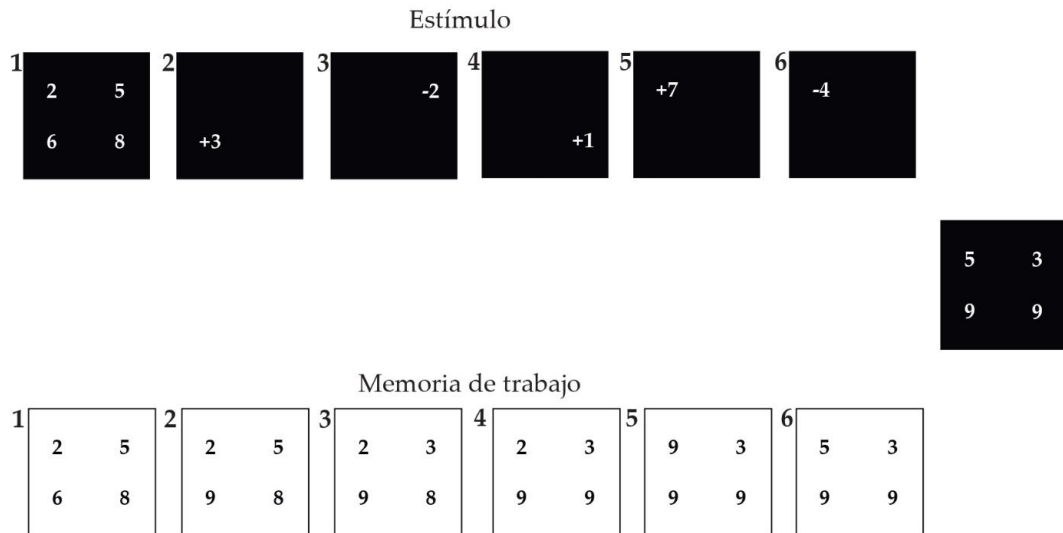


Figura 3. Tarea de actualización con operaciones aritméticas. En la parte superior están los estímulos presentados y en la parte inferior (Memoria de trabajo) se muestra el contenido que debe existir en la MT

Otra tarea utilizada para evaluar la A-MT es la presentada por Kessler y Meiran (2008). Como ya hemos explicado, el primer ensayo consiste en cuatro consonantes distribuidas en cuatro cuadros adyacentes, a razón de una consonante por cuadro. En los siguientes ensayos se actualizará el contenido de uno o varios cuadros hasta que finalmente se le pida al participante indicar la letra que contiene cada cuadro. Debido a que existen cuatro cuadros, puede haber distintos patrones de actualización. Estos patrones son representados por los procesos que se lleven a cabo, es decir, de actualizar (A) o recordar (R). De esta forma, un patrón ARRA, indica que el primer y último cuadro se actualizan, mientras que en el segundo y tercero se mantienen las letras anteriores. El puntaje de esta tarea se obtiene

calculando la media del tiempo de respuesta del participante para cada patrón de actualización. La recuperación de las letras memorizadas por cada ensayo y la sustitución de las letras desactualizadas por las letras nuevas constituyen los dos subprocesos de la actualización involucrados en esta tarea. **Error! Marcador no definido.** Como ya hemos descrito, esta tarea se ha utilizado para estudiar la naturaleza del proceso de actualización de manera más específica y no necesariamente para una evaluación de la eficiencia del proceso completo como en el caso de la tarea memoria de letras (Ecker, Lewandowsky, et al., 2014; Ecker et al., 2010; Ecker, Oberauer, et al., 2014). La Figura 4 presenta una representación gráfica de la tarea.

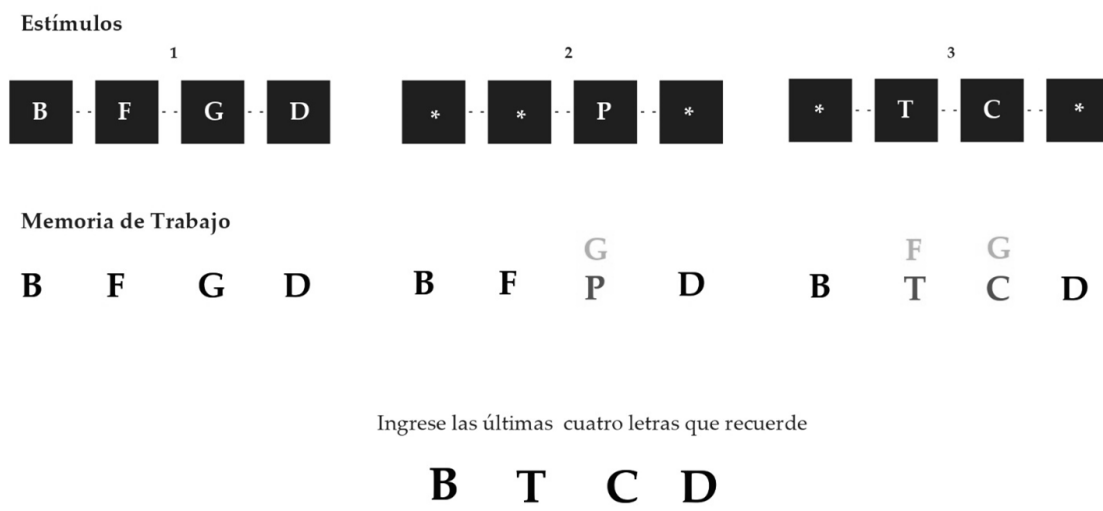


Figura 4. Tarea de actualización de letras. En la parte superior se muestran los estímulos presentados. Debajo se muestran los elementos presentes en la memoria de trabajo. Aquellas letras que aparecen sobre las demás letras son sustituidas por la letra que está debajo de ella. En la parte inferior se muestra el paso final de cada ejercicio de la tarea

Otras tareas que también suelen ser usadas para la A-MT son el paradigma n-back (McElree, 2001) y las tareas de running memory span con estímulos presentados rápidamente (250 milisegundos cada uno) (Bunting, Cowan, & Scott Saults, 2006; Kirchner, 1958), sin embargo, confunden aspectos de la A-MT con otros procesos cognitivos como la inhibición o la comparación por lo que son más apropiadas para la evaluación de la MT (Rac-Lubashevsky & Kessler, 2016). Algunos autores han especulado que la running memory task, por ejemplo, se puede resolver sin necesidad de actualizar información, por un efecto de recencia en la que la información es procesada de manera pasiva (Elosúa & Ruiz, 2008). Por otra parte, el paradigma n-back ha recibido críticas incluso como medida de la capacidad de la memoria de trabajo (Jaeggi, Buschkuhl, Perrig, & Meier, 2010).

Las tareas cognitivas suelen estar diseñadas con la ayuda de softwares tales como PsychoPy (Peirce et al., 2019), Psytoolkit (Stoet, 2010, 2016) o E-Prime (Psychology Software Tools, 2016), aunque también se suelen utilizar lenguajes de programación más generales. También existen pruebas, como la torre de Hanoi y de London, que están diseñadas con estímulos físicos cada vez menos utilizadas por sus limitaciones

(Peirce et al., 2019). Las respuestas motoras en las tareas presentadas en un computador suelen ser recogidas con la ayuda de un teclado, aunque se prefiere el uso de otros instrumentos, como el serial response box que permite registrar respuestas con mayor precisión en milisegundos o los tableros microcontroladores Arduino por su mayor nivel de fiabilidad (Schubert, D'Ausilio, & Canto, 2013).

Es importante considerar que, a pesar de que evaluaciones muy específicas de procesos cognitivos pueden eclipsar la comprensión global del constructo teórico en cuestión (Schmiedek, Lövdén, & Lindenberger, 2014) los avances alcanzados en su deconstrucción han permitido una mayor comprensión de fenómenos cognitivos complejos. Por ejemplo, Linares et al. (2016) han encontrado que la recuperación de la información representa un aspecto importante en el desarrollo evolutivo de la niñez a la adolescencia. A medida que aumenta la complejidad de nuestra comprensión de la A-MT, las tareas que pretenden evaluarla deberán incluir en sus diseños estos nuevos aspectos. De esta manera, se obtendrá una perspectiva del funcionamiento de la A-MT tal y como realmente ocurre.

Conclusiones

En esta reseña hemos reunido parte de la evidencia científica disponible sobre la A-MT a fin de aumentar la comprensión de su proceso, su funcionamiento específico y su configuración. La A-MT consiste en la sustitución de asociaciones desactualizadas por asociaciones nuevas según el cambio de los estímulos involucrados en el curso de una actividad y su funcionamiento ocurre a través de subprocesos compartidos con la capacidad de la MT como la recuperación y la transformación. Así mismo, su rol se desempeña en conjunto con el mantenimiento de la información. Ambos procesos constituyen los mecanismos de la MT sin los cuales nos sería imposible mantener el constante flujo de información proveniente de los sentidos externos o de la memoria a largo plazo, y convertirlo en una unidad coherente y comprensible. La importancia de su estudio radica en el carácter central de la MT para la gran mayoría de los procesos cognitivos y su impacto en las actividades cotidianas, el desempeño académico, laboral e, incluso, en la regulación emocional (Lechuga, Pelegrina, Pelaez, Martín-Puga, & Justicia, 2016; Xiu et al., 2016; Zhang et al., 2018).

La mayoría de los estudios revisados hasta ahora han considerado el proceso de actualización como la sustitución de elementos antiguos por nuevos. Sin embargo, algunos consideran que la actualización es todo cambio de los contenidos almacenados, ya sea por sustitución, por adición o eliminación. Se debe alcanzar un consenso en las conceptualizaciones y, si bien el proceso de sustitución ha sido ya comprobado como

proceso específico de la actualización, investigaciones adicionales podrían comprobar los otros dos procesos, la adición y la eliminación de elementos, con independencia de la sustitución a fin de determinar su papel dentro de la actualización; de no ser así, la investigación de la A-MT se concentraría en un solo de los subprocesos que la constituyen y disminuiría la relevancia de los hallazgos. Por otro lado, la actualización puede involucrar la modificación de contenidos como también la modificación de contextos o de asociaciones entre contenidos y contextos o entre contenidos, sin embargo, únicamente uno de los estudios revisados considera estos otros tipos de actualizaciones. La actualización viene siempre precedida por cambios de la información recibida del ambiente o de la memoria de largo plazo, sin embargo, pocos estudios consideran la diferencia de la actualización en razón del origen de estos cambios. Finalmente, una de las limitaciones de este campo está en su reducida validez externa, ya que los estudios suelen estar enfocados casi exclusivamente a contextos de laboratorio y se conoce muy poco sobre la generalización de estos resultados en situaciones naturales. En este sentido, resulta importante realizar más investigación sobre el rol de este constructo en situaciones más naturales.

Agradecimientos: El primer autor agradece al MSc. Ricardo Valencia Robles por su valiosa cooperación en las ilustraciones del artículo.

Referencias

- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423.
[https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, 20(4), R136–R140.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.12.014>
- Baddeley, A. (2018). *Exploring working memory: selected works of Alan Baddeley*. New York: Routledge.
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, pp. 47–89). New York: Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Berberian, A. A., Gadelha, A., Dias, N. M., Mecca, T. P., Bressan, R. A., & Lacerda, A. T. (2015). Investigation of cognition in schizophrenia: psychometric properties of instruments for assessing working memory updating. *Jornal Brasileiro de Psiquiatria*, 64(3), 238–246.
<https://doi.org/10.1590/0047-2085000000084>
- Bledowski, C., Kaiser, J., & Rahm, B. (2010). Basic operations in working memory: Contributions

- from functional imaging studies. *Behavioural Brain Research*, 214(2), 172–179.
<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2010.05.041>
- Bunting, M., Cowan, N., & Scott Saults, J. (2006). How does running memory span work? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(10), 1691–1700.
<https://doi.org/10.1080/17470210600848402>
- Chan, R., Shum, D., Touloupoulou, T., & Chen, E. (2008). Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 23(2), 201–216.
<https://doi.org/10.1016/j.acn.2007.08.010>
- Chen, T., & Li, D. (2007). The Roles of Working Memory Updating and Processing Speed in Mediating Age-related Differences in Fluid Intelligence. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 14(6), 631–646.
<https://doi.org/10.1080/13825580600987660>
- Cowan, N. (2017). The many faces of working memory and short-term storage. *Psychonomic Bulletin and Review*, 24(4), 1158–1170.
<https://doi.org/10.3758/s13423-016-1191-6>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135–168.
<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Dohle, S., Diel, K., & Hofmann, W. (2018). Executive functions and the self-regulation of eating behavior: A review. *Appetite*, 124, 4–9.
<https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.05.041>
- Ecker, U. K. H., Lewandowsky, S., & Oberauer, K. (2014). Removal of information from working memory: A specific updating process. *Journal of Memory and Language*, 74, 77–90.
<https://doi.org/10.1016/j.jml.2013.09.003>
- Ecker, U. K. H., Lewandowsky, S., Oberauer, K., & Chee, A. E. H. (2010). The Components of Working Memory Updating: An Experimental Decomposition and Individual Differences. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 36(1), 170–189.
<https://doi.org/10.1037/a0017891>
- Ecker, U. K. H., Oberauer, K., & Lewandowsky, S. (2014). Working memory updating involves item-specific removal. *Journal of Memory and Language*, 74, 1–15.
<https://doi.org/10.1016/j.jml.2014.03.006>
- Elosúa, M. R., & Ruiz, R. M. (2008). Absence of hardly pursued updating in a running memory task. *Psychological Research*, 72(4), 451–460.
<https://doi.org/10.1007/s00426-007-0124-4>
- Farrell, S., & Lewandowsky, S. (2002). An endogenous distributed model of ordering in serial recall. *Psychonomic Bulletin and Review*, 9(1), 59–79. <https://doi.org/10.3758/BF03196257>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and Diversity of Executive Functions: Individual Differences as a Window on Cognitive Structure. *Cortex*, 86, 186–204.
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>
- Goldman-Rakic, P. S. (2011). Circuitry of Primate Prefrontal Cortex and Regulation of Behavior by Representational Memory. In *Comprehensive Physiology* (pp. 373–417). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
<https://doi.org/10.1002/cphy.cp010509>
- Gómez-Veiga, I., Vila, J. Ó., García-Madruga, J. A., Contreras Felipe, A., & Elosúa, M. R. (2013). Comprensión lectora y procesos ejecutivos de la memoria operativa. *Revista de Psicología Educativa*, 19(2), 103–111.
<https://doi.org/10.5093/ed2013a17>
- Goodwin, G. P., & Johnson-Laird, P. N. (2005). Reasoning about relations. *Psychological Review*, 112(2), 468–493.
<https://doi.org/10.1037/0033-295X.112.2.468>
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Perrig, W. J., & Meier, B. (2010). The concurrent validity of the N-back task as a working memory measure. *Memory*, 18(4), 394–412.
<https://doi.org/10.1080/09658211003702171>
- Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The Elusive Nature of Executive Functions: A Review of our Current Understanding. *Neuropsychology Review*, 17(3), 213–233.
<https://doi.org/10.1007/s11065-007-9040-z>
- Kessler, Y., & Meiran, N. (2006). All updateable objects in working memory are updated whenever any of them are modified: Evidence from the memory updating paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 32(3), 570–585.
<https://doi.org/10.1037/0278-7393.32.3.570>
- Kessler, Y., & Meiran, N. (2008). Two Dissociable Updating Processes in Working Memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning*

- Memory and Cognition*, 34(6), 1339–1348.
<https://doi.org/10.1037/a0013078>
- Kessler, Y., & Oberauer, K. (2014). Working memory updating latency reflects the cost of switching between maintenance and updating modes of operation. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 40(3), 738–753. <https://doi.org/10.1037/a0035545>
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*, 55(4), 352–358. <https://doi.org/10.1037/h0043688>
- Lechuga, M. T., Pelegrina, S., Pelaez, J. L., Martín-Puga, M. E., & Justicia, M. J. (2016). Working memory updating as a predictor of academic attainment. *Educational Psychology*, 36(4), 675–690.
<https://doi.org/10.1080/01443410.2014.950193>
- Lewandowsky, S., Oberauer, K., Yang, L. X., & Ecker, U. K. H. (2010). A working memory test battery for MATLAB. *Behavior Research Methods*, 42(2), 571–585.
<https://doi.org/10.3758/BRM.42.2.571>
- Linares, R., Bajo, M. T., & Pelegrina, S. (2016). Age-related differences in working memory updating components. *Journal of Experimental Child Psychology*, 147, 39–52.
<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.02.009>
- Mariño-Velastegui, G., Vargas-Alulema, E. E., & Silador-Utrera, R. (2020). Vista de Perfil de funciones ejecutivas en niños, niñas y adolescentes del Proyecto CETI, Cantón Baños. *Veritas & Research*, 2(1).
- McElree, B. (2001). Working Memory and Focal Attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 27(3), 817–835. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.27.3.817>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100.
<https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Monette, S., & Bigras, M. (2008). La mesure des fonctions exécutives chez les enfants d’âge préscolaire. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, 49(4), 323–341.
<https://doi.org/10.1037/a0014000>
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology*, 81(2), 111–121. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1990.tb02349.x>
- Morrow, D. G., Greenspan, S. L., & Bower, G. H. (1987). Accessibility and situation models in narrative comprehension. *Journal of Memory and Language*, 26(2), 165–187.
[https://doi.org/10.1016/0749-596X\(87\)90122-7](https://doi.org/10.1016/0749-596X(87)90122-7)
- Nyberg, L., & Eriksson, J. (2016). Working Memory: Maintenance, Updating, and the Realization of Intentions. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 8(2).
<https://doi.org/10.1101/cshperspect.a021816>
- O’Reilly, R. C., & Frank, M. J. (2006). Making working memory work: A computational model of learning in the prefrontal cortex and basal ganglia. *Neural Computation*, 18(2), 283–328.
<https://doi.org/10.1162/089976606775093909>
- Oberauer, K. (2002). Access to information in working memory: Exploring the focus of attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28(3), 411–421.
<https://doi.org/10.1037/0278-7393.28.3.411>
- Oberauer, K. (2017). What is working memory capacity? / ¿Qué es la capacidad de la memoria de trabajo? *Estudios de Psicología*, 38(2), 338–384.
<https://doi.org/10.1080/02109395.2017.1295579>
- Oberauer, K., & Lewandowsky, S. (2013). Evidence against decay in verbal working memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(2), 380–411.
<https://doi.org/10.1037/a0029588>
- Oberauer, K., Lewandowsky, S., Farrell, S., Jarrold, C., & Greaves, M. (2012). Modeling working memory: An interference model of complex span. *Psychonomic Bulletin and Review*, 19(5), 779–819. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0272-4>
- Oberauer, K., Süß, H.-M., Schulze, R., Wilhelm, O., & Wittmann, W. W. (2000). Working memory capacity — facets of a cognitive ability construct. *Personality and Individual Differences*, 29(6), 1017–1045.
[https://doi.org/10.1016/S0191-8869\(99\)00251-2](https://doi.org/10.1016/S0191-8869(99)00251-2)
- Oberauer, K., & Vockenberg, K. (2009). Updating of Working Memory: Lingering Bindings. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(5), 967–987.

- <https://doi.org/10.1080/17470210802372912>
- Peirce, J., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H., ... Lindeløv, J. K. (2019). PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior Research Methods*, *51*(1), 195–203. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y>
- Pollack, I., Johnson, L. B., & Knaff, P. R. (1959). Running memory span. *Journal of Experimental Psychology*, *57*(3), 137–146. <https://doi.org/10.1037/h0046137>
- Psychology Software Tools, I. (2016). *E-Prime 3.0*. Retrieved from <https://support.pstnet.com/>
- Rac-Lubashevsky, R., & Kessler, Y. (2016). Dissociating working memory updating and automatic updating: The reference-back paradigm. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *42*(6), 951–969. <https://doi.org/10.1037/xlm0000219>
- Salthouse, T. A., Babcock, R. L., & Shaw, R. J. (1991). Effects of adult age on structural and operational capacities in working memory. *Psychology and Aging*, *6*(1), 118–127. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.6.1.118>
- Schmiedek, F., Lövdén, M., & Lindenberger, U. (2014). A task is a task is a task: Putting complex span, n-back, and other working memory indicators in psychometric context. *Frontiers in Psychology*, *5*(DEC), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01475>
- Schubert, T. W., D'Ausilio, A., & Canto, R. (2013). Using Arduino microcontroller boards to measure response latencies. *Behavior Research Methods*, *45*(4), 1332–1346. <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0336-z>
- Stoet, G. (2010). PsyToolkit: A software package for programming psychological experiments using Linux. *Behavior Research Methods* *2010* *42*:4, 42(4), 1096–1104. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.4.1096>
- Stoet, G. (2016). PsyToolkit: A Novel Web-Based Method for Running Online Questionnaires and Reaction-Time Experiments. <https://doi.org/10.1177/0098628316677643>, *44*(1), 24–31. <https://doi.org/10.1177/0098628316677643>
- Unsworth, N., & Engle, R. W. (2008). Speed and accuracy of accessing information in working memory: An individual differences investigation of focus switching. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *34*(3), 616–630. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.34.3.616>
- Vockenberg, K. (2006). *Updating of Representations in Working Memory*. Universität Potsdam.
- Wilhelm, O., Hildebrandt, A., & Oberauer, K. (2013). What is working memory capacity, and how can we measure it? *Frontiers in Psychology*, *4*(JUL), 1–22. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00433>
- Xiu, L., Zhou, R., & Jiang, Y. (2016). Working memory training improves emotion regulation ability: Evidence from HRV. *Physiology & Behavior*, *155*, 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.12.004>
- Yntema, D. B. (1963). Keeping Track of Several Things at Once. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *5*(1), 7–17. <https://doi.org/10.1177/001872086300500102>
- Zhang, H., Chang, L., Chen, X., Ma, L., & Zhou, R. (2018). Working memory updating training improves mathematics performance in middle school students with learning difficulties. *Frontiers in Human Neuroscience*, *12*(April), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00154>



Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0.

En caso de que el artículo presentado sea aprobado para su publicación, los autores, mediante el documento “Declaración de originalidad y Cesión de derechos de autor”, transfieren a la revista los derechos patrimoniales que tienen sobre el trabajo para que se puedan realizar copias y distribución de los contenidos por cualquier medio y en acceso abierto, siempre que se mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga un uso comercial de la obra.