







**UNIVERSIDAD DE JAÉN**

**FACULTAD DE HUMANIDADES Y  
CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA**

**TESIS DOCTORAL**

•

**La actualización de la información en la  
memoria de trabajo: diferencias asociadas a la edad  
y efectos de un programa de entrenamiento.**

**Working memory updating: age-related  
differences and effects of a training programme.**

**Rocío Linares Martínez**

**DIRIGIDA POR:  
Dr. Santiago Pelegrina López**

**Jaén, Diciembre 2016**







## AGRADECIMIENTOS

Realizar una Tesis Doctoral implica recorrer un camino largo y arduo. Por ello, en las siguientes líneas me gustaría expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que me han acompañado y han confiado en mí durante este proceso.

En primer lugar, quiero dar las gracias a mi director de Tesis, *Santiago*, quien me ha inculcado la pasión por la investigación. Sus conocimientos, orientaciones y persistencia han sido claves en mi formación. Gracias por el esfuerzo y la dedicación que también has puesto en este trabajo.

A mis compañeros del Grupo de Investigación “Cognición, Desarrollo y Educación” (HUM-883), *Cristina, Eva, María José, Nicolás y Teresa*. Gracias por vuestra ayuda, las palabras de ánimo y el cariño que me habéis mostrado desde que me conocisteis.

A mis compañeros y amigos del 017, por todos los buenos momentos y las risas que hemos compartido dentro y fuera del despacho, *Alex, Carmen, Gaby, José Andrés, Lourdes, María Aranda, María Moreno, Marta García, Marta Sabariego, Pablo, Pedro, Rocío Donaire, Teresa Amezcua, Teresa Luz y Virginia*. Gracias por el recuerdo tan dulce que me llevo de vosotros.

A *Barbara, Erika y Cesare*, por su cálida acogida durante mi estancia en Padua. Gracias por todo lo que he aprendido de vosotros y por hacer que me sintiera como una más desde el primer día.

A los colegios *Cándido Nogales* y *Divino Maestro* de Jaén que me abrieron sus puertas para desarrollar este trabajo y a todas las personas que me han ayudado con la administración de las pruebas de los estudios y que han hecho más amenos los ratos en el laboratorio.

A mis amigas, *Aurora, Tere y Vicky*, por su capacidad para desestresarme y hacerme reír hasta olvidarme de todo cada vez que estoy con ellas. Gracias por vuestro apoyo incondicional y vuestros consejos cuando más lo necesito.

En especial quiero dar las gracias a mi familia. A mis *padres*, a quienes les debo haber llegado hasta aquí. A esos héroes de carne y hueso que me han demostrado que siempre hay que seguir adelante por muchos obstáculos que

haya en el camino. Gracias por todo el amor y el apoyo que me ofrecéis cada día.

A mis *abuelos*, que desde pequeña han velado por mi bienestar. Gracias por todo lo que me habéis enseñado y por el cariño que siempre me mostráis.

Y por último, un agradecimiento muy especial a mi *hermano*, porque con una sola de sus sonrisas es capaz de alejar cualquier preocupación y llenarme de alegría. Gracias por ser mi motor cada día.

A todos,

**GRACIAS**





## **RECONOCIMIENTOS**

El desarrollo de esta Tesis Doctoral ha sido financiado por la Universidad de Jaén, a través de la Ayuda para la Formación de Personal Investigador, con cargo al Plan de Apoyo a la Investigación, al Desarrollo Tecnológico y a la Innovación de la Universidad de Jaén (convocatoria 2011) y por el Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España mediante la concesión del Proyecto (PSI2012-37764) “Actualización en la memoria operativa: Diferencias evolutivas y relacionadas con las habilidades de lectura y matemáticas”. De igual manera, esta Tesis también tuvo el apoyo del grupo de investigación HUM-883 (Cognición, Desarrollo y Educación) de la Junta de Andalucía.

Las estancias internacionales de investigación que posibilitan que esta Tesis Doctoral opte a la Mención Internacional han sido financiadas por las Ayudas al personal investigador en formación para la obtención del Doctorado con Mención Internacional, promovidas por el Vicerrectorado de Innovación, Desarrollo Tecnológico e Investigación de la Universidad de Jaén.

Los trabajos de investigación presentados en esta Tesis Doctoral han sido realizados en los colegios Cándido Nogales y Divino Maestro de Jaén y en los laboratorios del Departamento de Psicología de la Universidad de Jaén y del Departamento de Psicología General de la Universidad de Padua (Italia).



## PRÓLOGO

Mi primer contacto con la investigación tuvo lugar durante el período de prácticas de la Licenciatura de Psicología. Mi experiencia fue tan satisfactoria que tras licenciarme decidí realizar el Trabajo Tutelado de Iniciación a la Investigación o antiguo Diploma de Estudios Avanzados (DEA). Fue durante este período cuando empecé a conocer un poco más sobre este sistema de memoria llamado “working memory” y del que tanto aprendí de la mano de Santiago Pelegrina y Teresa Lechuga.

A partir de ahí se despertó mi interés por la neurociencia y decidí hacer el Máster de Neurociencia Cognitiva y del Comportamiento de la Universidad de Granada y antes de finalizarlo me concedieron una Ayuda Predoctoral de la Universidad de Jaén para realizar la Tesis Doctoral durante cuatro años dirigida por Santiago.

Fue en Febrero de 2013 cuando comenzó un proceso que concluye con la presentación de los estudios que conforman esta Tesis Doctoral. Desde el inicio planteamos continuar con la temática que ya habíamos iniciado en el Trabajo Tutelado y profundizar en el funcionamiento de la actualización de la memoria de trabajo. Una de nuestras inquietudes era analizar cómo cambia la manera en la que las personas actualizan la información a lo largo de la vida. La lectura de la investigación realizada por Ecker y colaboradores (2010) en la que se presenta una descomposición del proceso de actualización nos llevó a plantear la posibilidad de examinar las diferencias asociadas a la edad en los distintos componentes. Así, junto a Santiago y Teresa Bajo surgió el primer estudio de esta Tesis Doctoral que comenzó a realizarse cuando aún me encontraba realizando el Máster. La realización de este estudio me permitió por primera vez trabajar con niños con distintas edades. Esta experiencia me resultó muy gratificante ya que, además de disfrutar del trato con los niños, adquirí habilidades para comunicarme con los directores y los profesores de los centros educativos.

Los resultados de este primer estudio nos llevaron a centrarnos en un componente específico de la actualización, la recuperación. Un análisis incidental de los mismos sugirió la necesidad de reexaminar una cuestión que se había planteado con anterioridad. Así, surgió el segundo estudio de esta Tesis que aborda el análisis del funcionamiento de un componente de la

actualización a lo largo de una serie experimental. Los experimentos que forman parte de este estudio se desarrollaron en los laboratorios del Departamento de Psicología de la Universidad de Jaén y participaron estudiantes universitarios.

Otro elemento que concitaba nuestro interés tenía que ver con la posibilidad de potenciar el rendimiento en actualización y otros procesos mediante un programa de entrenamiento. En el momento en el que nos planteábamos estas cuestiones, surgió la oportunidad de colaborar con las investigadoras Barbara Carretti y Erika Borella de la Universidad de Padua que, además del interés común, contaban con experiencia en este tipo de estudios. Con este fin, se solicitó una Ayuda promovida por el Vicerrectorado de Innovación, Desarrollo Tecnológico e Investigación de la Universidad de Jaén para realizar una estancia de investigación en el Departamento de Psicología General de la Universidad de Padua (Italia) liderado por Cesare Cornoldi y al que pertenecen las dos investigadoras anteriormente mencionadas. Esta estancia, además, me permitía optar a la Mención de Doctorado Internacional. En este contexto y gracias a los conocimientos de Barbara Carretti y Erika Borella se llevó a cabo el tercer estudio en el que se utilizaron tareas con las que ya habíamos trabajado previamente y que adapté a la lengua italiana. Así, en esta investigación participaron estudiantes universitarios y se desarrolló en los laboratorios del Departamento de Psicología Experimental de la Universidad de Padua. Además de realizar este estudio, durante mi estancia pude compartir experiencias y conocimientos a través de diferentes encuentros que el grupo de investigación mantiene semanalmente. Esto me ha permitido profundizar en nuevas temáticas y áreas de conocimiento, además de conocer nuevas formas de trabajar que han enriquecido este trabajo doctoral.

La realización de la Tesis Doctoral me ha aportado mucho tanto a nivel profesional como a nivel personal. A nivel profesional no solo he adquirido habilidades para llevar a cabo un trabajo de investigación sino también para divulgarlo en diferentes congresos a nivel nacional e internacional. La posibilidad de impartir docencia de la Ayuda Predoctoral también me ha permitido adquirir competencias relacionadas con la enseñanza. A nivel personal he podido compartir experiencias con grandes profesionales de la investigación y he conocido personas que más que compañeros son amigos. Por tanto, si pudiera definir este período con una sola palabra lo haría como CRECIMIENTO, como profesional y como persona.





## ÍNDICE

1.	RESUMEN.....	23
2.	EXTENDED SUMMARY .....	29
2.1.	Age-related differences in working memory updating components .....	30
2.2.	Retrieval of the information and object switching .....	32
2.3.	Working memory updating training .....	36
3.	INTRODUCCIÓN .....	43
3.1.	La actualización en los modelos de memoria de trabajo .....	44
3.1.1.	Modelos multicomponente de Alan Baddeley .....	44
3.1.2.	Los modelos de procesos integrados de Cowan y Oberauer .....	47
3.1.3.	El modelo computacional de memoria de trabajo de O'Reilly y colaboradores.....	51
3.2.	Los componentes de la actualización .....	53
3.2.1.	La recuperación.....	55
3.2.2.	La sustitución .....	64
3.2.3.	La inhibición .....	72
3.3.	Cambios asociados a la edad en la actualización de la memoria de trabajo.....	75
3.3.1.	Recuperación.....	77
3.3.2.	Sustitución.....	78
3.3.3.	Inhibición .....	78
3.4.	Entrenamiento en la actualización de la memoria de trabajo.....	80
3.4.1.	Entrenamiento en memoria de trabajo .....	80
3.4.2.	Entrenamiento en actualización .....	83
3.4.3.	Factores implicados en la eficacia del entrenamiento .....	86

4.	OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	93
4.1.	Diferencias asociadas a la edad en la actualización .....	94
4.2.	Recuperación y cambio de objeto .....	95
4.3.	Entrenamiento de la actualización en la memoria de trabajo .....	97
5.	SECCIÓN EXPERIMENTAL.....	103
5.1.	Study 1: Age-related differences in working memory updating components .....	103
	Abstract.....	105
	Introduction .....	107
	Method.....	113
	Results .....	116
	Discussion.....	121
	References .....	125
5.2.	Study 2: Focus switching in working memory: the roles of context access and content retrieval .....	133
	Abstract.....	135
	Introduction .....	137
	Experiment 1.....	141
	Experiments 2a and 2b .....	149
	General discussion.....	155
	References .....	158
5.3.	Study 3: Working memory updating training in young adults.....	163
	Abstract.....	165
	Introduction .....	167
	Method .....	172
	Results .....	179

Discussion.....	187
References.....	192
6. PRINCIPALES RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	201
6.1. Análisis de los cambios asociados a la edad de los componentes de la actualización .....	201
6.1.1. Dificultad para establecer asociaciones entre elementos.....	203
6.1.2. Más susceptibilidad a la interferencia .....	203
6.2. Recuperación y cambio de objeto.....	205
6.2.1. Efecto de la recuperación cuando cambia el objeto .....	207
6.2.2. Efecto de la recuperación en ensayos de no cambio .....	208
6.3. El entrenamiento de la actualización de la memoria de trabajo.....	210
6.3.1. Efectos de transferencia y mantenimiento .....	212
6.3.2. Régimen de entrenamiento.....	215
6.3.3. Otras cuestiones relevantes en los estudios de entrenamiento .....	216
6.4. Conclusiones generales y perspectivas futuras.....	218
7. CONCLUSIONS.....	225
8. REFERENCIAS .....	231



# *Resumen*



## 1. RESUMEN

La actualización de la memoria de trabajo es el proceso que permite modificar la información mantenida para adaptarla a las nuevas exigencias del ambiente. Diferentes estudios han mostrado el importante papel que juega este proceso en otras funciones o procesos cognitivos (Borella, Carretti, y Pelegrina, 2010; Carretti, Cornoldi, De Beni, y Romanò, 2005; Palladino, Cornoldi, De Beni, y Pazzaglia, 2001; Passolunghi y Pazzaglia, 2004). Aunque tradicionalmente se ha relacionado la actualización con la sustitución de información que deja de ser relevante por otra nueva, en las tareas de actualización es posible distinguir otros procesos o componentes adicionales como la recuperación o la transformación (Ecker, Lewandowsky, Oberauer, y Chee, 2010). Esta Tesis Doctoral se ha realizado con el objetivo de profundizar en el conocimiento sobre el funcionamiento de la actualización de la memoria de trabajo y, específicamente, de los componentes implicados. Con esta finalidad se han desarrollado tres trabajos de investigación centrados principalmente en analizar en qué aspectos de la actualización difieren las personas y en qué medida puede entrenarse este proceso.

El primer estudio se llevó a cabo con el objetivo de analizar posibles diferencias asociadas a la edad en cada uno de los componentes de la actualización (recuperación, transformación y sustitución). Para ello, se administró una tarea de actualización que incluía una serie de manipulaciones que permitían separar experimentalmente los diferentes componentes a niños de 8, 11 y 14 años y a adultos jóvenes. Los resultados mostraron que los tres componentes afectaban a la exactitud y al tiempo de respuesta y que conforme aumentaba la edad de los participantes éstos eran más rápidos y más exactos en sus respuestas. Además, se encontró que los niños más pequeños tienen más dificultad para recuperar con exactitud la información mantenida fuera del foco atencional, sugiriendo que en esta etapa puede estar afectada la disponibilidad de las representaciones en la memoria de trabajo.

El segundo estudio de esta Tesis surgió tras el análisis incidental de unos resultados del estudio anterior. Los resultados de este análisis mostraban que el cambio de objeto en el foco atencional puede estar formado por dos subprocesos diferentes, el acceso al contexto y la recuperación del contenido. Sin embargo, estos resultados eran discrepantes con los encontrados por otros autores (Bialkova y Oberauer, 2010). Con el objetivo de explorar esta cuestión

se llevó a cabo una serie experimental en la que se manipulaba el acceso al contexto y la recuperación de su contenido. Además, se manipulaba el cambio de la operación de recuperación. Se encontró que ambos subprocesos se producían serial (o paralelamente pero con algún retraso) ya que la recuperación de la información asociada a un objeto producía un coste temporal adicional al que conlleva el acceso al mismo. Sin embargo, cuando no era necesario acceder al objeto, el efecto de la recuperación variaba dependiendo de la condición del cambio de la operación de recuperación. Si la operación de recuperación se repetía, se encontraba un beneficio asociado a la recuperación probablemente debido a que parte de la información ya se encontraba activada y no tenía que ser codificada de nuevo. En cambio, cuando la operación de recuperación cambiaba entre ensayos, la recuperación de la información llevaba asociado un coste. Esto sugiere que, cuando el objeto que contiene esa información o la operación que hay que realizar con ella cambia, se produce una desvinculación entre ambas representaciones que debe volver a restablecerse para que se pueda acceder a la información asociada al objeto.

El último estudio se llevó a cabo para examinar los efectos de transferencia de un programa de entrenamiento en actualización de la memoria de trabajo en el que se manipulaba el régimen de entrenamiento. Así, un grupo entrenaba utilizando un procedimiento adaptativo mientras otro entrenaba con un nivel de dificultad fijo. El rendimiento de estos grupos se comparaba con el de un grupo control activo que realizaba tareas no relacionadas con la memoria de trabajo. Se evaluaron los efectos de transferencia de este entrenamiento a otras medidas de actualización, de memoria de trabajo y de inteligencia fluida. Los resultados mostraron una mejora específica de los dos grupos entrenados (adaptativo y no adaptativo) en una tarea de actualización que era estructuralmente similar a las tareas entrenadas. Esto sugería que más que mejorarse el proceso de actualización en sí mismo, los participantes han aprendido una estrategia óptima para la realización de estas tareas. Además, no se encontraron diferencias entre ambos regímenes de entrenamiento.

En definitiva, esta Tesis Doctoral ha permitido profundizar en el conocimiento del proceso de actualización aportando información relevante sobre cómo se relacionan los diferentes componentes que pueden estar implicados. Así, la recuperación de la información ha mostrado ser el componente con mayor influencia en las diferencias asociadas a la edad. Por otra parte, el entrenamiento ha permitido adquirir una estrategia óptima aplicable a tareas similares más que producir una mejora generalizable a otras

funciones ejecutivas. Puesto que muchas tareas cotidianas requieren del proceso de actualización, los resultados de estos trabajos de investigación podrían tener ciertas implicaciones en otros ámbitos y colaborar en la explicación de otros resultados obtenidos por otros estudios.



## ***Extended Summary***



## 2. EXTENDED SUMMARY

Working memory updating (WMU) is a process that allows us to modify working memory content in order to accommodate new information. It is a core mechanism in the human mental architecture (Friedman et al., 2008; Schmiedek, Hildebrandt, Lövdén, Wilhelm, & Lindenberger, 2009) and a good predictor of a wide range of cognitive processes across different areas. For example, the WMU mechanism is the executive function that best predicts fluid intelligence (Belacchi, Carretti, & Cornoldi, 2010; Chen & Li, 2007; Friedman et al., 2006). Moreover, it accounts for individual differences in key areas of academic achievement, such as reading (Carretti, Cornoldi, De Beni, & Romanò, 2005; Palladino, Cornoldi, De Beni, & Pazzaglia, 2001) and mathematics (Passolunghi & Pazzaglia, 2004; Pelegrina, Capodieci, Carretti, & Cornoldi, 2014).

WMU tasks are, for the most part, complex and involve multiple processes. The substitution of obsolete or no-longer-relevant information may be considered the most characteristic process. It has also been proposed that certain types of inhibition could be involved in these kinds of tasks. Recent research has suggested that other processes, including the retrieval and transformation of information, may also be at play (Ecker, Lewandowsky, Oberauer, & Chee, 2010). The present dissertation aimed to examine some of these components.

In order to analyze the independent nature and specific contribution of each component to the WMU process, Ecker et al. (2010) conducted a study in which young adults performed different versions of an alphanumeric WMU task that included different combinations of some WMU components: retrieval, transformation and substitution. Retrieval consists of accessing information maintained outside the focus of attention. Transformation involves applying an operation in order to modify a representation, and substitution entails replacing information that is considered no longer relevant with newer information. These authors showed how each component contributed independently to the WMU process, and how they operated serially. Thus, to update an element in working memory, it first needs to be selectively retrieved and brought to the focus of attention, allowing a transformation operation to be applied to this representation, and finally the obsolete representation can be substituted by the modified one, making it available for future operations.

The primary aim of this dissertation was to further explore the functioning of WMU and, more specifically, its different components. Two main issues were addressed. First, whether age-related differences related to the functioning of different WMU components could be observed, and second, to what extent it is possible to train this process.

To this end, three different studies were carried out. The first study focused on assessing possible age-related differences across the different WMU components. Some results obtained in this study inspired a series of experiments that looked at ways to better understand the functioning of the retrieval process. Finally, a third study was conducted to investigate the effectiveness of a WMU training programme using tasks that involve the different WMU components. The following provides an introduction to the different studies.

### **2.1. Age-related differences in working memory updating components**

There is evidence to support that working memory undergoes developmental changes from birth through to adolescence (Brocki & Bohlin, 2004; Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing, 2004; Huizinga, Dolan, & van der Molen, 2006; Luciana, Conklin, Hooper, & Yarger, 2005; Luna, Garver, Urban, Lazar, & Sweeney, 2004). More specifically, different studies have found that the ability to efficiently update information in working memory is also subject to age-related changes, as demonstrated by improvements in performance across these tasks at least until mid-adolescence (Huizinga et al., 2006; Kwon, Reiss, & Menon, 2002; Lendínez, Pelegrina, & Lechuga, 2015; Schleepen & Jonkman, 2009; Vuontela et al., 2003).

Different tasks that require, to varying extents, the involvement of different WMU components have been used to analyze these age-related changes. However, the majority of studies have assessed the developmental trend of the overall process. As such, possible age-related changes for each WMU component have not been considered.

For example, Lechuga, Moreno, Pelegrina, Gómez-Ariza, and Bajo (2006), using a task that required recall of the last items in a list, identified performance differences between 8- and 11-year-old children. More recently, Carriedo, Corral, Montoro, Herrero, and Rucían (2016), using a similar task,

observed performance gains across childhood and adolescence (see also Lee, Bull, & Ho, 2013).

Different versions of the n-back task have also been used in WMU developmental studies. In general, these studies have found that older children are more able to handle conditions that involve higher cognitive demands (e.g., 2-back) than those deemed less demanding (e.g., 1-back) (Brahmbhatt, White, & Barch, 2010; Kwon, Reiss, & Menon, 2002; Pelegrina et al., 2015; Schleepen & Jonkman, 2009; Vuontela et al., 2003).

Although these tasks have enabled us to identify age-related differences in WMU, they were not designed to analyze whether some of these components determine, to a greater extent, the developmental differences. The first study in this dissertation looked at analyzing possible age-related differences in the WMU components across four age groups (9-, 11-, 14- and 21-year-olds).

To this end, a strategy similar to that proposed by Ecker et al. (2010) was used, employing a variety of subtasks that feature the different WMU components. The overall task included manipulations of the different WMU components, resulting in six experimental conditions. In general, a list of numbers was presented in two boxes on a screen. Each list was made up of two initial numbers (one for each box) plus several numbers, arithmetic operations, question marks or a combination, depending on the condition.

Each condition included a different combination of the retrieval, transformation and substitution components. For example, in the task featuring all three components, for each item participants had to retrieve a number (e.g., 6), apply a simple arithmetic operation to that number (e.g., + 2), and substitute the previous number for the result of the operation (e.g., 8). The other task conditions resulted from omitting one or two of the components.

It was expected that response times would increase and accuracy would decrease as more updating components were included in the task. Moreover, it was predicted that more pronounced age-related differences for some components would be observed. Given that Ecker et al. (2010) found retrieval to be the component that best accounts for individual differences, it was expected that this component would contribute to a greater extent to the age-related differences in performance.

The results showed that all three components had an influence on task accuracy and response times. Moreover, as age increased, participants were

more accurate and responded faster. Interestingly, age-related differences in the accuracy with which information was retrieved were observed. Eight-year-old children were less accurate than the remaining groups, and 11-year-olds less so compared with adults. However, no age-related differences in the speed with which information was retrieved were found.

These results suggest that the availability of representations from outside the focus of attention may change with age. Specifically, it would appear that items requiring retrieval from outside the focus of attention are less available to children than to adolescents or young adults. These findings could be due to different factors. On the one hand, it is possible that children are less able to bind items to their contexts or to associate elements in working memory. This is in line with some studies which found that the ability to bind information in WM improves during childhood (Cowan, Saults, & Morey, 2006; Fandakova, Sanders, Werkle-Bergner, & Shing, 2014). On the other hand, younger children could be more susceptible to interference, and hence may find it more difficult to maintain information outside the focus of attention. Different studies have also found that children are more prone to the interference specifically brought on by the confusion between the different elements maintained in WM (Göthe, Esser, Gendt, & Kliegl, 2012; Rodriguez-Villagra, Göthe, Oberauer, & Kliegl, 2013).

These findings are compatible with those observed in older people. As occurs with children, they seem less accurate in their ability to retrieve information (Basak & Verhaeghen, 2011; Dorbath, Hasselhorn, & Titz, 2011; Dorbath & Titz, 2011; Oberauer, Wendland, & Kliegl, 2003; Vaughan, Basak, Hartman, & Verhaeghen, 2008; Verhaeghen & Basak, 2005; Verhaeghen & Hoyer, 2007). Therefore, representations may be less available to both children and older adults with respect to younger adults.

## **2.2. Retrieval of the information and object switching**

Representations in working memory are assumed to be made up of contexts and contents. Contexts are any cues that may serve to retrieve information, including, for instance, spatial locations, frames, colours, serial position in a list, etc. Contents are information susceptible to use in a cognitive operation (e.g., numerical information). Different factors may contribute to the speed with which contexts are accessed and contents are retrieved. For example,

the repetition of the same cue related to an object can lead to faster context access (Gehring, Bryck, Jonides, Albin, & Badre, 2003). Similarly, the complexity of the information may influence the speed with which it is retrieved (Schawager & Hagendorf, 2009).

A relevant issue lies in whether context access and content retrieval can be separated when a representation is brought into the focus of attention. Bialkova and Oberauer (2010) proposed two alternative hypotheses. First, context and content could be bound in working memory; so, when a specific context is accessed, its content is retrieved simultaneously. Second, context is accessed first and then serves as a cue to retrieve the content. This latter step would entail an additional time cost. The aforementioned authors conducted a study to shed light on this issue. In the task, participants had to memorize items associated with three colours. After, several arithmetic operations, which appeared in one of the three colours, had to be applied to the items according to their colour. They manipulated context access, presenting the information in the same or a different colour, as well as content retrieval, displaying the arithmetic operation complete (e.g.,  $4 + 2$ ) or incomplete (e.g.,  $+ 2$ ). They found that both content retrieval conditions took the same time, suggesting that content retrieval did not incur an additional time cost.

In the previous study for this dissertation, we administered a task that involved context access and content retrieval. Although the task was only designed to manipulate the retrieval of information, it was possible to analyze the effects of both content retrieval and context access. An incidental analysis of both conditions showed that retrieval of information entails an additional cost to context access, highlighting the existence of two different subprocesses. These results differ from those obtained by Bialkova and Oberauer (2010).

The second study for this dissertation was carried out in an attempt to reexamine whether both processes can occur simultaneously or if they are processes that can be separated. This study included a series of experiments that employed a task similar to the one used by Bialkova and Oberauer (2010). In this task, successive arithmetic operations were presented inside two coloured figures (red square and blue triangle) and participants had to recall the last result associated with each one. Context access and content retrieval were manipulated simultaneously. There were two possible conditions of context access: object non-switch, where the information for two consecutive trials was presented in the same object, and object switch, where there were two different

objects in two consecutive items. There were also two access–retrieval conditions: non-retrieval, where all the numerical information was presented (e.g.,  $4 + 1$ ), and retrieval, where part of the information had to be retrieved in order to perform the arithmetic operation (e.g.,  $+1$ ). Frequent switches took place between both retrieval operations, which were likely to induce task switching. Therefore, a third manipulation that involved alternating the retrieval operation for two consecutive items was considered. Thus, two further conditions were applied: one in which the retrieval operation was repeated and another where it was switched.

For the first experiment, retrieval operation switching was manipulated by presenting each of the retrieval operations in different types of lists: simple and mixed lists. The simple lists included repetition of the same retrieval operation (retrieval or non-retrieval operation), whereas mixed lists included items with both retrieval operations. In line with previous studies, in the first experiment, it was expected that object switching and retrieval operation switching would produce underadditive interactions, making the object-switching cost higher in the same retrieval operation condition than when different (Risse & Oberauer, 2009; Verhaeghen & Basak, 2005). Furthermore, consistent with findings reported by Bialkova and Oberauer (2010), it was expected that the content retrieval effect would be absent.

The results revealed a complex pattern. A main finding was that when there was an object switch, content retrieval involved an additional cost. This suggests that the information has to be retrieved once the context has been accessed. Moreover, object switching and retrieval operation switching produced underadditive interactions, meaning that the object-switching cost was higher when the same retrieval operation was repeated. A different pattern emerged in the object non-switch trials. Specifically, in mixed lists, content retrieval did not result in an additional time cost. This may suggest that in this condition all information is active in the focus of attention even when an incomplete operation is displayed. Therefore, there would be no need to retrieve said information. Unexpectedly, in simple lists, incomplete operations required less time than complete ones. Two explanations were offered for this outcome. First, for complete operations, both operands had to be codified and activated in the focus of attention, whereas for incomplete ones only the second required activation. This would prove an advantage for incomplete operations. Second, with incomplete operations, it is possible that participants progressed through

the list at a faster pace because they relied on their memory to perform the next operation.

A second experiment featuring two versions was run to replicate and build on previous results. In both cases, only mixed lists were included; however, the number was doubled in order to analyze the alternation of the retrieval operation within lists. The first version of this experiment revealed the same self-paced procedure as in the previous experiment, whereas in a second version participants had to type the result of each operation. An error analysis would allow us to examine whether participants showed anticipatory responses when performing the incomplete operations.

Coinciding with the first experiment, a main result was that the content retrieval effect was found in the switching trials. This suggests that two subprocesses may be at play in focus switching: context access and content retrieval. Nevertheless, the content retrieval effect was different depending on the alternation of the retrieval operation. Unlike the first experiment, content retrieval in both versions of the second experiment incurred a time cost when a retrieval operation switch was made, irrespective of the object-switch condition. Absence of retrieval cost in the first experiment could be explained as follows: the mixed list used in this experiment included items with retrieval operation repetitions and retrieval operation switches. Both types of items, which had opposite effects on responses times, may compensate for each other. On the other hand, and as observed in the first experiment, when the retrieval operation was repeated, content retrieval produced a time benefit when no object switch was made.

To summarize, this study has shown a content retrieval effect when an object switch takes place, which suggests that focus switching can be decomposed into two subprocesses: context access and content retrieval. In the absence of an object switch, the content retrieval effect depended on the retrieval operation condition. However, when the retrieval operation was repeated, a retrieval benefit was observed. Thus, incomplete operations required less time than complete ones, most likely because the latter involved the encoding and activation of both operands, whereas incomplete operations required only one operand to be activated in the focus of attention. On the other hand, when the retrieval operation switched, a retrieval effect was found even when there was no object switch. A plausible explanation may be that the cognitive operation, that is, the retrieval operation, has to first be bound to the

object. Thus, when one of the elements in the binding switches, it is necessary to set up the binding to retrieve the information (Oberauer, 2009; see also Oberauer, Souza, Druery, & Gade, 2013). Then, once the binding is set up, the information associated with the object can be retrieved again.

### **2.3. Working memory updating training**

Some studies have found that training WMU produces benefits in other abilities (Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Perrig, 2008; Salminen, Strobach, & Schubert, 2012; Xiu, Zhou, & Jiang, 2015). However, most studies have only observed limited gains in other WMU tasks (Dahlin, Neely, Larsson, Bäckman, & Nyberg, 2008; Li et al., 2008) and some have found no effects at all (Redick et al., 2013). Given the limited benefits to other WMU tasks, the question put before us is whether training leads to improvements in the process itself or induces the learning of a strategy (von Bastian & Oberauer, 2014). In addition, the wide variability in the factors considered across the different studies could have led to these divergent results. For example, some studies have suggested that training using an adaptive procedure, which matches task difficulty level with individual performance, produces benefits to measures corresponding to other WMU-related processes (Jaeggi et al., 2008; Salminen et al., 2012; Xiu et al., 2015), and could prove more beneficial than training that maintains a constant level of difficulty (Lilienthal, Tamez, Shelton, Myerson, & Hale, 2013; but see Karbach & Verhaeghen, 2014; Minear et al., 2016; von Bastian & Eschen, 2015).

The final study of this dissertation aimed to analyze the effects of a WMU training programme by considering the previous factors. This training included two WMU tasks that featured the different WMU components. In general, in both tasks, lists of numbers or arithmetic operations were displayed in different boxes arranged horizontally on the screen. Specifically, in the Arithmetic Updating task, an initial number was presented inside each box, followed consecutively by different arithmetic operations shown at random. Participants were asked to apply the first arithmetic operation to the number that had appeared in the same box and recall the result obtained for use in the next operation corresponding to the same box. Finally, they had to enter the last result obtained in each box. In the Number Size Updating task, a sequence of numbers was presented inside each box. Participants were asked to recall the

larger or smaller number that had appeared in each box, according to a specific criterion (e.g., larger or smaller) indicated at the beginning of the list.

Two groups of participants were trained on both tasks over a total of four sessions, lasting 30 minutes each. One group performed both tasks at different levels of difficulty (adaptive group). Difficulty was manipulated through memory load and the level of suppression of the study list. Thus, this group performed the tasks with working memory loads ranging from 2 to 5, and with low and high levels of suppression that involved lists with fewer or more updating steps. The non-adaptive group approached the exercise adhering to the same level of difficulty (load of 2 and low suppression). In addition, an active control group performed non-working-memory-related tasks, for example crosswords and Tetris games. Recent reviews have highlighted the importance of including an active control group (Au et al., 2015; Dougherty, Hamovitz, & Tidwell, 2016; Morrison & Chein, 2011; Shipstead, Redick, & Engle, 2012), given that the sole inclusion of a passive control group does not allow for complete control of the motivational effects associated with participating in an intervention-based study.

Different tasks were used to assess whether training gains are transferable to other abilities. These tasks were administered before and after training and also a month later. To assess transfer to WMU (nearest transfer), two WMU tasks were included. These tasks differed in terms of similarity to the trained tasks, and were used to determine to what extent transfer is evidenced in tasks more or less similar to the trained kind. Thus, one task (Odd-Even Number Updating task) was structurally similar to the trained tasks. Regarding the trained tasks, lists of numbers were presented in different boxes. Specifically, in the Odd-Even Number Updating task participants were asked to recall the last odd or even number presented in each box, according to a previous criterion. In the other task (Number Comparison Updating task), a sequence of numbers was presented in the middle of the screen. At the end of the list, the three smallest numbers (or largest depending of the criterion) had to be entered in the same order of presentation. Moreover, transfer effects to working memory (near transfer) were assessed using the Operation Span task. Finally, fluid intelligence was tested using Raven and Cattell tests, as measures of far transfer.

According to von Bastian and Oberauer (2014), if WMU training was to lead to improvements in the process itself, benefits in the less similar tasks

would also be expected, that is, in tasks used to assess near and far transfer effects. If, however, the learning of a strategy was acquired, only benefits in the most similar WMU task would be found. In addition, and in line with previous studies, it was expected that the trained groups (adaptive and non-adaptive) would mainly improve in WMU and working memory tasks (Dahlin, Neely et al., 2008; Jaeggi et al., 2008; Salminen et al., 2012; Waris, Soveri, & Laine, 2015; Xiu et al., 2015). Any improvements would be less evident in the fluid intelligence tasks (Dahlin, Nyberg, Bäckman, & Neely, 2008; Küper & Karbach, 2015; Redick et al., 2013; Salminen et al., 2012; Sandberg, Rönnlund, Nyber, & Neely, 2014; Waris et al., 2015). Following the same logic, it was expected that benefits would be maintained mainly in WMU and working memory tasks after a month. In line with Lilienthal et al.'s (2013) study, greater improvements were expected for the adaptive group at both posttest and follow-up assessment.

Results showed that all groups improved in WMU, working memory and in one of the fluid intelligence tasks. These benefits were maintained after a month. Besides these general effects, performance of the adaptive and non-adaptive groups was superior in the most similar WMU task (Odd-Even Updating task) relative to the control group. In addition, effect sizes were numerically large (greater than 0.8) for the adaptive group in the most similar WMU task and in working memory tasks.

The specific transfer effect observed in the most similar WMU task for both trained groups seems to indicate that this gain was due to strategy acquisition more so than improvement to the WMU process itself. It is possible that, during training, participants have learnt a strategy that has allowed them to improve their performance in a task with a similar structure to a trained one. The lack of transfer effects to the working memory task and the fluid intelligence test is a common finding across different studies (Dahlin, Nyberg, et al., 2008; Küper & Karbach, 2015; Lilienthal et al., 2013; Redick et al., 2013; Salminen et al., 2012; Waris et al., 2015; but also see Jaeggi et al., 2008).

In terms of the adaptability of training, no differences were found between both procedures. Thus, it seems that maintaining a certain discrepancy between task difficulty and participant ability does not lead to greater benefits (see also Lövdén, Bäckman, Linderberger, Schaefer, & Schmiedek, 2010). These findings are in line with those obtained by Minear et al. (2016) and von Bastian and Eschen (2015) (but also see Lilienthal et al., 2013).

Finally, this study has highlighted the importance of including an active control group to ensure that the results obtained are due to the training itself and not to motivational or experimental variables.

To conclude, this dissertation has enabled us to examine the functioning behind the WMU process and, specifically, some of the different components involved. The findings obtained have led to a better understanding of the WMU process.



# **Introducción**



### 3. INTRODUCCIÓN

La memoria de trabajo es el sistema que permite mantener y manipular la información necesaria para realizar una actividad durante un breve período de tiempo. Muchas de las actividades que llevamos a cabo cada día requieren de este tipo de memoria. Por ejemplo, seguir instrucciones para llegar a un lugar determinado, combinar diferentes medidas para realizar una receta o realizar operaciones aritméticas mentalmente (Gathercole y Alloway, 2008).

Este sistema es importante para la resolución de numerosas tareas porque está implicado en diferentes procesos cognitivos complejos como la comprensión lectora (Daneman y Carpenter, 1980), el razonamiento (Kyllonen y Christal, 1990), la aritmética mental (Ashcraft, 1995) o la resolución de problemas matemáticos (Engle, Tuholski, Laughlin, y Conway, 1999). La capacidad de memoria de trabajo está sujeta a diferencias individuales, por ello contribuye a explicar las diferencias encontradas en diferentes actividades cognitivas relacionadas con el rendimiento académico (Raghubar, Barnes, y Hecht, 2010). De la misma manera, se ha encontrado que la memoria de trabajo experimenta cambios evolutivos a lo largo de la vida, especialmente durante la niñez (Gathercole et al., 2004) y la vejez (De Beni y Palladino, 2004), explicando estas diferencias asociadas a la edad el rendimiento en otras tareas complejas (Salthouse, 1991).

Una de las características más definitorias de la memoria de trabajo es su capacidad limitada. Esto supone que cuando se excede su capacidad, parte de la información puede perderse. Por este motivo, es importante contar con un proceso que permita ir actualizando la información de manera que sólo se mantenga aquella que es relevante para la actividad que se está llevando a cabo (Morris y Jones, 1990). Si no se actualizara, la información obsoleta o irrelevante ocuparía el espacio útil en la memoria de trabajo para otra información.

Este proceso de actualización, central para la arquitectura mental, refleja el funcionamiento prototípico de la memoria operativa (Friedman et al., 2008; Schmiedek et al., 2009) y es la función que mejor predice la inteligencia fluida (Belacchi et al., 2010; Chen y Li, 2007; Friedman et al., 2006).

La actualización también desempeña un importante papel en diferentes áreas relacionadas con el rendimiento académico, dando cuenta de diferencias

individuales en áreas como las matemáticas (Passolunghi y Pazzaglia, 2004; Pelegrina et al., 2014), la lectura (Borella et al., 2010; Carretti et al., 2005; Palladino et al., 2001), la comprensión lectora (Gernsbacher, Varner, y Faust, 1990) o la traducción profesional (Morales, Gómez-Ariza, y Bajo, 2015).

En la presente Tesis Doctoral se analiza el proceso de actualización en la memoria de trabajo. El objetivo es comprender mejor el funcionamiento de este proceso, así como su implicación en las diferencias asociadas a la edad y sus posibilidades de optimización a través del entrenamiento.

Se comenzará contextualizando el proceso de actualización dentro de los diferentes modelos de memoria de trabajo, y se presentará una propuesta de diferentes componentes que podrían estar implicados en este proceso. En capítulos posteriores, se realizarán diferentes análisis de estos componentes que pueden ayudar a comprender mejor su funcionamiento. Seguidamente, se presentarán diferentes estudios que han analizado posibles diferencias evolutivas en cada uno de ellos. Finalmente, se expondrán diferentes estudios que han entrenado la actualización, atendiendo al papel que cada componente ha podido tener en los resultados obtenidos en los mismos.

### **3.1. La actualización en los modelos de memoria de trabajo**

En las últimas décadas se han presentado diferentes modelos sobre la memoria de trabajo que pueden ser útiles para realizar una primera aproximación al funcionamiento de la actualización. Estos modelos se encuadran en diferentes perspectivas explicativas, como biologicistas (Hazy, Frank, y O'Reilly, 2007), de neuroimagen (Awh et al., 1996; Jonides, Lacey, y Nee, 2005; Smith y Jonides, 1997, 1998) o cognitivas (Baddeley y Hitch, 1974; Cowan, 1995, 1999; Oberauer, 2002). A continuación se presentan tres enfoques destacados dentro de los modelos de memoria de trabajo desde los que se podrá caracterizar de forma global el proceso de actualización.

#### **3.1.1. Modelo multicomponente de Alan Baddeley**

El modelo de Baddeley es uno de los más influyentes en la memoria de trabajo. Este modelo se desarrolla a partir del modelo modal de Atkinson y Shiffrin (1968), uno de los primeros en señalar la multiplicidad de la memoria y formado por tres componentes: memoria sensorial, memoria a corto plazo y memoria a largo plazo. Como alternativa al modelo modal, Baddeley y Hitch (1974) proponen un modelo de memoria de trabajo en el que la memoria a

corto plazo deja de ser un sistema unitario y se considera como un sistema multicomponente. Además, se enfatiza su papel funcional en otras tareas cognitivas como aprendizaje, razonamiento y comprensión (Baddeley, 1996).

Este modelo propone que la memoria de trabajo es un sistema de capacidad limitada que es responsable tanto del almacenamiento temporal como de la modificación de la información necesaria para realizar un amplio rango de actividades cognitivas. La memoria de trabajo está compuesta de tres elementos que pueden ser considerados como módulos, ya que los procesos y sistemas de almacenamiento que comprenden están estrechamente interconectados, al igual que se relacionan con otros procesos como la memoria a largo plazo (Baddeley, 2012). Así, en este modelo, la memoria de trabajo se compone de dos sistemas de almacenamiento temporal y específico: el bucle fonológico y la agenda visoespacial, cuya actividad está coordinada y controlada por un tercer sistema, el ejecutivo central, considerado como un controlador atencional.

El bucle fonológico es el sistema más cercano al concepto original de memoria a corto plazo (Baddeley, 2000). Es el más simple y por este motivo, más estudiado y sencillo de comprender. Se encarga de la codificación fonológica de la información y está formado por dos componentes: un almacén temporal y un sistema de repaso subvocal (Baddeley, 1983). La información acústica o basada en el discurso se mantiene en el almacén fonológico como trazos de memoria sólo durante 2 o 3 segundos, al menos que intervenga el sistema de repaso que puede mantenerlo infinitamente si no cesa. Este sistema de repaso incluye alguna forma de articulación subvocal que permite tanto refrescar el trazo de memoria de información acústica que se encuentra en el almacén fonológico como registrar información visual mediante la articulación (Baddeley, 1996). De esta manera, la percepción del discurso podría considerarse su función más primaria ya que se lleva a cabo de manera obligatoria, siendo el repaso una opción para mantenerlo (Baddeley, 1983). Además, el bucle fonológico establece un vínculo directo con la memoria a largo plazo ya que facilita el aprendizaje de información acústica novedosa, permitiendo que la información fluya en ambas direcciones (Gathercole, 1999). Del mismo modo, también puede funcionar como un mecanismo de control verbal (Baddeley, Chincotta, y Adlam, 2001) ya que los niños aprenden a controlar sus acciones mediante el uso de auto-instrucciones abiertas que se vuelven posteriormente subvocales (Luria, 1959).

La agenda visoespacial actúa de manera menos automática, dependiendo en mayor medida del ejecutivo central (Baddeley, 1996). Se encarga de mantener y manipular la información de tipo visual y espacial. Así, aunque hay evidencias de componentes separados para ambos tipos de información (Della Sala, Gray, Baddeley, Allamano, y Wilson, 1999) ambos interactúan entre sí junto con la memoria a largo plazo. Se han propuesto dos tipos de subcomponentes: un almacén visual pasivo y un proceso de repaso denominado “inner scribe” (Logie, 1995). No obstante, no está claro el funcionamiento de ambos subcomponentes ya que no existen claras evidencias al respecto (Baddeley, 2012).

Posteriormente, Baddeley (2000) añadió un componente adicional, el buffer episódico. Es un sistema de almacenamiento temporal de la información que se extiende a lo largo del espacio y del tiempo y que integra la información de los otros sistemas (bucle fonológico y agenda visoespacial) con la memoria a largo plazo en un código multimodal. Es controlado por el ejecutivo central que es el sistema componente capaz de recuperar información mediante el conocimiento consciente, de reflejar esa información y mantenerla y modificarla.

El ejecutivo central es el componente más complejo y se encarga de coordinar a los componentes anteriores (Baddeley, 1996). Da cuenta de los procesos más demandantes de la memoria de trabajo. Por ejemplo, mientras el bucle fonológico se encargaría de mantener el número 271, el ejecutivo central permitiría contar hacia atrás de tres en tres desde este número. Además, permite el cambio entre tareas, razón por la cual se le ha asemejado con el sistema atencional supervisor (SAS) del modelo de Norman y Shallice (1986). Entre sus funciones destaca la focalización de la atención (Robbins, Weinberger, Taylor, y Morris, 1996), la atención dividida (Riby, Perfect, y Stollery, 2004), la coordinación de tareas (Baddeley, Della Sala, Papagno, y Spinnler, 1997) y la interrelación con la memoria a largo plazo (Baddeley, 1998).

Una cuestión relevante es en qué medida pueden diferenciarse las diferentes funciones ejecutivas que, según la propuesta de Baddeley, remitirían al ejecutivo central. El trabajo de Miyake et al. (2000), aunque no se diseñó para responder directamente a esta cuestión ni remite directamente al modelo de Baddeley, puede resultar informativo. Estos autores realizaron un estudio para evaluar la relación entre diferentes funciones ejecutivas como la actualización, el cambio entre tareas o la inhibición de respuestas dominantes. El cambio

implica mover la atención entre diferentes tareas u operaciones, mientras que la inhibición implica la habilidad para suprimir respuestas dominantes o automáticas. En su estudio, querían determinar la influencia de estas funciones en cinco tareas cognitivas complejas (*Wisconsin Card Sorting Test*, *Tower of Hanoi*, *Random number generation*, *Operation span* y *Dual task*). Estos autores encontraron que las tres funciones eran claramente distinguibles, aunque no eran completamente independientes ya que estaban moderadamente relacionadas. Por tanto, esto indica tanto unidad como diversidad en las funciones ejecutivas. Además, encontraron que el rendimiento en la tarea de *random number generation* estaba relacionado con las funciones de actualización y también de inhibición y el de la tarea *Operation span* exclusivamente con la actualización. Por tanto, es probable que el rendimiento en algunas tareas pueda guardar relación con la actualización o explicarse de manera independiente por esta función.

Morris y Jones (1990) fueron los primeros en aportar una evidencia experimental que demostraría que el ejecutivo central se encarga de la función de actualización mientras que el bucle fonológico se encarga del mantenimiento. Estos autores presentaron una tarea que implicaba actualizar continuamente el contenido de la memoria al tener que recordar los últimos 4 ó 6 ítems de una lista de longitud desconocida. Incluyeron tres condiciones experimentales: a) discurso irrelevante (en otro idioma), b) supresión articulatoria (pronunciar la sílaba “the” dos veces por segundo a lo largo del ensayo) y c) control. La investigación demostró que el discurso irrelevante y la supresión articulatoria perjudicaban el recuerdo serial pero no afectaban al proceso de actualización, por lo que se concluía que ésta no dependía del bucle fonológico que se encargaría de mantener la información. También encontraron que el número de actualizaciones requeridas no afectaba a la ejecución lo que se interpretó como una prueba de que el ejecutivo central puede realizar varias actualizaciones sin que se vea sobrecargada su capacidad. Este conjunto de resultados apoyarían que el bucle fonológico y el ejecutivo central corresponden a sistemas diferentes y separados y que la actualización dependería del ejecutivo central.

### **3.1.2. Los modelos de procesos integrados de Cowan y Oberauer**

Ciertos modelos consideran la memoria de trabajo como una parte activada de la memoria a largo plazo. Cowan (1999) propone que la memoria de trabajo tiene una estructura jerárquica con dos niveles. Un nivel está constituido

por una zona de activación de la memoria a largo plazo en la que los ítems están almacenados en un estado de fácil disponibilidad, pero de acceso no inmediato. El otro nivel es el foco atencional y se corresponde con una zona de acceso privilegiado e inmediato y con una capacidad limitada. Es controlado conjuntamente por procesos voluntarios, de los que se encarga el ejecutivo central, y por procesos involuntarios, controlados por el sistema de orientación atencional.

Sólo un subgrupo de los elementos contenidos en la memoria de trabajo constituye el foco de atención, aquellos cuyas representaciones están más fuertemente activadas. Estos elementos son atendidos y seleccionados para la acción futura. Así, cuando el número de ítems que se mantienen en la memoria de trabajo es pequeño o igual a la capacidad del foco atencional, se accederá a ellos rápidamente. Pero si el número de ítems a retener sobrepasa esa capacidad, se almacenará fuera del foco y el acceso a ellos conllevará un incremento en el tiempo de respuesta. Cowan (1995, 1999) ha intentado especificar la capacidad del foco atencional y desde ahí, la capacidad de la memoria de trabajo. Basándose en una amplia evidencia empírica, propone que la capacidad es próxima a cuatro cantidades o episodios, pudiendo contener cada uno más de un elemento. De esta manera, siempre que se quiera acceder a un número de elementos inferior a 4 sería posible hacerlo rápidamente sin ningún coste asociado. Sin embargo, si se quiere acceder a un número superior, éstos estarán almacenados fuera del foco atencional y acceder a estos conllevará un coste.

Oberauer (2002) propuso una modificación del modelo de Cowan consistente en un modelo tripartito concéntrico de tres componentes caracterizados por diferentes estados de activación. Un primer nivel es la memoria a largo plazo activada a partir de un estímulo sensorial entrante o de una propagación de la activación de otros estímulos. Dicha información se mantiene disponible durante breves períodos de tiempo para un recuerdo posterior. Un segundo nivel es la región de acceso directo, donde diferentes elementos pueden mantenerse de manera activa para un procesamiento posterior. Los elementos en la región de acceso directo establecen una serie de vínculos entre ellos. Por último, el último nivel es el foco atencional que mantiene activo para su procesamiento inmediato el elemento al que se le puede aplicar una operación cognitiva.

Según Oberauer, el límite de capacidad del foco atencional propuesto por Cowan de cuatro elementos (1995, 1999) se corresponde con el número de

éstos que puede mantenerse en la región de acceso directo en su modelo. Así, solo los elementos mantenidos en la región de acceso directo son susceptibles de ser seleccionados para ser activados en el foco atencional. De esta manera, sólo puede haber interferencia o competición entre los elementos activos en la región de acceso directo para acceder al foco de atención pero no entre los que se encuentran en la parte de la memoria a largo plazo activada.

Oberauer (2002) llevó a cabo un estudio para obtener pruebas que apoyasen la existencia de los tres componentes de su modelo. Para ello utilizó una tarea en la que presentaba unos números iniciales en seis casillas. Posteriormente, se presentaban series de operaciones aritméticas secuencialmente en las diferentes casillas. Los participantes tenían que ir actualizando el valor de cada casilla según la operación que iba apareciendo, de manera que siempre recordaran el último resultado asociado a cada casilla. En algunos ensayos, se indicaba que sólo aparecerían operaciones en la mitad de las casillas, de manera que sólo tendrían que actualizarse los valores de tres de ellas, consideradas como el *set* activo. Las otras tres casillas no tenían que ser actualizadas, aunque al final se debería recordar los números iniciales que se habían presentado en cada una de ellas. Los participantes sabían de antemano que no tendrían que actualizar los valores de estas casillas que formaban un *set* pasivo. Según Oberauer, puesto que estos últimos números no tenían que ser actualizados y tenían que ser mantenidos hasta el final de la lista (*set* pasivo), pasarían rápidamente a la región activa de la memoria a largo plazo, por lo que no interferirían en los tiempos de respuesta de los números que sí tenían que ser actualizados (*set* activo). Efectivamente, encontró que cuando los valores de las seis casillas tenían que ser actualizados, es decir, cuando todos formaban parte de un *set* activo, se necesitaba más tiempo y el recuerdo era menor que cuando algunos de ellos solo tenían que mantenerse y, por tanto, formaban parte del *set* pasivo. Esto sugiere que los ítems en el *set* pasivo se habían desplazado a la región activada de la memoria a largo plazo. Además, encontró que cuanto mayor era el número de dígitos a actualizar en el *set* activo, mayor era la latencia de respuesta debido a que los números que se encontraban en la región de acceso directo competían por entrar en el foco atencional. Sin embargo, no encontró coste de respuesta cuando aumentaba la carga en el *set* pasivo, ya que estos dígitos eran irrelevantes y no entraban en competición para acceder al foco. Asimismo, también observó un coste temporal cada vez que era necesario cambiar de dígito dentro del mismo *set* activo, reflejando el tiempo necesario para traer el dígito de la región de acceso directo al foco atencional.

Los resultados que se acaban de describir apoyarían el modelo tripartito presentado por Oberauer. Así, la información que es irrelevante por el momento para la tarea se mantendría en la región activada de la memoria a largo plazo, mientras que la necesaria se encontraría en la región de acceso directo. Cuando un elemento tiene que ser actualizado, tiene que estar activo en el foco atencional. Cuanto mayor es el número de competidores para acceder al foco en la región de acceso directo mayor es el tiempo que se necesita para encontrar el elemento adecuado y el resto de competidores pueden producir interferencia en el proceso disminuyendo la exactitud con la que el elemento accede finalmente al foco atencional (Oberauer, Demmrich, Mayr, y Kliegl, 2000). Además, estos resultados muestran la flexibilidad de la memoria de trabajo para desplazar la información de una región a otra. Así, la información que deja de ser relevante para la tarea tarda 2 segundos en moverse a la región activada de la memoria a largo plazo para que no interfiera con la información que hay que procesar.

Aunque inicialmente se propuso que el foco atencional solo podía mantener un elemento, posteriormente se planteó si era posible que este se expandiera a más elementos si la tarea lo requiriera. Para obtener más información sobre esta cuestión, Oberauer y Bialkova (2009) diseñaron una tarea en la que presentaban inicialmente cuatro dígitos en diferentes colores y los participantes tenían que vincular los dígitos con su correspondiente color. Posteriormente, aparecían diferentes operaciones de suma y resta en la que los operandos eran círculos del color de alguno de los dígitos iniciales. Estos círculos de color servían como clave para recuperar los dígitos. Así, los participantes tenían que recuperar el número asociado a ese color para realizar la operación. Estos autores manipularon la repetición del dígito de un color, el cambio al otro operando o la sustitución por otro dígito. Por ejemplo, si la operación del ensayo anterior era verde + rojo, el ensayo actual podía repetir ambos dígitos en la misma posición (verde – rojo), repetir uno, por ejemplo, el verde, como mismo operando (verde + amarillo) o como segundo operando (amarillo – verde) o no repetir ningún dígito (azul + amarillo). Los resultados mostraron que se tardaba menos tiempo cuando los dos elementos de la operación anterior se repetían en la actual, independientemente de la posición en la que apareciesen (siguiendo el ejemplo anterior, verde y rojo o rojo y verde). Sin embargo, cuando se repetía uno solo o cuando ninguno lo hacía no se obtenía beneficio. Los datos sugieren que el foco atencional podría albergar dos elementos siempre y cuando éstos se encontraran unidos como un solo objeto mediante un proceso de *chunking*. De esta manera, cuando los dos elementos se

repiten es posible reutilizar el *chunk* o la integración de estos dos elementos, pero no se encuentra beneficio alguno cuando sólo se repite un elemento o ninguno. Estos autores sugirieron que la limitación del foco a un único elemento o *chunk* debía entenderse como una manera de maximizar la eficiencia con la que los contenidos son seleccionados para el procesamiento, ya que si tuvieran que seleccionarse dos elementos a la vez podría producirse interferencia y confusión entre ambos.

Posteriormente, Oberauer (2013) con el objetivo de determinar con más precisión el funcionamiento del foco atencional, propuso un modelo en el que retoma de nuevo la cuestión de la capacidad del foco atencional. Plantea que lo que realmente se encuentra en el foco es la representación de un elemento y su clave contextual. Según Oberauer, los elementos o ítems se encuentran asociados a su contexto y la fuerza de esta asociación está determinada por reglas de aprendizaje. Así, cuando un ítem tiene que ser recuperado, lo que se activa en primer lugar es el contexto que sirve como clave para activar los ítems que están asociados con mayor o menor fuerza asociativa con ese contexto. El ítem que alcanza en primer lugar un mayor grado de activación accede al foco atencional. De esta manera, cuando se tiene que recuperar el mismo ítem, se utiliza el mismo contexto como clave, por lo que se necesita menos tiempo. En cambio, si el ítem que hay que recuperar es diferente al anterior, habría que activar otro contexto como clave de recuperación y esto conlleva un coste temporal. La activación del contexto puede mantenerse durante varios ensayos. Sin embargo, una vez que un ítem es utilizado en la tarea su activación es reseteada a cero. Por tanto, la velocidad con la que accede un ítem al foco atencional va a depender de la activación que tenga ese ítem, su contexto y la conexión entre ambos, más que de estar dentro o fuera del foco.

### **3.1.3. El modelo computacional de memoria de trabajo de O'Reilly y colaboradores**

Como se ha expuesto al presentar los modelos anteriores, la memoria de trabajo es un sistema flexible que permite actualizar la información según los objetivos de la actividad que se está llevando a cabo. No obstante, además de permitir la modificación de algunos elementos, es responsable de mantener estable el resto de la información que no tiene que ser actualizada protegiéndola de posibles interferencias. Ambas funciones de la memoria de trabajo parecen entrañar cierta incompatibilidad. Los modelos computacionales o biologicistas han intentado dar respuesta a cómo la memoria de trabajo gestiona ambas funciones. Estos modelos enfatizan que la dinámica de flexibilidad y

mantenimiento de la información en la memoria de trabajo es controlada principalmente por la interacción entre la activación de la corteza prefrontal con otras partes de la corteza.

Algunos de estos modelos mantienen que se produce una activación recurrente entre diferentes estructuras corticales y subcorticales, de manera que un conjunto de neuronas activa otro conjunto que vuelve a activar el primero. Este patrón estable de activación favorecería el mantenimiento de las representaciones en la memoria de trabajo (Ashby, Ell, Valentin, y Casale, 2005; Monchi, Taylor, y Dagher, 2000; Taylor y Taylor, 2000), sin embargo no aporta flexibilidad al sistema para poder actualizar la información realmente (Braver y Cohen, 2000).

El modelo desarrollado por Frank, O' Reilly y colaboradores (Frank, Loughry, y O'Reilly, 2001; Hazy et al., 2007; O'Reilly y Frank, 2006) intenta dar respuesta a esta cuestión proponiendo un mecanismo que a modo de interruptor permita un tipo de procesamiento u otro. Estos autores concretan su idea proponiendo una arquitectura biológica que sustentaría dichas funciones contrapuestas. Defienden que los ganglios basales y la corteza prefrontal son las áreas cerebrales principales implicadas. Estas áreas están interconectadas entre sí a través de una serie de bucles neurales. El tálamo está conectado bidireccionalmente de manera excitatoria con la corteza frontal y cuando la sustancia negra reticulada está activa inhibe este circuito excitatorio. Cuando la vía directa de las neuronas Go en el estrato dorsal se disparan, inhiben a la sustancia negra reticulada y desinhiben la conexión tálamo-corteza frontal produciendo una modulación a modo de disparadores que permite que se actualicen las representaciones de la memoria de trabajo en la corteza prefrontal. Por tanto, este circuito sería responsable de permitir que la información cambie o se actualice en la memoria de trabajo. Por otro lado, las neuronas noGo de la vía indirecta del estrato dorsal contrarrestan este efecto al inhibir el globo pálido, produciendo que el núcleo subtalámico excite la sustancia negra reticulada e impidiendo que tenga lugar la actualización. De este modo, este circuito daría lugar al mantenimiento de la información de forma estable en la memoria de trabajo, protegiéndola de la interferencia de otra información.

En resumen, los modelos anteriores muestran la complejidad del proceso de actualización. Morris y Jones (1990) sugirieron que la actualización es llevada a cabo por el componente del modelo de Baddeley (1986, 1996) que

se encarga de las funciones más demandantes de la memoria de trabajo, el ejecutivo central. Los modelos de Cowan (1999, 2005) y Oberauer (2002) proponen que la memoria de trabajo se encuentra organizada en diferentes niveles de activación. Para que un elemento sea actualizado debe encontrarse activo en el foco atencional. Por último, los modelos computacionales inciden en la dinámica de flexibilidad y mantenimiento de la memoria de trabajo, sugiriendo un mecanismo a modo de interruptor que permite cambiar entre ambos modos de funcionamiento.

### 3.2. Los componentes de la actualización

Tradicionalmente se ha relacionado el proceso de actualización con la sustitución de la información obsoleta por otra nueva. Sin embargo, en las tareas de actualización es posible distinguir otros procesos o componentes adicionales como la recuperación o la transformación (Ecker et al., 2010) o la inhibición de información que deja de ser relevante.

La recuperación consiste en el acceso a información que se encuentra fuera del foco atencional. Puesto que la información para ser actualizada necesita encontrarse en el foco atencional, la mayor parte de las tareas de actualización incluyen este componente. Un ejemplo es la tarea *n-back*. En esta tarea se requiere comparar el ítem actual con el presentado *n* posiciones atrás, por lo que constantemente es necesario acceder a los últimos ítems que se van presentado para realizar la comparación. En la tarea *keeping track* se necesita recordar el último elemento que se ha presentado de una serie de categorías. Dado que se desconoce la longitud de la secuencia de elementos, es necesario recuperar el último elemento mantenido para cada categoría y reemplazarlo cuando aparece uno nuevo.

La transformación implica la aplicación de una operación para modificar una representación. Aunque no todas las tareas de actualización la requieren, suele estar implicada en aquellas que incluyen la realización de operaciones aritméticas. Este es el caso de la tarea de actualización numérica desarrollada por Salthouse, Badcock, y Shaw (1991), en la que, tras la presentación de un conjunto de números iniciales separados en casillas, se presentaban sucesivamente operaciones (p. e.  $? + 1$ ) y los participantes tenían que transformar el número inicial de la misma casilla según lo indicado por la operación y recordar el resultado para utilizarlo en la siguiente operación que apareciera en la misma casilla.

La sustitución consiste en el reemplazo de información que ha dejado de ser relevante por otra nueva. Todas las tareas de actualización requieren de este componente. Por ejemplo, en la tarea *running memory*, en la que hay que recordar los últimos  $n$  elementos de una lista, es necesario ir sustituyendo los elementos mantenidos conforme los nuevos se van presentado. Del mismo modo, en la tarea de actualización de matrices, se requiere ir sustituyendo las diferentes localizaciones de unos puntos en una matriz que se van moviendo por la misma por las indicaciones de diferentes flechas de manera que siempre se recuerde la última localización de cada punto.

Otro proceso frecuentemente implicado en la actualización es la inhibición. Consiste en la supresión de información que ha dejado de ser relevante. Suele estar implicada en aquellas tareas que requieren recordar los elementos de una secuencia que cumplen un criterio. Por ejemplo, la condición de la tarea diseñada por Palladino et al. (2001) en la que hay que recordar los tres elementos más pequeños de una lista implica inhibir los elementos de mayor tamaño que se han presentado previamente.

Ecker et al. (2010), partiendo de la tarea de actualización numérica de Salthouse et al. (1991), realizaron una serie de modificaciones con el objetivo de crear una tarea que permitiera analizar la contribución independiente de tres componentes (la recuperación, la transformación y la sustitución) al proceso de actualización. Además, permitía analizar las posibles relaciones entre estos componentes y con diferentes medidas de memoria de trabajo.

En la tarea se presentaba un conjunto inicial de tres letras (de la A a la Z), cada una en el interior de tres rectángulos separados a modo de casillas dispuestas horizontalmente en la pantalla. Había distintas condiciones que determinaban cómo se actualizaban las letras y los componentes que intervenían. En total había ocho condiciones diferentes resultantes de combinar factorialmente los tres componentes de la actualización. Aquellas condiciones que implicaban recuperación requerían que los participantes recordaran la última letra asociada a la casilla señalada para realizar la operación necesaria. En las condiciones que no implicaban recuperación, la operación se podía ejecutar sin tener que recordar el contenido previo de la casilla. En las condiciones que implicaban transformación, los participantes tenían que aplicar una operación aritmético-alfabética para transformar una letra concreta. Las operaciones consistían en obtener la letra que sigue a otra dada en un número determinado de posiciones en el alfabeto, por ejemplo,  $H + 1 = I$ . En las

condiciones de sustitución, los participantes tenían que reemplazar el contenido de la memoria con nueva información, mientras que en las condiciones de no sustitución debían mantener la misma información en la memoria.

Estos autores encontraron que los diferentes componentes afectaban de manera diversa a los parámetros medidos en la tarea. Así, el componente de transformación era el que mayor impacto tenía sobre los tiempos de respuesta, afectando también a la exactitud de las respuestas. No obstante, Ecker et al. (2010) plantearon que este componente no se relacionaba tanto con el rendimiento en actualización o la capacidad de la memoria de trabajo sino que podría reflejar diferencias individuales en el procesamiento genérico de la información, que determinaría por ejemplo la velocidad de procesamiento.

La recuperación era el componente que más afectaba a la exactitud de la tarea, pero no a los tiempos de ejecución. Además, encontraron que recuperar información se relacionaba con la capacidad de la memoria de trabajo, siendo las personas con baja capacidad las más propensas a cometer errores cuando tenían que recuperar información.

Por último, la sustitución era el componente de menor impacto en la ejecución de la tarea. Afectaba e incidía en la exactitud menos que la recuperación y la transformación, y a los tiempos de respuesta menos que la transformación. Especialmente relevante es que comprobaron que la sustitución se relacionaba principalmente con la actualización y no con la capacidad de memoria de trabajo.

En resumen, encontraron que la contribución a la ejecución final de cada uno de los tres componentes era independiente con lo que podría asumirse que operan de manera secuencial. Aunque este es el primer estudio que ha analizado conjuntamente los tres componentes, a continuación se describen estudios previos que han examinado separadamente cada uno de estos componentes que también serán analizados en esta Tesis Doctoral. Principalmente, se abordarán los componentes de recuperación, sustitución e inhibición, ya que la transformación no ha recibido mucha atención como componente separado en estudios previos, probablemente porque no todas las tareas de actualización lo incorporan.

### **3.2.1. La recuperación**

La recuperación de la información implica acceder a información mantenida fuera del foco atencional de la memoria de trabajo. Como se ha visto

en los modelos de memoria de trabajo presentados previamente, para que la información pueda ser actualizada necesita estar activa en el foco atencional (Cowan, 1999, 2005; Oberauer, 2002). Muchas de las tareas que implican la actualización requieren mantener diferentes elementos activos, de manera que cuando uno de ellos tiene que ser actualizado, tiene que ser recuperado en el foco atencional. Así, en estas tareas es bastante frecuente el cambio de atención de un elemento a otro, proceso también conocido como cambio de objeto.

El primero en estudiar el cambio de objeto fue Garavan (1998). Este autor se planteaba si se podía atender al mismo tiempo a más de un elemento en la memoria de trabajo. En caso de que solo se pudiese atender a uno sería necesario un mecanismo que cambiase la atención entre los elementos mantenidos. El objetivo de Garavan era determinar el coste de cambiar la atención entre elementos. Para ello utilizó una tarea de actualización de doble contador. En esta tarea se presentaban consecutivamente en la pantalla dos tipos de figuras (triángulos y rectángulos) cada vez que se pulsaba una tecla. Los participantes tenían que contar el número de veces que aparecía cada una de las figuras, por lo que la tarea requería actualizar los valores de cada una tras cada ensayo. Incluía dos condiciones experimentales. En la condición de cambio se presentaban figuras diferentes en ensayos consecutivos. Así, tras la presentación de un triángulo se presentaba un rectángulo o al revés. Puesto que sólo uno de estos elementos podía estar activo en el foco atencional, esta condición requería cambiar la atención de un contador a otro. En la condición de no cambio, la misma figura se presentaba consecutivamente. Dado que ese contador ya estaba activo en el foco atencional, no se requería ningún cambio atencional.

Los resultados mostraron que el cambio de una figura a otra implicaba cerca de 500 ms más que cuando la misma se repetía. Garavan interpretó este coste temporal como el tiempo necesario para cambiar de un elemento a otro en el foco atencional y lo denominó coste de cambio de objeto. La existencia de este coste temporal sugiere una diferencia en la accesibilidad a los dos elementos en la memoria de trabajo y, por tanto, que son procesados serialmente. Este efecto serviría para apoyar la idea de que la capacidad del foco atencional es de sólo un elemento (Oberauer, 2002).

A lo largo de este apartado se presentarán diferentes factores que pueden influir en el coste del cambio de objeto afectando a la velocidad con la que se produce. Además, se expondrá una propuesta de diferentes subprocesos implicados en el cambio de objeto, finalizando con un análisis de la relación del

cambio de objeto con el cambio de tarea en el que pueden subyacer mecanismos de control comunes.

### **Factores que influyen en el cambio de objeto**

Los diferentes estudios que han analizado el cambio de objeto han señalado diferentes factores o condiciones que afectan a que este proceso se realice más o menos rápidamente.

En primer lugar, se ha encontrado que el coste de cambio de objeto se produce independientemente de que sea necesario actualizar (Oberauer, 2003). Este autor partió de la idea de que el coste de cambio encontrado en la tarea de Garavan (1998) incluía dos procesos. Por un lado, acceder al contador y recuperar el valor asociado y por otro, actualizar el valor tras cada ensayo. Ante esta posibilidad, se planteó si cambiar de objeto tendría un coste aunque no hubiera que actualizar la información. Para ello llevó a cabo dos estudios en el que manipulaba tanto la recuperación como la actualización de la información. De manera general, en ambos experimentos se presentaban números iniciales en unas casillas distribuidas en la pantalla, que podían variar desde una hasta cuatro, seguidos de una secuencia de operaciones aritméticas. Los participantes tenían que pulsar la tecla correspondiente al resultado tras cada operación. En el primer estudio, estas operaciones carecían del primer operando (p. e. +2) ya que tenían que aplicarse siempre a los números iniciales aprendidos para cada casilla. De este modo, no era necesario actualizar tras cada ensayo y sólo se requería recuperar el número inicial de cada casilla para realizar la operación. En cambio, en el segundo estudio, se presentaban las operaciones completas (p. e.  $5 + 2$ ) y había que recordar el último resultado asociado a cada casilla, actualizando tras cada ensayo el valor asociado a cada una de ellas. Así, no era necesario recuperar ningún elemento porque se presentaba toda la información en la pantalla, pero sí era necesario actualizar el último resultado tras realizar cada operación. De este modo, mientras el primer estudio requería recuperar pero no actualizar, el segundo requería lo opuesto: actualizar pero no recuperar. En ambos estudios se encontró un coste de cambio, mostrando que éste se producía incluso aunque no fuera necesario recuperar el contenido del objeto para actualizar su valor. Este autor propuso tres posibles explicaciones ante el coste de cambio encontrado en ausencia de actualización. Este podría producirse porque reflejaba el tiempo necesario para mover el foco atencional de un elemento a otro, para repasar la secuencia dentro de cada ciclo de

actualización o para establecer un vínculo entre el elemento mantenido en ese momento en el foco atencional con su posición en la memoria de trabajo.

Además, se ha encontrado que el número de elementos mantenidos en la memoria de trabajo afecta al coste del cambio. Oberauer (2003) comprobó que el coste de cambio de objeto se incrementaba conforme aumentaba el número de elementos mantenidos en la memoria de trabajo. Estos resultados muestran que el coste de cambio de objeto propuesto por Garavan (1998) no solamente implicaba la recuperación de la información asociada a ese elemento sino también el acceso o el tiempo que se tarda en cambiar de un elemento a otro en el foco atencional.

El coste de cambio puede estar influido también por otros factores como la dirección o la distancia del cambio. Li et al. (2004) partían de la idea de que cuando es necesario realizar un cambio de objeto, los elementos mantenidos en la memoria de trabajo son repasados de manera serial (Sternberg, 1966). Basándose en esto, se plantearon cómo afectaría al coste de cambio tener que cambiar de objeto en diferentes direcciones. Para ello utilizaron una tarea con tres contadores (p.e., ABC) en la que comparaban las condiciones en las que el cambio de atención se producía entre objetos que seguían la misma dirección en la que son repasados (p. e. AB, AC ó BC) o la dirección opuesta (p. e. BA, CA ó CB). Además, querían analizar si cambiar entre elementos más o menos distantes entre sí influía en el coste del cambio de objeto. Para ello, analizaron si cambiar la atención entre objetos extremos (p. e. A y C) implicaba necesariamente pasar por el objeto intermedio (en este caso, B). Además de encontrar el coste del cambio de objeto, comprobaron que se empleaba menos tiempo en cambiar de objeto cuando el cambio se producía en la misma dirección de repaso, hecho que no encontró Garavan (1998) en su estudio. Este dato indicaría una discontinuidad entre los mecanismos de acceso serial en la memoria de trabajo para conjuntos de tres objetos. En relación a la distancia, encontraron que la atención podía cambiarse del primer objeto al último sin necesidad de detenerse en el objeto intermedio. Así, estos datos mostraron que el coste de cambio podía estar influido por la dirección del cambio pero no por la distancia.

Otro factor que influye en el cambio de objeto es el efecto de la dificultad de las operaciones implicadas en la tarea de actualización. Voigt y Hagendorf (2002) argumentaron que las operaciones numéricas más complejas necesitan el empleo de más recursos y dejan menos disponibles para el cambio

atencional. Estos autores analizaron la relación entre coste de cambio de objeto y distintos niveles de dificultad utilizando la tarea de doble contador de Garavan (1998). Consideraron la dificultad a dos niveles. El nivel más sencillo consistía en contar hacia adelante, considerado así porque se entiende que es algo sobreaprendido y que los números posteriores se generan más rápidamente, mientras que el nivel más complejo consistía en contar hacia atrás, una operación de conteo que se ha demostrado ser más difícil (Barrouillet y Fayol, 1998). Estos autores hipotetizaban que si realizar la operación de actualización y cambiar el foco atencional comparten recursos atencionales, tal y como propuso Garavan (1998), el coste del cambio de objeto sería mayor en la operación de actualización más compleja, es decir, en la de contar hacia atrás. No obstante, en contra de lo planteado inicialmente, encontraron que el coste de cambio era menor en la condición de contar hacia atrás. Esto se explicó aludiendo al nivel de activación del elemento en la memoria. Si las operaciones consumen muchos recursos, el nivel de activación alcanzado por el elemento en el foco atencional es menor. Así, el coste temporal del cambio de objeto en el foco sería menor en la condición más compleja (contar hacia atrás) porque hay baja activación.

Además de los factores anteriores, Gehring et al. (2003) señalan que podrían estar influyendo otros factores relativos a las características perceptuales de los estímulos, como los implicados en los efectos de *priming*. Así, la repetición de un mismo contador u objeto puede conducir a menores tiempos de reacción por dos motivos. En primer lugar, por la repetición de las características físicas del objeto. En este caso, las representaciones perceptivas implicadas en la identificación de un objeto son primadas tras identificar ese objeto. Esto se conoce como *priming* de las características físicas del estímulo, posibilidad que Garavan (1998) descartó en su estudio como posible explicación del coste de cambio. En segundo lugar, la repetición del contador puede producir cierta facilitación por la repetición de la misma representación más abstracta del objeto. Cuando un objeto es presentado consecutivamente en dos ensayos, en el segundo aún permanece activación residual perteneciente a ese objeto del ensayo previo. Se trataría de un tipo de *priming* de representación más abstracta o conceptual.

Estos autores utilizaron de nuevo una tarea de doble contador, en la que dos claves diferentes eran asociadas a cada contador u objeto. Por ejemplo, las claves # y @ pertenecían al mismo objeto. Así, además de la condición de cambio de objeto, había dos condiciones de no cambio. En una de ellas se

repetía la misma clave y en otra se presentaba la clave diferente de ese objeto. Los resultados mostraron que, cuando el mismo objeto era presentado consecutivamente, la presentación de una clave diferente conducía a mayores tiempos de reacción que cuando se repetía la misma. Estos datos sugieren que, en tareas convencionales, el coste de cambio de objeto estaría sobrestimado porque incluiría el *priming* debido a la repetición de las mismas características físicas del estímulo. Además, encontraron que las respuestas para el segundo objeto eran más rápidas que para el primero, sugiriendo que el segundo objeto, al ser el último repasado, permanece aún activo en el siguiente ensayo. Estos resultados mostraron que ambos tipos de *priming* podrían estar influyendo en el coste de cambio de objeto.

Li et al. (2006) quisieron cuantificar la medida en que el *priming* podía estar explicando el coste de cambio de objeto. Para ello utilizaron una tarea de identificación de objetos, en la que tan sólo era necesario pulsar una tecla u otra en función de los objetos que iban apareciendo en la pantalla, sin tener que mantener ni actualizar ninguna información. Encontraron que la presentación de objetos diferentes en ensayos consecutivos explicaba un 1/5 del coste de cambio de objeto (70 ms. de 360 ms.).

En resumen, los estudios anteriores han mostrado que el coste de cambio se produce independientemente de que haya actualizar y que aumenta conforme se incrementa el número de elementos mantenidos en la memoria de trabajo. Además, el orden en el que se mantienen en memoria los elementos influye en el coste de cambio. Así, el coste de cambio es mayor cuando se produce en la dirección contraria a la que la persona repasa los elementos, no afectando la distancia entre los elementos que se cambian. También se encuentra afectado por la dificultad de las operaciones implicadas en la tarea, ya que al parecer cuando se incrementa la dificultad disminuyen los recursos disponibles para el cambio de objeto. Por último, la necesidad de procesar las características físicas y la representación conceptual del nuevo elemento tras el cambio de objeto puede conducir a mayores tiempos de respuesta.

### **La descomposición del proceso de cambio de objeto**

Recientemente, Bialkova y Oberauer (2010) han propuesto que en el cambio de objeto podría haber dos procesos implicados: el acceso al objeto y la recuperación de la información asociada al mismo. Estos autores parten de la idea de que las representaciones en la memoria de trabajo están formadas por contextos y por contenidos. El contexto se refiere a la clave que permite

recuperar la información asociada, ya sea color, localización espacial, posición serial, etc; mientras que el contenido consiste en la información mantenida (p.e., representaciones numéricas). Ante esta posible diferenciación se plantea la cuestión de si al acceder a un elemento tras el cambio de objeto, se recupera simultáneamente la información asociada al mismo, es decir, contexto y contenido, o este proceso ocurre de manera secuencial; es decir, primero se accedería al contexto y después al contenido. Así estos autores plantean dos hipótesis. Una primera hipótesis señala que el contexto y el contenido asociado forman parte de la misma representación en la memoria de trabajo, de manera que, cuando se accede al contexto se recupera al mismo tiempo la información asociada. Según este planteamiento, la recuperación de la información no añadiría un coste adicional al coste del cambio de objeto. La segunda hipótesis plantea que una vez se accede al contexto, éste sirve como clave para recuperar el contenido. De esta manera, acceder a una representación en la memoria de trabajo implicaría dos pasos: primero acceder al contexto y posteriormente recuperar su contenido, afectando ambos separadamente al coste de cambio de objeto.

Para determinar qué ocurre cuando se produce un cambio de objeto, Bialkova y Oberauer (2010) utilizaron una tarea similar a la de un estudio anterior (Oberauer, 2003) pero utilizando colores en lugar de localizaciones espaciales como clave de recuperación. Así, las diferentes operaciones aritméticas eran aplicadas a los números iniciales del mismo color, y había que recordar el último resultado obtenido de cada color. La tarea implicaba dos condiciones. En la condición de acceso, las operaciones solo incluían el signo de la operación aritmética y el segundo operando (p .e. + 2) de manera que era necesario recuperar el primer operando de la memoria de trabajo. De esta manera, esta condición requería tanto acceder al contexto como recuperar el contenido. En la condición de no acceso, se mostraban ambos operandos (p .e. 3 + 2) por lo que no era necesario recuperar ningún elemento para realizar la operación, tan sólo acceder al contexto. Estos autores encontraron el mismo coste de cambio de objeto en ambas condiciones, con independencia de si el contenido tenía que ser o no recuperado. Estos resultados apoyan la idea de que se accede al contexto y al contenido al mismo tiempo. Este resultado se revisará en uno de los estudios de esta Tesis.

### **El cambio de objeto y el cambio de tarea**

Los procesos de cambio de objeto pueden confluir con otros procesos de control como los implicados en el cambio de tarea. En algunas tareas de actualización además de los cambios constantes de objeto, se producen frecuentes cambios en la tarea que se emplea para transformar la información. Por ejemplo, la tarea de actualización *mental counters* (Huizinga et al., 2006) requiere seguir dos o tres contadores que cambian al azar, requiriendo cambio de objeto. Además, estos contadores están formados por una línea y hay que añadir o sustraer uno al valor inicial del contador en función de si un cuadrado aparece sobre o bajo esa línea, implicando cambio de tarea. En este apartado se describirá en qué consiste el cambio de tarea y se analizará con más detalle su relación con el cambio de objeto.

Como se ha expuesto en el ejemplo anterior, además de seleccionar el objeto que se quiere actualizar (p. e. un número) activándolo en el foco atencional, es necesario elegir qué tarea se le va a aplicar (p. e. sumar o restar). También en la vida diaria es muy común tener que realizar diferentes tareas al mismo tiempo, lo que conlleva tener que cambiar la atención entre las mismas según los objetivos. Por esto motivo, el cambio de tarea ha sido estudiado junto al cambio de objeto. Al igual que éste, se ha demostrado que cambiar de una tarea a otra conlleva un coste temporal y una mayor probabilidad de error que repetir la misma, (Jersild, 1927; Spector y Biederman, 1976), coste que se mantiene incluso con la práctica (Stoet y Snyder, 2007). Se han propuesto diferentes factores como explicación ante el coste de cambio de tarea. Por un lado, se ha planteado que el coste proviene de la reconfiguración del sistema cognitivo para realizar una nueva tarea. Cada tarea tiene una serie de parámetros relacionados con la identificación de estímulos o la selección y ejecución de la respuesta, denominado set de la tarea (Logan y Gordon, 2001). Así, cada vez que se produce un cambio de tarea, se necesita reconfigurar el set de la tarea para acomodarlo a los parámetros de la tarea nueva (Mayr y Kliegl, 2000; Rogers y Monsell, 1995). Por otro lado, el coste puede proceder de resolver la interferencia entre la tarea anterior y la actual, independientemente de la configuración del set de la tarea (Allport, Styles, y Hsieh, 1994; Meiran, Kessler, y Adi-Japha, 2008).

Diferentes explicaciones teóricas han surgido para explicar los costes de cambio en el cambio de objeto y de tarea. Así, mientras que el coste de objeto se ha explicado en términos de que la memoria de trabajo sólo puede mantener

un elemento al mismo tiempo (Garavan, 1998; Oberauer, 2002, 2003), el coste de tarea se ha relacionado con procesos de control ejecutivo que seleccionan la tarea relevante en presencia de competidores (Logan, 2004; Mayr y Kliegl, 2000, 2003; Meiran, 1996; Rogers y Monsell, 1995).

Risse y Oberauer (2010) propusieron dos alternativas sobre cómo se encuentran representados el objeto y la acción en la memoria de trabajo. Por un lado, el objeto y su acción podrían estar representados en una única unidad. En este caso, ambos podrían recuperarse paralelamente sin verse interferidos por otra información almacenada. Por otro lado, el objeto y la acción podrían encontrarse en representaciones separadas pudiendo ser seleccionados sólo secuencialmente. Para dilucidar entre ambas alternativas, llevaron a cabo un experimento en el que utilizaron una versión adaptada de la tarea de Oberauer (2003). En esta tarea, se presentaban diferentes números iniciales y operaciones aritméticas en diferentes casillas en la pantalla. Cuando un objeto tenía que ser actualizado, su casilla aparecía en un color diferente. El color indicaba la operación a realizar con ese objeto, por ejemplo, rojo para la suma y amarillo para la resta. Además, manipularon si la asociación entre el color y la tarea a realizar se mantenía estable o cambiaba a lo largo del experimento. Si la asociación se mantenía fija, se aprendía al principio de la tarea y no era necesario actualizarla. Por tanto podía mantenerse en la memoria a largo plazo. En cambio, si ésta cambiaba a lo largo del experimento, debía mantenerse en la memoria de trabajo para poder ser actualizada cuando cambiara el criterio. Los resultados encontrados mostraron, por un lado, que cuando los objetos y las tareas se recuperan a través de vínculos temporales en la memoria de trabajo, la selección de ambas representaciones se produce de manera serial o mediante mecanismos que actúan en paralelo pero con recursos compartidos, enlenteciendo el proceso de selección. Por otro lado, cuando las tareas y los objetos se recuperan a través de asociaciones a largo plazo, el acceso a la tarea y al objeto se puede producir de forma paralela e independiente, al menos en parte.

En resumen, los estudios muestran que los objetos y las tareas se encuentran representados separadamente en la memoria. Cuando ambas representaciones se encuentran vinculadas en la memoria de trabajo pueden recuperarse de manera serial. En cambio, cuando se recuperan de asociaciones en la memoria a largo plazo, pueden recuperarse en paralelo e independientemente.

En el segundo estudio de esta Tesis Doctoral se analizará la relación entre el acceso al contexto y al contenido que se ha expuesto anteriormente junto al cambio de tarea con el que ha sido asociado con frecuencia el cambio de objeto.

### **3.2.2. La sustitución**

Un componente esencial en las tareas de actualización es la sustitución, que supone reemplazar un contenido que ha dejado de ser relevante por otro nuevo. Así, el contenido de la memoria de trabajo puede ser modificado para acomodarse a la nueva información entrante, pero también debe de mantenerse estable el resto de información no actualizada para protegerla de otra información interferente (Hazy et al., 2007). Este dilema de flexibilidad-estabilidad requiere de procesos de control cognitivo. En este apartado se presentará cómo se entiende actualmente que se lleva a cabo la sustitución.

#### **Actualización local**

La sustitución puede entenderse a nivel de los elementos que se reemplazan y también, a un nivel más básico, como la modificación de la representación asociada a un elemento. A continuación, se describen con más detalle ambos aspectos de la sustitución.

##### *Sustitución de elementos*

Ante la necesidad de modificar parte de la información en la memoria de trabajo y a la vez mantener estable el resto, Kessler y Meiran (2008) propusieron la existencia de un proceso de actualización local. Planteaban que este proceso permitiría modificar un subconjunto de elementos en la memoria de trabajo sin afectar a los otros elementos mantenidos (Kessler y Meiran, 2006). Para estudiar este proceso, Kessler y Meiran (2008) diseñaron una tarea en la que había que recordar la última secuencia de elementos presentada en unas casillas. En algunas ocasiones, todos los elementos se repetían, por lo que no había que actualizar nada. En otras, uno, dos o los tres elementos eran diferentes, requiriendo actualización. Estos autores encontraron que el proceso de actualización era sensible al número de elementos a modificar de manera que se empleaba más tiempo cuando había que actualizar dos elementos de tres que cuando había que actualizar sólo uno de tres. Interpretaron este resultado como muestra de que se actualizaban sólo los elementos que tenían que ser modificados, manteniéndose intacto el resto, apoyando su propuesta de la actualización local.

La idea de la actualización local puede remontarse al trabajo de Vockenberg (2006), que también proporciona cierta evidencia empírica consistente con la propuesta. Este autor presentaba inicialmente conjuntos de cinco estímulos (letras o palabras, en diferentes experimentos) que tenían que ser memorizados. Posteriormente, se presentaban nuevos conjuntos de cinco estímulos que podían ser idénticos al anteriormente presentado o variar desde uno hasta cinco estímulos. Por ejemplo, si se presentaba inicialmente el conjunto de letras WAKOG, el nuevo conjunto de estímulos WABOG implicaría la modificación de una letra mientras que el conjunto LABOG conllevaría la modificación de dos. De esta manera, el número de estímulos que podía ser modificado y por tanto actualizado en cada ensayo podía variar desde 0 (cuando se presentaba el mismo conjunto que en el ensayo anterior) hasta cinco. Al final de la secuencia se le pedía al participante que introdujera el último conjunto de estímulos que había visualizado en la pantalla. Puesto que la longitud de la secuencia era variable y por tanto impredecible, el participante tenía que actualizar la información en la memoria de trabajo tras cada ensayo. Los resultados mostraron que conforme aumenta el número de estímulos a actualizar se incrementan también los tiempos de respuesta, pero esto sólo ocurre cuando hay que actualizar uno o dos estímulos. Cuando hay que actualizar tres o más el tiempo se estabiliza. En general, el resultado apoya la idea de que los tiempos de respuesta son sensibles al número de elementos a modificar.

Kessler y Meiran (2006) propusieron que el incremento encontrado en los tiempos de respuesta conforme aumenta el número de objetos actualizables puede deberse a un mecanismo de repaso verbal. Este mecanismo está muy relacionado con la consolidación de la memoria a corto plazo, ya que actúa dentro de la memoria de trabajo apoyando a las representaciones que están activas en ese momento. El hecho de que la consolidación abarque todos los objetos de la memoria de trabajo en la región de acceso directo siempre que alguno de ellos tenga que ser actualizado explicaría por qué el coste de actualización aumenta con el incremento del número de objetos actualizables. La limitación en la capacidad de consolidación sugiere que es llevada a cabo por el foco de atención.

#### *Sustitución de representaciones*

Otro tipo de sustitución que puede llevarse a cabo en la memoria de trabajo es la sustitución de partes de una representación asociada a un elemento.

El proceso de sustitución puede ser más o menos costoso en función de las características de la información mantenida y de la nueva que la sustituirá, incluso cuando la cantidad de elementos a sustituir sea constante (p.e., porque se sustituya siempre un elemento).

Esta idea es compatible con diferentes concepciones que plantean que las representaciones de los elementos que se mantienen en memoria están formadas por características que se activan simultáneamente (Lewandowsky y Farrell, 2008; Nairne, 1988, 1990; Neath, 2000; Oberauer y Kliegl, 2001, 2006). Así, cuanto más similares son dos elementos, mayor es el grado de solapamiento entre las características de esos elementos (Oberauer y Kliegl, 2006). Este solapamiento induce a pensar que cuando se lleva a cabo la actualización lo que realmente se produce es una sustitución de las características que son diferentes, puesto que las comunes ya se encuentran activadas. De esta manera cabe la posibilidad de que a mayor similitud entre dos elementos, más características compartirán y por tanto, menor tiempo será necesario para sustituirlos.

Para analizar esta propuesta, Lendínez, Pelegrina y Lechuga (2011) llevaron a cabo un estudio en el que los participantes tenían que memorizar el número más pequeño que se presentaba en cada una de dos figuras. Por tanto, el criterio de actualización se basaba en una comparación de magnitud numérica, de manera que, cuando el número presentado era menor se llevaba a cabo la actualización y cuando era mayor que el mantenido para esa figura, se continuaba manteniendo el mismo número sin modificar. Además, manipulaban la distancia entre los números presentados, de modo que la distancia podía ser pequeña si los números diferían por 1 o 2 unidades o grande si lo hacían por 5 o 6. Estos autores esperaban que si los tiempos de actualización se debían a la dificultad, éstos serían mayores cuando la distancia era pequeña. En cambio, si los tiempos se veían influidos por la similitud de la información, se necesitaría menos tiempo para actualizar entre números más cercanos entre sí. Encontraron que cuanto menor era la distancia entre los números a sustituir, menores eran los tiempos de respuesta requeridos para actualizar. Además, encontraron que la distancia afectaba a los ensayos de actualización pero no tenía ningún efecto en los ensayos en los que no era necesario actualizar, sugiriendo que la manipulación de la distancia influye en el almacenamiento de la información para un uso posterior.

En un segundo experimento, quisieron analizar si el efecto de la distancia afectaba a los tiempos de actualización incluso cuando no era necesario realizar ninguna operación numérica. En lugar de tener que realizar la comparación para determinar qué número era menor, se presentaba una clave que indicaba si era necesario actualizar ese número o no. Estos autores replicaron los mismos resultados que en el primer experimento, sugiriendo que la actualización en la memoria de trabajo ocurre más rápido cuando implica información numérica cercana porque sus representaciones tienen características en común.

Posteriormente, estos autores realizaron otro estudio con el objetivo de descomponer el efecto de la distancia y generalizar los resultados anteriores a otro tipo de similitud numérica (Lendínez, Pelegrina, y Lechuga, 2014). Llevaron a cabo una serie experimental en la que manipulaban dos dimensiones de similitud: la distancia, como en el estudio previo, y la coincidencia de alguno de los dígitos de los números a sustituir. Tal y como esperaban, encontraron que los tiempos de actualización eran menores cuando la distancia entre los números era pequeña y cuando coincidía alguno de los dígitos de los números a ser actualizados, ya fuera la decena o la unidad. Estos resultados volvieron a apoyar que la similitud entre las representaciones determinaba el proceso de sustitución.

Además del efecto de la similitud numérica en la sustitución de representaciones, también se ha estudiado cómo afecta la similitud léxica y no léxica. Partiendo de la base de que el rendimiento en memoria está relacionado con diferentes propiedades de los estímulos en la memoria a largo plazo, Artuso y Palladino (2016) diseñaron una tarea en la que había que recordar el último conjunto de tres letras (p.e. BSF) que aparecía en la pantalla, modificándose una letra en cada ensayo de la secuencia. Al final se presentaba una letra y había que indicar si pertenecía a ese último conjunto o no. Manipularon la fuerza de la asociación entre las letras a nivel léxico y no léxico con el objetivo de comparar asociaciones fuertes frente a débiles. La asociación a nivel léxico la manipularon considerando la frecuencia con la que los fonemas aparecían frecuentemente en el lenguaje italiano hablado. Esta asociación era fuerte si la combinación de estos fonemas aparecía frecuentemente en la lengua hablada (p.e. SPR) y débil si aparecía con escasa frecuencia (p.e. FLT). Por otro lado, manipularon la asociación a nivel no léxico considerando la distancia de las letras en el alfabeto, existiendo una asociación fuerte entre letras cercanas y

débil entre letras lejanas. Ambas manipulaciones consideraban representaciones de las letras mantenidas en la memoria a largo plazo.

En este estudio encontraron que actualizar asociaciones léxicas fuertes requería más tiempo cuando se compara con asociaciones no léxicas. Estos autores interpretaron que estos resultados se debían a las diferencias en las asociaciones relacionadas con su nivel de automaticidad; de manera que cuanto más automática y fuerte es una asociación, más resistente sería al cambio. En definitiva, también se demuestra que la sustitución de un elemento puede ser más o menos costosa en función de las propiedades de la información almacenada.

En resumen, el proceso de actualización local permite modificar parte de la información preservando el resto. En cuanto a la sustitución de elementos, este proceso es sensible al número de elementos a modificar. Respecto a la sustitución de representaciones, se ha encontrado que el solapamiento de características entre los elementos a sustituir facilita una sustitución numérica más rápida. Además, las asociaciones léxicas fuertes son más resistentes al cambio y requieren de más tiempo para ser sustituidas.

### **La dinámica de la sustitución y el mantenimiento**

Una cuestión importante consiste en determinar cómo se realiza la sustitución de uno o parte de los elementos mientras que al mismo tiempo se mantiene intacta otra parte. Los estudios al respecto pueden organizarse en torno a dos líneas. Por un lado, se ha analizado un posible mecanismo encargado de vincular la nueva información con aquella que se venía manteniendo en la memoria. Por otra parte, se ha estudiado cómo se coordinan los mecanismos de sustitución con los de mantenimiento. A continuación, se presentan algunos estudios centrados en ambas cuestiones.

Cuando se modifica un elemento de un conjunto o una característica en particular, es necesario un proceso que permita reintegrar la información modificada con aquella que se ha mantenido intacta. Inicialmente, Kessler y Meiran (2008) propusieron que esta reorganización de la información se llevaba a cabo mediante un proceso de actualización global. En su estudio (Kessler y Meiran, 2006) utilizaron una tarea similar a la presentada por Oberauer (2002). En esta tarea, los participantes tenían que aplicar simultáneamente diferentes operaciones aritméticas de suma y resta a unos números asociados a dos figuras y recordar el último resultado de cada figura para indicarlo al final de la secuencia. Así, los participantes tenían que aplicar la primera operación al

número inicial de esa figura y memorizar el resultado para utilizarlo como operando en la siguiente operación que apareciera en esa figura. Se emplearon operandos entre el 1 al 9, dando lugar a los ensayos de actualización y además se incluyó el 0 que formaba los ensayos de no actualización. La comparación entre ambos tipos de ensayos permitía calcular el coste de actualización.

Estos autores encontraron que el coste de actualización aumentaba conforme lo hacía el número de elementos mantenidos en la memoria aun cuando se mantiene constante el número de elementos a actualizar. Así, se empleaba menos tiempo cuando había que actualizar un elemento en un conjunto de dos elementos que de tres. Estos autores propusieron que el coste de actualización se debe a que, cuando hay que modificar un elemento hay que realizar una reorganización global que implica desvincular todos los elementos, sustituir el elemento y volver a vincularlos todos de nuevo. De esta manera, cuantos más elementos haya en la memoria de trabajo, más vínculos hay que deshacer y rehacer, independientemente del número de elementos a modificar, ya que los elementos mantenidos forman un conjunto complejo y la reorganización debe producirse entre todos los elementos. Además, cuando tiene que actualizarse todo el conjunto mantenido se emplea menos tiempo que cuando sólo se sustituye una parte ya que no es necesario desvincular previamente todos los elementos para llevar a cabo la sustitución, disminuyendo el tiempo necesario para realizar este proceso.

Estos resultados encontraron apoyo en los estudios de Artuso y Palladino (2011, 2014) quienes propusieron que en la actualización parcial lo que realmente se lleva a cabo es una actualización del vínculo elemento-contexto, mientras que en la actualización total sólo se lleva a cabo una actualización del contenido. Estos autores diseñaron una tarea en la que presentaban serialmente conjuntos de tres letras en marcos separados. Los participantes tenían que recordar el último conjunto de letras presentado. Realizaron dos manipulaciones. Por un lado, manipularon el número de letras que tenían que ser actualizadas en cada conjunto, considerando que podían actualizarse ninguna (mantenimiento), una (actualización parcial) o las tres (actualización total). Por otro lado, manipularon la fuerza de la asociación entre las letras y sus contextos, presentando todas las letras y marcos del mismo color (vínculo alto) o cada letra y marco de un color diferente (vínculo bajo). Al final de cada lista, aparecía una prueba de reconocimiento en la que se presentaba una letra. Los participantes tenían que dar una respuesta positiva si la letra pertenecía al último conjunto de letras presentado o una respuesta negativa si

pertenecía a un conjunto anterior o a una letra no presentada en toda la lista. Estos autores consideraron que la diferencia entre ambos tipos de respuesta reflejaría el coste de actualización, ya que muestra el coste de controlar la información interferente y descartarla.

Al igual que Kessler y Meiran (2006), Artuso y Palladino (2011) encontraron que el coste de actualización era mayor en la condición de actualización parcial que en la de actualización total, lo que atribuyeron al proceso adicional de actualización de los vínculos. Además, encontraron que la actualización era más costosa en la condición de vínculo alto entre las letras, debido a la fuerte asociación entre los elementos y sus contextos. Adicionalmente, comprobaron que el coste de actualización era mayor cuando, en la tarea de reconocimiento, tenían que descartar una letra que se había presentado previamente pero no pertenecía al último conjunto (intrusiones) que cuando no se había presentado previamente. Esto solo ocurría en la condición de actualización parcial, aunque la cantidad de información descartada e interferente fuese menor que en la condición de actualización total. En resumen, estos autores encontraron un coste de actualización debido al control inhibitorio de la información actualizada cuando había que actualizar los vínculos entre los elementos y sus contextos.

Sin embargo, la propuesta de que el coste de actualización se debe a la reorganización y revinculación de los elementos tras la actualización parcial fue modificada posteriormente por Kessler y Oberauer (2014). Estos autores propusieron que el coste de actualización se debía más bien al número de cambios que se produce entre los modos de funcionamiento de la memoria de trabajo: mantenimiento y sustitución. Estos autores encontraron que cuando hay que actualizar todos o algunos elementos de una lista se lleva a cabo un proceso de repaso en el orden en el que son presentados. Puesto que la función por defecto de la memoria de trabajo es la estabilidad de la información, tal y como señalaba el modelo de Hazy et al. (2007), este proceso de repaso se iniciaría con la función de mantenimiento. En el curso de este proceso de repaso cuando se detecta un elemento que tiene que ser actualizado se produciría un cambio de función de mantenimiento a actualización y de nuevo se volvería al estado de mantenimiento si el siguiente elemento en orden de la lista no tiene que ser modificado. Durante la actualización se produciría una desvinculación del elemento obsoleto a su contexto (posición serial en este caso) y una nueva vinculación entre el nuevo elemento y el contexto.

Para comprobar este planteamiento administraron una tarea en la que se presentaban secuencias de cuatro letras en las que se manipulaba el número de letras a actualizar en cada ensayo (desde una hasta todas las letras), la posición serial de las mismas y el número de elementos que se mantenían (carga de memoria). Así, mientras que en algunas condiciones era necesario actualizar todos los elementos (p. e. UUUU, donde U denota actualización), en otras sólo había que actualizar algunos de ellos. Por ejemplo, en la condición RUUU (donde U significa actualización y R repaso o un elemento a mantener), el primer elemento se repetía, mientras los tres restantes tenían que ser actualizados. En este caso, puesto que el proceso de repaso comienza con la función de mantenimiento por defecto de la memoria y el primer elemento es repetido, tan sólo habría un cambio de función de mantenimiento a actualización al pasar del primer elemento al segundo, manteniéndose la función de actualización hasta el final del conjunto. En el caso de la condición URUR, los elementos segundo y cuarto se mantienen mientras el resto tiene que ser actualizado. En este caso, serían necesarios cuatro cambios de función. El primer cambio se realizaría de la función de mantenimiento a la actualización en el primer elemento y puesto que se alterna la actualización y la repetición de elementos en el resto de la secuencia, habría que realizar un cambio de función tras cada elemento.

Comprobaron en primer lugar que el número de cambios entre los modos de funcionamiento afectaba al coste de cambio de actualización (p. e. se tardaba más tiempo en la condición URRR que RRRU). Además, encontraron que algunas condiciones que implicaban sustituir parte de la información (p. e. RUUU, RRUU o RRRU) requerían menos tiempo que cuando había que sustituirlo todo (UUUU). Estos resultados no concuerdan con la idea inicial de Kessler y Meiran (2008) de que la actualización parcial requiere más tiempo que la actualización de todo el conjunto debido a los procesos de desvinculación, sustitución y revinculación que implica. Kessler y Oberauer (2014) sugirieron una explicación diferente a estos resultados. La actualización de un conjunto (actualización global) requeriría solo un cambio de mantenimiento a actualización al inicio de la secuencia. En cambio, la actualización de un elemento dentro del conjunto (actualización parcial) requeriría más cambios de media entre las funciones de actualización y mantenimiento en todas las condiciones de actualización de ese elemento.

Dado que el orden en el que se producen los cambios de función parecen influir en el coste de actualización (p. e. la ejecución en la condición

URUR es más lenta que en la condición RRUU aunque requieran el mismo número de actualizaciones), Kessler y Oberauer (2015) llevaron a cabo otro estudio en el que analizaron cómo influía el proceso de repaso durante la actualización. Partiendo de los resultados del estudio anterior y de que se asume que el proceso de repaso se produce en la misma dirección en la que se produce la lectura, analizaron qué ocurría si se comparaban dos idiomas en los que el orden de lectura es diverso. Así, utilizando la tarea del estudio anterior, incluyeron letras de la lengua inglesa, que se asume que se repasan de izquierda a derecha y letras de la lengua hebrea que son repasadas de derecha a izquierda. Los resultados se mostraron a favor de que la secuencia de letras es repasada desde el inicio hasta el final y de que la dirección del repaso depende de los estímulos presentados, es decir, del idioma.

En resumen, la propuesta inicial de Kessler y Meiran (2008) de que el coste de actualización se debe al establecimiento de nuevos vínculos una vez que un elemento ha sido actualizado, se vio modificada por la propuesta de que este coste se debe más bien al número de cambios que se produce entre los modos de funcionamiento de la memoria de trabajo, mantenimiento y sustitución. Estos dos modos permiten compatibilizar las dos demandas de la memoria de trabajo, el mantenimiento de los elementos relevantes y la modificación de aquellos que tienen que ser actualizados. El cambio de un modo a otro reflejaría el coste de actualización global.

### **3.2.3. La inhibición**

De la misma manera que es necesario activar determinadas representaciones en la memoria de trabajo para realizar una tarea específica, también lo es suprimir aquella información que no es relevante y que puede interferir afectando en la ejecución de la tarea. Aunque este componente no ha sido estudiado específicamente en esta Tesis Doctoral, su implicación en el proceso de actualización hace que sea relevante describir su funcionamiento.

Según Hasher, Zacks, y May (1999) la inhibición tiene tres funciones sobre los contenidos de la memoria de trabajo. Primero, controla el acceso a la memoria de trabajo inhibiendo aquellas representaciones que no son relevantes para la tarea pero que se han activado por semejanza o relación con las representaciones objetivo. Segundo, suprime la activación de aquellas representaciones que no son relevantes o que dejan de serlo para la tarea que se está llevando a cabo. Ambas funciones permitirían mantener la memoria de trabajo libre de información irrelevante y con mayor capacidad para la

información necesaria. Tercero, controla la activación de respuestas dominantes más automáticas de manera que puedan activarse otras menos probables.

Ecker, Lewandowsky, y Oberauer (2014) propusieron que la inhibición de la información forma parte del proceso de sustitución de la información. Según estos autores, sustituir información implica dos procesos: eliminar el material que deja de ser relevante y codificar el nuevo. En las tareas habituales de actualización se desconoce qué información tiene que ser actualizada hasta que se presenta la nueva información. Por tanto, los tiempos de respuesta en estas tareas implicarían tanto la eliminación de la información irrelevante como la codificación de la nueva. Ecker et al. (2014) hipotetizaron que si se conoce con anterioridad qué información tiene que ser actualizada y se da suficiente tiempo para eliminarla, el proceso de actualización se llevará a cabo de manera más rápida porque la persona habrá podido eliminar esa representación de la memoria de trabajo. Así, los tiempos de reacción solo reflejarán lo que se tarda en codificar nueva información.

Para conceptualizar el proceso de la supresión de la información irrelevante, estos autores partieron de un modelo de memoria de trabajo computacional SOB (*serial-order in a box*) que distingue entre ambos procesos en la sustitución de la información. Según este modelo, la información en la memoria de trabajo se representa en una red neural con dos capas, en las que los ítems se encuentran en una capa y los contextos o posiciones seriales, en este caso, en la otra. Los ítems y los contextos se encuentran relacionados mediante asociaciones que se han establecido mediante el aprendizaje con un determinado peso de manera que la eliminación de un ítem implicaría recuperarlo a través de su clave contextual y desaprender la asociación de ese ítem con su contexto.

Basándose en lo anterior, Ecker et al. (2014), utilizando la tarea de Kessler y Meiran (2008), analizaron si disponer de tiempo antes de la actualización facilitaría a la eliminación del ítem a actualizar. En esta tarea se presentaban conjuntos de tres ítems (letras o números) en diferentes casillas y se requería actualizar uno de ellos en cada ensayo. El ítem que tenía que ser actualizado era señalado antes de que el nuevo conjunto apareciera. Manipularon el intervalo de tiempo entre la presentación de la señal del ítem a actualizar y la aparición del nuevo conjunto de elementos (200 o 1500 ms). Hipotetizaron que cuanto mayor fuera este tiempo, mayor sería la probabilidad de eliminar ese ítem y por tanto, menos tiempo sería necesario para llevar a cabo la actualización. Tal y como esperaban, encontraron que con tiempos de

espera prolongados, la actualización se producía más rápido, probablemente porque los participantes habían tenido tiempo suficiente para eliminar el ítem obsoleto. Adicionalmente, encontraron que, los beneficios de sustituir información similar entre sí encontrados por Lendínez et al. (2011) se perdían con tiempos prolongados entre la señal y el nuevo conjunto, probablemente porque el ítem a actualizar había sido eliminado de la memoria de trabajo.

Ecker et al. (2014) señalan que el proceso de desaprendizaje entre un ítem y su contexto no es otro que la desvinculación que se produce en el proceso de actualización local propuesto por Kessler y Meiran (2008). De esta manera, este proceso de inhibición sería específico de actualizaciones parciales en las que sólo hay que modificar un ítem, ya que en las actualizaciones globales en las que hay que modificar todo el conjunto bastaría con “resetear” la matriz de las asociaciones entre ítems y contextos y este proceso no sería muy demandante en cuanto a tiempo. Prueba de ello es que la ventaja del tiempo prolongado antes de la presentación del nuevo conjunto de estímulos se pierde cuando el conjunto entero tiene que ser actualizado, sugiriendo que se produce un borrado instantáneo que no consume tiempo. Además, el hecho de que los tiempos de actualización no sean más rápidos con más ítems a actualizar parece indicar que ese tiempo entre la señal y la nueva información es utilizado sólo para eliminar un ítem aunque tengan que ser actualizados dos y el tiempo sea más que suficiente para actualizar ambos (1800 ms).

En resumen, los estudios anteriores muestran que las personas hacen un seguimiento de la información a actualizar de izquierda a derecha, hasta que encuentran un elemento que tiene que ser modificado. En ese momento, cambian el modo de la memoria de trabajo de mantenimiento (por defecto) a actualización, eliminando el ítem que ya está obsoleto. Este comportamiento eficiente permite minimizar el coste de cambio de objeto y de modo de mantenimiento-actualización (Kessler y Oberauer, 2014). De esta manera, el foco se paralizaría hasta que se codifica un nuevo elemento asociándolo a su contexto, incluso aunque haya suficiente tiempo para eliminarlo.

Estos resultados muestran la importancia del proceso de inhibición en la actualización de la memoria de trabajo. Aunque no se estudiará detenidamente como el resto de componentes en esta Tesis Doctoral, en capítulos posteriores se verá su implicación en las diferencias asociadas a la edad (Carriedo et al., 2016; Lechuga et al., 2006).

A continuación, se presenta una visión general del desarrollo del proceso de actualización a lo largo de la vida, con el objetivo de analizar el conocimiento existente sobre los posibles patrones evolutivos de cada uno de los componentes.

### **3.3. Cambios asociados a la edad en la actualización de la memoria de trabajo**

Existe una amplia evidencia de que la memoria de trabajo experimenta cambios desde que nacemos y continúa mejorando durante la niñez y la adolescencia (Brocki y Bohlin, 2004; Gathercole et al., 2004; Huizinga et al., 2006; Luciana et al., 2005; Luna et al., 2004). Diferentes estudios han encontrado una mejora acusada en el rendimiento en tareas de memoria de trabajo hasta los 8 años, momento en el que el ritmo de mejora se ralentiza aunque se mantiene hasta el final de la adolescencia (Brocki y Bohlin, 2004). Incluso, se pueden encontrar mejoras continuas en algunas tareas de memoria de trabajo (p. e. la tarea *listening span*) hasta algunos años más tarde (Gathercole y Pickering, 2000).

Asimismo, diferentes estudios han encontrado cambios asociados a la edad en el proceso de actualización (Belacchi et al., 2010; Garon, Bryson, y Smith, 2008; Huizinga et al., 2006; Kwon et al., 2002; Lechuga et al., 2006; Schleepen y Jonkman, 2009; Vuontela et al., 2003). En estos estudios se han utilizado diferentes tareas en las que están implicados de manera diversa los distintos componentes de la actualización. Sin embargo, estos estudios no han utilizado las tareas para evaluar las posibles diferencias asociadas a la edad de cada componente sino del proceso global. A continuación se describen los resultados encontrados con algunas de las tareas más utilizadas en este tipo de estudios que han permitido captar diferencias asociadas a la edad.

Una tarea de actualización muy empleada es la *running memory task*. En ella se presentan listas de longitud variable y hay que recordar los últimos *n* elementos de cada lista. Puesto que se desconoce cuándo finalizará la lista, es necesario ir recuperando el elemento almacenado y sustituyéndolo por el ítem actual cada vez que uno nuevo es presentado (Morris y Jones, 1990). Así, esta tarea implicaría los componentes de recuperación y sustitución. En un estudio con niños y adolescentes, Lee et al. (2013) pedían a los participantes que recordaran los dos o cuatro últimos dibujos de animales presentados en cada lista. Siguiendo un diseño secuencial de cohorte, estos participantes eran

evaluados desde los 6 hasta los 15 años. Estos autores encontraron que el rendimiento mejoraba conforme aumentaba la edad incluso hasta en el último grupo de edad evaluado, lo que sugería que el nivel adulto no era alcanzado aún a los 15 años.

Otra de las tareas más utilizadas para evaluar diferencias evolutivas en actualización es la *n-back*. Requiere decidir si el ítem actual es igual o no al presentado *n* posiciones atrás. Así, esta tarea supone memorizar en cada ensayo al menos los últimos *n* ítems que se han presentado y recuperar el que se encuentra *n* posiciones atrás. Por tanto, implica, como en la tarea anterior, la recuperación y sustitución de la información. Cuando hay que comparar la información actual con la presentada una posición atrás, se supone que sólo un componente de mantenimiento estaría implicado, ya que el elemento del ensayo anterior estaría en ese momento activo aún en el foco atencional. Sin embargo, cuando hay que compararlo con la información presentada dos posiciones atrás, además estaría implicado un proceso de control de interferencia de la información que también se encuentra almacenada en ese momento, en este caso, en la región de acceso directo.

La *n-back* ha sido una de las tareas experimentales de memoria de trabajo más utilizadas en los estudios con adultos. Además, algunos investigadores también la han utilizado para analizar las diferencias asociadas a la edad, para lo que se han empleado diferentes versiones, desde tareas audioespaciales, visoespaciales (Kwon et al., 2002; Vuontela et al., 2003) o verbales (Pelegrina et al., 2015; Schleepen y Jonkman, 2009). En general, todos los estudios han señalado un mismo patrón evolutivo. Mientras que en las condiciones de control, que requieren indicar si un determinado ítem se presenta en la pantalla, el nivel adulto es alcanzado a la edad muy temprana de 8-10 años (Kwon et al., 2002). En la condición que requiere comparar el ítem con el presentado en el paso precedente, y por tanto, solo implica mantenimiento, el nivel se alcanza aproximadamente a los 10-12 años (Schleepen y Jonkman, 2009). La mejora más pronunciada se produce principalmente en la condición *2-back* que requiere comparar el ítem actual con el presentado dos posiciones atrás. Así, el incremento en el nivel de exactitud y la disminución de los tiempos de respuesta son observados hasta bien entrada la adolescencia y la adultez temprana en la mayoría de los estudios (Brahmbhatt et al., 2010; Kwon et al., 2002; Pelegrina et al., 2015; Schleepen y Jonkman, 2009; Vuontela et al., 2003). Estos resultados muestran que los niños mayores tienen mayor capacidad para gestionar altas demandas en funcionamiento ejecutivo.

Las tareas anteriores han permitido captar diferencias asociadas a la edad en el proceso de actualización. Puesto que ambas incluyen los componentes de recuperación y sustitución, es posible que alguno de estos componentes esté determinando en mayor medida estas diferencias. A continuación se presentan distintos estudios que permiten inferir las diferencias asociadas a la edad en cada uno de los componentes.

### **3.3.1. Recuperación**

En lo que concierne a la recuperación, los estudios que han analizado las diferencias asociadas a la edad se han centrado principalmente en cómo evoluciona la capacidad para cambiar de objeto en el foco atencional.

Para estudiar estas diferencias en la niñez y la adolescencia, Lendínez et al. (2015) administraron una tarea de actualización numérica a diferentes grupos de edad (8, 11, 14 años y adultos). En la tarea, los participantes tenían que ir actualizando los valores asociados a dos figuras diferentes, recordando el número más pequeño que se iba presentando en cada una de ellas. Encontraron que los niños de 8 y 11 años empleaban más tiempo que los adolescentes y los adultos en cambiar de objeto en el foco atencional. Por tanto, parte de las diferencias asociadas a la edad en actualización pueden deberse al proceso de cambio de objeto.

La mayoría de estudios se han centrado en analizar otras etapas evolutivas más tardías. Oberauer et al. (2003) no encontraron diferencias en el coste de cambio entre adultos jóvenes y mayores, replicando los resultados de un estudio anterior (Oberauer et al., 2001). No obstante, sí constataron diferencias en los tiempos de respuesta cuando el número de elementos a actualizar aumentaba. Así, sugirieron que las personas mayores tienen problemas para mantener más de un elemento disponible en la memoria de trabajo más que en el acceso a estos elementos.

En cambio, otros estudios han encontrado cambios asociados a la edad en la exactitud con la que se recupera la información (Verhaeghen y Basak, 2005; Verhaeghen y Hoyer, 2007). Verhaeghen y Basak (2005) utilizaron una versión modificada de la tarea *n-back* tradicional en la que la información se presentaba distribuida en columnas de diferente color. Los participantes tenían que comparar el ítem actual con el presentado en la misma columna pero en una fila anterior. Administraron esta tarea a adultos jóvenes y mayores y encontraron que ambos grupos de edad diferían en la exactitud con la que la información era recuperada para activarla en el foco atencional, pero no en la

velocidad con la que llevaban a cabo este proceso. Estos resultados fueron replicados por Verhaeghen y Hoyer (2007) utilizando una tarea de cálculo diferente. Estudios posteriores descartaron que estos cambios asociados a la edad estuviesen relacionados con el nivel educativo de los participantes (Van Gerven, Meijer y Jolles, 2007).

Estos resultados sugieren una disociación entre la exactitud y la rapidez con la que se accede a la información en el foco atencional. Verhaeghen et al. (Verhaeghen y Basak, 2005; Verhaeghen y Hoyer, 2007) sugirieron que los cambios asociados a la edad se producían especialmente en la disponibilidad o exactitud de la información en la memoria de trabajo más que en la accesibilidad o velocidad con la que estos eran accedidos para ser actualizados.

En resumen, estos estudios sugieren que en la niñez el coste de cambiar de objeto en el foco atencional es mayor, mientras que en la adultez temprana y tardía, las principales diferencias asociadas a la edad se deben a la exactitud con la que se accede a la información mantenida fuera del foco atencional, más que a la velocidad con la que se produce este proceso de cambio.

### **3.3.2. Sustitución**

En relación al componente de sustitución, el estudio de Lendínez et al. (2015) ha analizado cómo cambia a lo largo de los primeros años de vida. Estos autores, además de analizar las diferencias asociadas a la edad en el cambio de objeto, tal y como se ha visto en el apartado anterior, examinaron cómo cambiaba la capacidad para sustituir la información. En su estudio, participaron niños desde 8 años hasta jóvenes de 21. La tarea era la misma que habían empleado Lendínez et al. (2011) consistente en actualizar los valores asociados a dos figuras, para recordar el número más pequeño que aparecía en cada una. Esto implicaba que los participantes tenían que sustituir el valor que tenían en memoria cuando el número que se presentaba era más pequeño que éste. Los resultados mostraron que el coste asociado a la actualización no aumentaba con la edad. Por tanto, los posibles cambios evolutivos en tareas similares deberían en todo caso aparecer a edades más tempranas.

### **3.3.3. Inhibición**

Respecto a la inhibición, diferentes estudios han analizado las posibles diferencias asociadas a la edad en este componente, distinguiendo entre diferentes fuentes de interferencia.

Lechuga et al. (2006) utilizaron una tarea en la que se presentaban nombres de animales y objetos junto a nombres abstractos. Los participantes tenían que recordar los últimos tres o cinco nombres de animales y objetos e ignorar los nombres abstractos. La tarea se administró a personas de tres grupos de edad (8 años, 11 años y estudiantes universitarios). Comprobaron un incremento en el recuerdo conforme aumentaba la edad. Específicamente, encontraron diferencias entre los dos grupos más jóvenes y entre los grupos extremos, sugiriendo que el rendimiento mejora desde los 8 hasta los 11 años y a los 18 ya es equiparable al nivel adulto. También observaron que los niños más pequeños cometían más errores de intrusión, es decir, recordaban más nombres irrelevantes. Estos autores sugirieron que las diferencias asociadas a la edad encontradas podían reflejar cambios en la eficiencia con la que la memoria de trabajo es utilizada y en la capacidad para inhibir información que no es relevante.

Posteriormente, Carriedo et al. (2016) llevaron a cabo un estudio para explorar posibles cambios asociados a la edad en los diferentes tipos de errores de intrusión. Siguiendo a De Beni y Palladino (2001) distinguieron tres tipos de intrusiones: a) intrusiones procedentes de la misma lista, relacionadas con la supresión de la información mantenida en memoria de trabajo b) intrusiones procedentes de las listas anteriores, relacionadas con el control de la interferencia proactiva y c) invenciones, elementos que no se han presentado anteriormente en la tarea, relacionados con el control de elementos irrelevantes en la memoria a largo plazo. El estudio se llevó a cabo en dos fases. En una primera fase, se administró la tarea de actualización de Lechuga et al. (2006), en la que los participantes tenían que recordar los tres o cinco elementos más pequeños de cada lista. En una segunda fase, los participantes llevaban a cabo una tarea de recuerdo demorado en la que tenían que recordar todos los elementos que se habían presentado en la primera fase. Encontraron una mejora progresiva en los mecanismos inhibitorios desde la niñez hasta el inicio del periodo adulto. Sin embargo, todos los mecanismos no progresaban de la misma manera. Específicamente, encontraron que los mecanismos de supresión que operan en la memoria de trabajo (evidenciados por las intrusiones de la misma lista) permanecían estables durante la niñez y la adolescencia y aumentaban su efectividad en la adultez temprana. En cambio, los errores que dependían del control de la interferencia proactiva (intrusiones de listas anteriores) disminuían progresivamente hasta los 15 años. Por tanto, los resultados sugieren que la capacidad para controlar la interferencia procedente de los elementos en la

memoria a largo plazo se desarrolla antes que el control de la interferencia procedente de otros elementos mantenidos en la memoria de trabajo.

En resumen, los diferentes estudios previos han permitido analizar las diferencias asociadas a la edad en el proceso de actualización utilizando distintas tareas. Estos trabajos encuentran un incremento general en el recuerdo y una disminución de los tiempos de respuesta hasta bien entrada la adolescencia. Aunque estas tareas implicaban los diferentes componentes de la actualización, ninguna de ellas ha sido diseñada con el objetivo de estudiar específicamente diferencias asociadas a la edad en los tres componentes. Por tanto, sería relevante diseñar un estudio que permita analizar el desarrollo de cada componente durante la niñez y la adolescencia, etapas en las que se han observado los principales cambios asociados a la edad en el proceso de actualización. En el primer estudio de esta Tesis Doctoral se abordará esta cuestión.

### **3.4. Entrenamiento en la actualización de la memoria de trabajo**

Como se ha visto en el apartado anterior, la actualización no sólo es un proceso esencial para muchas de las actividades de la vida diaria sino que también desempeña un papel importante en diferentes funciones complejas. Una cuestión relevante, es hasta qué punto este mecanismo se puede entrenar. Dada la relación con distintas funciones ejecutivas, sería también interesante determinar en qué medida los beneficios del entrenamiento en actualización se transfieren a otras funciones cognitivas.

#### **3.4.1. Entrenamiento en memoria de trabajo**

Diferentes estudios han implementado distintos tipos de entrenamiento en la memoria de trabajo con el objetivo de explorar los beneficios que conlleva cada uno. Pueden encontrarse diferentes tipos de estudios. Por un lado, hay estudios que entrenan estrategias específicas para mejorar el rendimiento en las tareas de memoria de trabajo y que se centran en estudiar la relación entre ésta y otros sistemas de memoria (veáse, por ejemplo, Carretti, Borella y De Beni, 2007). Estos estudios sugieren que es posible mejorar el rendimiento en las tareas entrenadas por encima de la línea base. Sin embargo, las mejoras obtenidas son específicas de las tareas entrenadas y su generalización se limita a tareas en las que puede aplicarse la misma estrategia.

Por otro lado, otros estudios entrenan la memoria de trabajo específicamente para conseguir mejoras en otras funciones cognitivas conceptualmente relacionadas con la memoria de trabajo. Dentro de esta perspectiva, se encuentra la segunda categoría de estudios de entrenamiento, que se centran en mecanismos de memoria de trabajo más generales. A diferencia del enfoque anterior, en este tipo de estudios no se aporta a los participantes información sobre estrategias para realizar las tareas. Se basan en que una demanda cognitiva prolongada puede inducir cambios en regiones cerebrales alterando los límites de capacidad de la memoria de trabajo. Así, este tipo de entrenamiento conduciría a mejoras en funciones cognitivas que comparten recursos estructurales (Dahlin, Neely, et al., 2008) o varianza (Klingberg, 2010) con la memoria de trabajo, permitiendo obtener mejoras más amplias e incluso efectos de transferencia a procesos o funciones que no han sido entrenados. El estudio de entrenamiento que se presenta en esta Tesis Doctoral se encuadra dentro de este último enfoque de estudios de entrenamiento.

Los efectos de transferencia se evalúan usualmente comparando el rendimiento inicial en una tarea no entrenada con el rendimiento obtenido en la misma tras el entrenamiento. Según el nivel de relación entre el proceso o función evaluado y el proceso entrenado el efecto de transferencia puede ser diferente. Así, se ha encontrado que el entrenamiento puede producir una mejora en tareas que también implican la memoria de trabajo, lo que se conoce como efecto de transferencia cercano o *near transfer* (Chein y Morrison, 2010; Jausovec y Jausovec, 2012; Sprenger et al. 2013; von Bastian, Langer, Jäncke y Oberauer, 2013; Westerberg y Klingberg, 2007). Del mismo modo, también se han encontrado efectos de transferencia lejana o *far transfer*, es decir, beneficios en funciones cognitivas relacionadas con la memoria de trabajo, como el control cognitivo (Borella, Carretti, Riboldi y De Beni, 2010; Chein y Morrison, 2010; Westerberg y Klingberg, 2007), la inteligencia fluida (Jausovec y Jausovec, 2012; Westerberg y Klingberg, 2007), la comprensión lectora (Carretti, Borella, Zavagnin y De Beni, 2013; Chein y Morrison, 2010), el razonamiento (Jausovec y Jausovec, 2012; Sprenger et al. 2013) o la atención (Jausovec y Jausovec, 2012; Salminen et al., 2012). Algunos estudios han encontrado que, cuanto mayor sea la relación entre el proceso entrenado y las funciones evaluadas, mayor será el efecto de transferencia (Dahlin, Neely, et al., 2008; Waris et al., 2015). Sin embargo, en la literatura no hay unanimidad al respecto (Shipstead, Redick y Engle, 2010, 2012).

Un enfoque diferente de este tipo de entrenamientos lo aportan García-Madruga et al. (2013, García-Madruga, Gómez-Veiga, y Vila, 2016). Estos autores intentaron entrenar ciertas funciones ejecutivas asociadas a la memoria de trabajo (focalización, cambio, actualización e inhibición) utilizando tareas de comprensión lectora que requieren de estas funciones ejecutivas. Además, el programa de entrenamiento incluía una intervención metacognitiva en la que los niños reconocían y tomaban conciencia de la implicación de esas funciones en la comprensión lectora. Estos autores encontraron una mejora en actualización, memoria de trabajo, comprensión lectora e inteligencia fluida.

Se han realizado diferentes meta-análisis y revisiones para intentar encontrar tendencias y patrones comunes en la diversidad de resultados de los entrenamientos en memoria de trabajo obtenidos hasta el momento en diferentes poblaciones. Mientras algunos estudios proporcionan una visión bastante positiva sobre la eficacia de los entrenamientos ya que muestran beneficios en otras funciones cognitivas diferentes a las entrenadas (Karch y Verhaeghen, 2014; Morrison y Chein, 2011; Titz y Karch, 2014); otros han encontrado tan solo mejoras limitadas a medidas de memoria a corto plazo o de trabajo similares a las tareas entrenadas (Melby-Lervåg y Hulme 2013; Redick, Shipstead, Wiemers, Melby-Lervåg y Hulme, 2015). Además, cuando estas medidas eran evaluadas un tiempo después, no se mantenían o el mantenimiento era muy limitado (Melby-Lervåg y Hulme 2013). Melby-Lervåg y Hulme (2013) señalaron que estas mejoras en medidas podrían indicar cambios de bajo nivel debidos a la familiaridad de la tarea. Estos resultados llevan a la cuestión de si los entrenamientos inducen cambios generales en el proceso entrenado o en realidad se producen cambios específicos a nivel de la tarea entrenada a través, por ejemplo, de la adquisición de una estrategia útil para tareas similares (von Bastian y Oberauer, 2014).

Las diferentes revisiones coinciden en que estos resultados divergentes se deben principalmente a la variabilidad en la duración, intensidad, localización, metodología y adaptabilidad de los entrenamientos analizados. Ante esta realidad, señalan la importancia de homogeneizar en la mayor medida posible los procedimientos o factores incluidos en este tipo de estudios. Principalmente, señalan la necesidad de que todos los grupos incluyan grupos de control que permitan controlar la motivación y las expectativas de mejora que pueden producir incrementos en el rendimiento, haciendo especial hincapié en la superioridad de los grupos de control activo para este objetivo. Además, destacan la importancia de asignar aleatoriamente los participantes a los

diferentes grupos implicados en el entrenamiento, incluido el control, para controlar diferencias entre los grupos desde el inicio del estudio. De la misma manera, señalan la conveniencia de incluir medidas objetivas y variadas para evaluar la transferencia al mismo proceso, lo que permitiría además identificar si la mejora se produce en una tarea específica o en el proceso en sí (Karbach y Verhaeghen, 2014; Melby-Lervåg y Hulme, 2013; Morrison y Chein, 2011; Redick et al., 2015; Titz y Karbach, 2014; von Bastian y Oberauer, 2014). La implementación de estas medidas en futuros estudios de entrenamiento podría facilitar la comparación entre los resultados obtenidos por diferentes estudios.

### **3.4.2. Entrenamiento en actualización**

El interés por determinar los efectos de los estudios de entrenamiento con tareas de memoria de trabajo, ha llevado a realizar algunos centrados más específicamente en la actualización. Estos programas se han aplicado a diferentes poblaciones: niños, adolescentes, adultos, ancianos o personas con alguna discapacidad. A continuación, se hará referencia principalmente a aquellos estudios centrados en adultos jóvenes, ya que también serán la población que ha participado en la presente investigación.

A lo largo de este apartado se tratarán diferentes aspectos. En primer lugar, se presentarán dos tipos de entrenamiento en actualización: aquellos que entrenan actualización junto a otros procesos o funciones cognitivas y aquellos que se centran exclusivamente en la actualización. Seguidamente, se expondrán los principales efectos de transferencia y el mantenimiento de los resultados de este último tipo de entrenamiento y finalmente se señalarán factores que, al igual que en las revisiones anteriores de entrenamiento en memoria de trabajo, han mostrado ser relevantes en el entrenamiento en actualización.

Como se ha señalado previamente, dentro de los estudios que han entrenado la actualización en la memoria de trabajo con adultos jóvenes, podemos encontrar dos categorías. Por un lado, se encuentran aquellos estudios que han incluido alguna tarea de actualización dentro de la batería de pruebas cognitivas utilizadas para el entrenamiento. Por ejemplo, Jausovec y Jausovec (2012) entrenaron la actualización con la tarea *n-back* en su versión simple y doble, completando el entrenamiento con cuatro tareas más de memoria de trabajo que requerían el funcionamiento de los distintos componentes del modelo de Baddeley. Estos autores encontraron que el entrenamiento había aumentado el rendimiento en memoria de trabajo, inteligencia fluida y en razonamiento visoespacial. Sin embargo, dado que la actualización fue

entrenada junto a la memoria de trabajo, no es posible discernir si los beneficios encontrados se deben al entrenamiento de uno o de ambos. Esta dificultad se repite en otros estudios que han entrenado la actualización junto a otros procesos o funciones cognitivas encontrando una mejora en otras tareas de actualización, memoria de trabajo, cambio, inhibición, atención o razonamiento (Sandberg et al., 2015; Sprenger et al., 2013; Westerberg y Klingberg, 2007).

Por otro lado, se encuentran aquellos estudios que entrenan específicamente la actualización. Dentro de estos estudios se encuentra una gran variabilidad en las tareas usadas que pueden requerir diferentes componentes. Entre las tareas que implican la recuperación y la sustitución de la información, una de las utilizadas con mayor frecuencia es la tarea *n-back*, tanto en su versión simple como dual. Tal y como se ha comentado en capítulos anteriores, en la primera se presentan secuencias de estímulos de un mismo tipo (por ejemplo, verbal, auditivo o espacial) y se debe comparar el ítem actual con el presentado *n* ensayos atrás. En cambio, en la versión doble, se presentan secuencias de diferentes tipos de estímulos (por ejemplo, verbal y auditivo al mismo tiempo) y se debe juzgar si el ítem actual es igual al presentado *n* ensayos antes para cada modalidad. Dado que esta versión es más demandante que la *n-back* simple, podría pensarse que produce mayores efectos de transferencia. Sin embargo, los resultados obtenidos por investigaciones que han comparado ambos procedimientos han encontrado que ambas versiones son igual de efectivas para producir beneficios en inteligencia fluida (Jaeggi et al., 2008) e inducir mejoras en los costes de cambio (Küper y Karbach, 2015). Además, Küper y Karbach (2015) han encontrado que el entrenamiento con la tarea *n-back* simple era capaz de mejorar el rendimiento en una tarea similar *3-back* mientras que la doble *n-back* no producía este efecto.

Una cuestión clave en los estudios de entrenamiento es la transferencia, es decir, en qué medida los beneficios obtenidos debidos al entrenamiento son generalizables a otras medidas. Algunos de los estudios que han utilizado la tarea *n-back* dual para entrenar la actualización han encontrado algunos efectos positivos de transferencia a procesos o funciones cognitivas relacionados en diferente medida con este proceso. Sin embargo, estos efectos no se han generalizado a todas las medidas utilizadas. Así, el entrenamiento en esta tarea ha permitido mejorar el rendimiento en otras medidas de actualización (Li et al., 2008; Lilienthal et al., 2013), memoria de trabajo, inteligencia (Jaeggi et al., 2008), cambio y atención (Salminen et al., 2012). No obstante, otros estudios

utilizando esta misma tarea no han encontrado efecto alguno de transferencia (Redick et al., 2013).

Otra tarea utilizada en este tipo de estudios y que implica los mismos componentes es la *running task*, en la que hay que recordar los últimos  $n$  estímulos de cada lista de estímulos. Utilizando esta tarea se han encontrado mejoras en otras pruebas que evalúan actualización (Dahlin, Neely et al., 2008; Dahlin, Nyberg et al., 2008; Xiu et al., 2015), memoria episódica (Dahlin, Nyberg et al., 2008) y regulación emocional (Xiu et al., 2015).

Recientemente, Waris et al. (2015) han utilizado tareas novedosas para entrenar la actualización. Así, además de la *n-back* dual (auditiva y visual), en su entrenamiento han empleado una batería que incluye una tarea numérica de actualización selectiva y otra tarea visoespacial que implica mover figuras. En la primera, al inicio, se presenta horizontalmente una secuencia de números contenidos en unas casillas. En los ensayos posteriores, algunos números de la secuencia van cambiando, permaneciendo en blanco las casillas que contienen los números que deben mantenerse. La tarea de los participantes consiste en ir actualizando la información. Así, esta tarea requiere ir recuperando el número asociado a cada casilla e ir sustituyéndolo cada vez que se presenta uno nuevo. En la segunda tarea, se presenta un número creciente de figuras en una matriz. Posteriormente, van apareciendo cada una de las figuras junto a una flecha que indica hacia qué dirección debe ser desplazada por la matriz. Los participantes tienen que ir transformando las localizaciones iniciales mediante el desplazamiento de las figuras por la matriz para señalar finalmente la última localización de cada una de las figuras. Estos autores encontraron que entrenar las tres tareas producía una mejora en dos tareas de actualización, una *n-back* numérica y una *running task* verbal. Además, producía un incremento de las puntuaciones en tareas de memoria de trabajo demandantes y en pruebas de cambio de tarea.

Otra cuestión relevante concierne al mantenimiento de los efectos del entrenamiento, esto es, la estabilidad de las ganancias del entrenamiento y de los efectos de transferencia un tiempo después. Cabría esperar que cuánto más efectivo sea el entrenamiento, más duraderos serán sus efectos. Aunque hay cierta variabilidad en el momento temporal en el que se realiza esta evaluación (desde 3 a 18 meses), de manera general, sólo se mantienen los beneficios obtenidos en las tareas de actualización (Dahlin, Nyberg, et al., 2008; Li et al.,

2008). Sin embargo, pocos son los estudios que han incluido un seguimiento posterior de los beneficios encontrados.

En resumen, los beneficios que han mostrado los estudios realizados hasta la fecha son dispares y limitados. Así, mientras algunos entrenamientos han obtenido efectos de transferencia con una tarea específica, otros no lo han hecho. De la misma manera, algunos estudios han encontrado efectos de transferencia a funciones cognitivas menos relacionadas con la actualización mientras otros sólo han mostrado un efecto de generalización limitado. Estos resultados muestran la variabilidad que presenta cada uno de los estudios de entrenamiento y los múltiples factores que pueden afectar a la eficacia el mismo. Al igual que en los entrenamientos de memoria de trabajo, factores como la duración, la intensidad o el lugar donde se desarrolla el entrenamiento pueden afectar a los resultados obtenidos en el mismo.

### **3.4.3. Factores implicados en la eficacia del entrenamiento**

Uno de los factores que contribuyen a determinar de la eficacia del entrenamiento podría ser la participación de los diferentes componentes de actualización implicados en las tareas de entrenamiento. Considerando las tareas de actualización que se han utilizado hasta ahora para entrenar este proceso, se puede observar que ninguna de ellas, excepto la tarea visoespacial de mover figuras que presentan Waris et al. (2015) incluye los tres componentes de la actualización que se analizan en esta tesis doctoral. El resto de tareas presentadas incluyen exclusivamente recuperar información mantenida fuera del foco atencional y sustituirla por otra más novedosa (por ejemplo, las tareas *running task* y *n-back*). Puesto que la gran mayoría de las tareas utilizadas sólo implican algunos de los componentes de la actualización, sería interesante realizar un entrenamiento que implique no solamente recuperar y sustituir la información sino también transformarla aplicándole alguna modificación.

Otro factor implicado en los estudios de entrenamiento está relacionado con la demanda cognitiva del entrenamiento. Por un lado, algunos estudios han utilizado un procedimiento fijo, en el cuál las tareas entrenadas mantienen el mismo nivel de dificultad durante todas las sesiones de entrenamiento (Dahlin, Neely et al. 2008; Dahlin, Nyberg et al., 2008; Li et al., 2008). Sin embargo, por lo general, estos estudios han mostrado un efecto de transferencia limitado a tareas de actualización y poca generalización a otros procesos o funciones cognitivas. Por otro lado, otros estudios han incluido un procedimiento adaptativo, en el cual la dificultad de la tarea se ajusta al rendimiento individual

de cada participante (Jaeggi et al., 2008; Küper y Karbach, 2015; Redick et al., 2013; Salminen et al., 2012; Waris et al., 2015; Xiu, et al., 2015). Algunos de estos entrenamientos sí han producido efectos de transferencia a otras habilidades cognitivas menos relacionadas con la actualización, como la inteligencia fluida (Jaeggi et al., 2008), la atención (Salminen et al., 2012) o la regulación emocional (Xiu, et al., 2015). No obstante, otros trabajos utilizando este tipo de procedimiento no han obtenido resultados generalizables (ver también Redick et al., 2013 y Waris et al., 2015). Por su parte, von Bastian y Eschen (2015) tampoco encontraron diferencias en la eficacia mostrada por un procedimiento adaptativo y otro en el que la dificultad variaba de manera aleatoria a lo largo de las tareas entrenadas.

Al igual que en los estudios de entrenamiento en memoria de trabajo, es importante comparar la efectividad del grupo que entrena la actualización con un grupo control que permita cerciorarse de que los efectos del entrenamiento se deben exclusivamente al mismo y a no a otros factores como la inclusión en un estudio experimental o la realización de determinadas tareas en el laboratorio. Por lo general, en los estudios de entrenamiento de la actualización se han utilizado grupos de control pasivos o *no-contact*, que sólo acuden al laboratorio para realizar las sesiones de evaluación pero no reciben ningún tipo de entrenamiento (Jaeggi et al., 2008; Küper y Karbach, 2015; Salminen et al., 2012; Xiu, et al., 2015). Una limitación de este tipo de grupos es que los participantes no interactúan con el experimentador, las tareas o los dispositivos utilizados durante el entrenamiento. Por ello, se aconseja incluir grupos de control activos que durante el entrenamiento realizan tareas que no implican ningún proceso relacionado con la actualización (Redick et al., 2013; Waris et al., 2015) pero que comparten condiciones durante el entrenamiento con el grupo entrenado.

En resumen, los beneficios encontrados por los estudios de entrenamiento en actualización son generalmente limitados a tareas similares, aunque otros estudios han obtenido mejoras en procesos o habilidades no entrenados. A esta variabilidad de los resultados podrían contribuir factores como la implicación de diferentes componentes de actualización, la inclusión de un grupo control o la demanda cognitiva del entrenamiento. No obstante, la obtención de efectos limitados en la mayoría de los estudios plantea la cuestión de si el entrenamiento produce una mejora del proceso de actualización en sí o facilita el aprendizaje de una estrategia que es óptima para la realización de una

tarea entrenada y que puede ser aplicada en tareas similares. El tercer estudio de esta Tesis Doctoral tratará de responder a alguno de los interrogantes anteriores.





## **Objetivos e hipótesis**



#### 4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

La actualización es el proceso cognitivo complejo que permite modificar los contenidos mantenidos en la memoria de trabajo que dejan de ser relevantes para la tarea específica que se está llevando a cabo. Se encuentra implicado en diferentes áreas de la vida diaria. Por ejemplo, juega un importante papel en el rendimiento académico, dando cuenta de diferencias individuales en áreas como las matemáticas (Passolunghi y Pazzaglia, 2004; Pelegrina et al., 2014) o la comprensión lectora (Gernsbacher et al., 1990). Además, se ha encontrado que es la función ejecutiva que mejor la predice la inteligencia fluida (Belacchi et al., 2010; Chen y Li, 2007; Friedman et al., 2006).

Aunque el proceso de actualización se identifica principalmente con la sustitución de la información, en las tareas de actualización es posible distinguir otros procesos o componentes adicionales como la recuperación o la transformación (Ecker et al., 2010). La recuperación consiste en el acceso a información que se encuentra mantenida fuera del foco atencional. La transformación implica aplicar una operación para modificar una representación y la sustitución consiste en el reemplazo de información que ha dejado de ser relevante por otra más novedosa. Para analizar la contribución específica de cada componente al proceso de actualización, Ecker et al. (2010) diseñaron una tarea de actualización alfanumérica que incluía una serie de manipulaciones que daban lugar a seis condiciones experimentales resultantes de la combinación de los distintos componentes. Tras administrar esta tarea a adultos jóvenes, demostraron la contribución independiente de los tres componentes al proceso de actualización, señalando que operaban de manera secuencial. Así, para actualizar una representación mantenida en la memoria de trabajo primero hay que recuperarla para activarla en el foco atencional, aplicarle la operación pertinente y finalmente sustituir la representación que ha quedado obsoleta por aquella modificada.

El objetivo general de esta Tesis Doctoral era investigar el funcionamiento del proceso de actualización de la memoria de trabajo. Para ello, el presente trabajo ha abordado dos cuestiones principales. Primero, en qué aspectos de la actualización difieren las personas y segundo, en qué medida puede entrenarse este proceso.

Específicamente, se pretendía realizar un análisis de los diferentes componentes implicados en las tareas de actualización para comprobar en qué medida determinan ciertas diferencias asociadas a la edad. De esta manera, se examinaron las posibles diferencias asociadas a la edad en cada uno de los componentes. Además, a partir de ciertos resultados obtenidos, se planteó una serie experimental dirigida a dilucidar la implicación de ciertos mecanismos en el componente de recuperación de la información. Por otro lado, se evaluó la eficacia de un programa de entrenamiento que incluye tareas de actualización que implican los diferentes componentes. A continuación, se presentarán los objetivos principales de cada estudio así como las hipótesis planteadas.

#### **4.1. Diferencias asociadas a la edad en la actualización**

El primer estudio que compone esta Tesis Doctoral se llevó a cabo con el objetivo de determinar posibles diferencias asociadas a la edad en distintos componentes de la actualización. Se partía de la amplia evidencia de que con la edad mejora la eficacia con la que se actualiza la información. Diferentes estudios han mostrado que los tiempos de respuesta disminuyen y la exactitud aumenta en distintas tareas de actualización desde la niñez hasta bien entrada la adolescencia (Carriedo et al., 2016; Kwon et al., 2002; Lechuga et al., 2006; Lee et al., 2013; Pelegrina et al., 2015; Scheelpen y Jonkman, 2009; Vuontela et al., 2003). La implicación de los distintos componentes propuestos varía en las diferentes tareas de actualización utilizadas en estos estudios. Así, mientras tareas como la *n-back* o la *running task* implican la recuperación y la sustitución de la información, otras como la tarea *mental counters* añade además el componente de transformación. Sin embargo, estas tareas no estaban diseñadas para captar posibles diferencias asociadas a la edad en los distintos componentes que implican. Por tanto, los resultados sólo pueden aportar información acerca del desarrollo de la actualización de forma global. Así, el objetivo de este primer estudio era analizar las posibles diferencias asociadas a la edad en cada uno de los componentes de la actualización.

Para abordar esta cuestión, se empleó una versión adaptada de la tarea de Ecker et al. (2010). Se utilizó esta tarea ya que, en su estudio, estos autores comprobaron que permitía captar la contribución de cada componente al proceso de actualización. La adaptación se llevó a cabo con el objetivo de simplificar la tarea y poder utilizarla en diferentes grupos de población. Como

resultado, la tarea de este estudio incluía seis condiciones experimentales resultantes de la combinación de los diferentes componentes de la actualización.

Para analizar las diferencias asociadas a la edad, se administró esta tarea de actualización numérica a niños de 8, 11 y 14 años y a adultos jóvenes. Se esperaba encontrar que la implicación de los distintos componentes afectara a dos variables dependientes principales: los tiempos de respuesta y la exactitud de la ejecución, de manera que cuando hubiera que recuperar, transformar o sustituir se empleara más tiempo y disminuyera la exactitud frente a cuando estos subprocesos no eran necesarios.

Con respecto a la relación entre el funcionamiento de cada componente y la edad, existen pocas evidencias acerca del desarrollo de cada uno. Algunos indicios sugieren que el componente de recuperación podría estar implicado en algunas diferencias evolutivas. En primer lugar, Ecker et al. (2010) encontraron que la recuperación de la información era el componente más relacionado con las diferencias individuales. En segundo lugar, otros estudios han encontrado diferencias asociadas a la edad en el tiempo (Lendínez et al., 2015) y exactitud con la que se cambia la información en el foco atencional (Verhaeghen y Basak, 2005; Verhaeghen y Hoyer, 2007). Por tanto, se predecía que las diferencias relacionadas con la edad aparecieran principalmente en tareas que implicaban este componente. También era posible encontrar cambios en los otros, aunque no se planteaban hipótesis concretas al respecto.

#### **4.2. Recuperación y cambio de objeto**

Como se ha expuesto en el apartado dedicado a la Recuperación (véase apdo. 3.2.1), en las tareas experimentales de actualización pueden encontrarse dos modos de manipular el acceso a la información. Por un lado, se puede emplear una clave del objeto cuya información ha de recuperarse, tal y como se hace en el estudio de Garavan (1998) utilizando figuras geométricas o en el de Oberauer (2003) utilizando casillas que denotan un objeto mental. Por otro lado, también se puede usar un procedimiento en el que se manipula la recuperación de la información más que el acceso al objeto, como en el estudio de Ecker et al. (2010) y en el primer estudio de esta Tesis. Esto remite a la cuestión de si el acceso al objeto y la recuperación de la información asociada al mismo son procesos que ocurren simultáneamente o son procesos que pueden separarse porque se inician en distintos momentos.

Esta cuestión se la plantearon Bialkova y Oberauer (2010). Ellos manipularon, en una tarea aritmética con tres contadores, el acceso al objeto y la necesidad de recuperar o no la información asociada a cada uno. Encontraron que el acceso al contador y la recuperación de su contenido se producían al mismo tiempo, ya que cuando se accedía al objeto, la recuperación de la información no suponía un coste adicional. Por otra parte, en el primer estudio de esta Tesis se administró una tarea diseñada para manipular la recuperación de la información, pero en la que también se producían frecuentes cambios de objeto, aspecto que en vez de manipularse se controlaba. El análisis incidental de ambas condiciones mostró que tanto el acceso al objeto como la recuperación de la información afectaban de forma separada al tiempo de estudio. Este resultado diferiría del encontrado por Bialkova y Oberauer (2010). Esto planteó la necesidad de diseñar un estudio para abordar adecuadamente esta cuestión.

En el segundo estudio que se presenta en esta Tesis Doctoral se administró una tarea similar a la presentada por Bialkova y Oberauer (2010) con dos contadores, manipulando la necesidad de recuperar o no la información cada vez que se accedía a un nuevo objeto. Con base en los resultados previos obtenidos por estos autores, se esperaba encontrar el mismo coste de cambio de objeto con independencia de si el contenido tenía que ser recuperado. Esto indicaría que el acceso a un objeto a través de una clave implica el acceso simultáneo a su contenido. También sería posible comprobar que la recuperación de la información añadía un tiempo extra al requerido para acceder al objeto. Esto apoyaría que el acceso al objeto y la recuperación del contenido son diferentes subprocesos en el cambio de objeto.

Otro proceso implicado en la tarea que se pretende utilizar es el cambio de tarea. La manipulación de la recuperación de la información implica en realidad dos tareas, una que se realiza cuando no se debe recuperar la información y otra que se emplea cuando ha de accederse a la información almacenada. Dado que el cambio de tarea y el cambio de objeto requieren mecanismos de control cognitivo es posible que ambos interaccionen (p.e., para seleccionar la tarea o el objeto, véase Risse y Oberauer, 2009). Por tanto, en el primer experimento de este estudio, como novedad, este efecto se estudió junto al cambio de tarea que tiene lugar en función de que se repita o no la operación de recuperación. Para ello se utilizó uno de los procedimientos más habituales para estudiar el cambio de tarea, el procedimiento de listas, que implica la comparación de listas simples que incluyen recuperar o no la información para

realizar la operación matemática y listas mixtas que incluían ambas condiciones de recuperación. En relación a esta manipulación, se esperaba encontrar que las listas simples requirieran menos tiempo que las mixtas. Igualmente, se esperaba encontrar el mismo patrón de resultados que en el experimento anterior en dos experimentos posteriores en los que se incluyeron solamente listas mixtas. Respecto a la relación entre el cambio de tarea y el cambio de objeto, Risse y Oberauer (2009) y Verhaeghen y Basak (2005) encontraron que ambos procesos de selección se ejecutan parcialmente en paralelo. Con base en estos resultados, en el presente estudio se espera que la repetición del mismo objeto ante el cambio de tarea implique menos tiempo que cambiar simultáneamente el objeto y la tarea.

#### **4.3. Entrenamiento de la actualización en la memoria de trabajo**

En el último estudio de la Tesis Doctoral se presenta un programa de entrenamiento para determinar si es posible mejorar, no sólo la eficacia con la que la actualización es llevada a cabo, sino también el funcionamiento de otras funciones cognitivas con la que este proceso se encuentra relacionado. Diferentes estudios han entrenado el proceso de actualización utilizando diferentes tareas. La gran mayoría de ellos han encontrado que beneficios limitados a tareas muy relacionadas con la actualización (Dahlin, Neely et al., 2008; Dahlin, Nyberg et al., 2008; Li et al., 2008; Lilienthal et al., 2013; Xiu et al., 2015), siendo menos consistentes los resultados a favor de mejoras en otros procesos o funciones cognitivas menos relacionados (Jaeggi et al., 2008; Salminen et al., 2012; Waris et al., 2015). Sin embargo, sólo uno de estos estudios incluyó una tarea de actualización que incluyera los tres componentes propuestos (Waris et al., 2015). Este estudio demostró cierta transferencia del entrenamiento, al encontrar algunas mejoras en procesos menos relacionados con la actualización como es el cambio entre set mentales.

Para el presente estudio se diseñó un programa de entrenamiento que incluía dos tareas en las que los tres componentes estaban implicados. Para conocer si este entrenamiento podía inducir mejoras en otras funciones cognitivas no entrenadas, los participantes fueron evaluados en otras tareas de actualización, memoria de trabajo e inteligencia fluida. La evaluación se realizó en tres momentos: antes, después y tras un mes de la finalización el entrenamiento.

En este estudio de entrenamiento también interesaba investigar cómo afectan determinados factores a la efectividad del entrenamiento. Así, por un lado, se abordó el origen o el mecanismo por el que se produce la mejora, cuestión que se relaciona con el problema de la transferencia; y, por otro, el régimen del entrenamiento.

En relación al origen de la mejora, surge la cuestión de si el entrenamiento produce mejoras en el proceso entrenado o si se desarrolla una estrategia que se va optimizando a lo largo del entrenamiento. Cabría esperar que si mejora la actualización en sí, se encontrarían beneficios en tareas menos similares a las entrenadas. En cambio, si únicamente se adquiere una estrategia efectiva, tan sólo se mejoraría el rendimiento en tareas muy similares en las que puede utilizarse la misma estrategia. Con el objetivo de entender qué mejora realmente cuando se entrena la actualización, se incluyeron diferentes tareas para evaluar la transferencia. Además de las tareas de memoria de trabajo e inteligencia fluida, se incluyeron dos tareas diferentes de actualización para evaluar la transferencia al mismo proceso. Ambas tareas diferían en el criterio de actualización o en la estructura que presentaban. Por ejemplo, en una tarea, se señalaba el elemento que tenía que ser recuperado o sustituido y la información se presentaba distribuida horizontalmente en la pantalla como en las tareas entrenadas. En cambio, en la otra tarea, era el participante quien decidía que elemento tenía que actualizar y los elementos se presentaban secuencialmente en el centro de la pantalla.

A tenor de lo descrito anteriormente, se esperaba que si la mejora se produce por una optimización del proceso de actualización, la ejecución mejorara no sólo en las tareas que miden este proceso sino también en las otras que evalúan funciones menos relacionadas, como la memoria de trabajo o la inteligencia fluida. En cambio, si la mejora se producía por el aprendizaje de una estrategia, se esperaba que sólo mejorara el rendimiento en la tarea de actualización similar a las entrenadas en la que podía utilizarse la misma estrategia.

Junto a los dos grupos de entrenamiento, se incluyó un tercer grupo que llevaba a cabo otras tareas no relacionadas con la actualización durante las mismas sesiones que los otros grupos y en el mismo laboratorio. El objetivo de incluir este grupo era controlar que los efectos encontrados por el entrenamiento no se debieran al contexto o a la repetición de las tareas de evaluación. Puesto

que este grupo no entrenaba la actualización, no se esperaba que mejorara en ninguna de las funciones evaluadas.

Por otro lado, respecto al régimen de entrenamiento, existen evidencias de que un entrenamiento que ajusta la dificultad al rendimiento del participante (denominado adaptativo) es más efectivo que aquel que mantiene una dificultad fija (denominado no adaptativo) (Jaeggi et al., 2008; Redick et al., 2013; Salminen et al., 2012; Waris et al., 2015; Xiu, et al., 2015), sin embargo no hay unanimidad el respecto (Karbach y Verhaeghen, 2014; Minenar et al., 2016; von Bastian y Eschen, 2015). Con el objetivo de aportar información adicional sobre este asunto, en el presente estudio se incluyeron dos grupos de entrenamiento. Uno de ellos realizaba las tareas de entrenamiento utilizando un procedimiento no adaptativo con un nivel de dificultad fijo, mientras que el otro grupo podía entrenar utilizando un procedimiento adaptativo en el que el nivel de dificultad de la tarea se adecuaba a la ejecución del participante.

Considerando los resultados encontrados por otros estudios, se esperaba que el grupo adaptativo mostrara mayores efectos de transferencia respecto al grupo fijo y que estos se mantuvieran un mes después. Además, deberían encontrarse mayores beneficios en el grupo adaptativo no sólo en las tareas más similares a las entrenadas, sino también en otras menos relacionadas como la memoria de trabajo o la inteligencia fluida.



## *Sección experimental*



## **5. SECCIÓN EXPERIMENTAL**

### **5.1. Study 1: Age-related differences in working memory updating components**

Linares, R., Bajo, M. T., & Pelegrina, S. (2016). Age-related differences in working memory updating components. *Journal of Experimental Child Psychology*, *147*, 39-52. doi: 10.1016/j.jecp.2016.02.009



**Abstract**

The aim of this study was to investigate possible age-related changes throughout childhood and adolescence in different component processes of working memory updating: retrieval, transformation and substitution (Ecker, Lewandowsky, Oberauer, & Chee, 2010). A set of numerical WMU tasks was administered to four age groups (8-, 11-, 14- and 21-year-olds). In order to isolate the effect of each of the WMU components, participants performed different versions of a task that included different combinations of the WMU components. The results showed an expected overall decrease in response times and an increase in accuracy performance with age. Most importantly, specific age-related changes in the retrieval component were found, demonstrating that the effect of retrieval on accuracy was larger in children than in adolescents or young adults. These findings indicate that the availability of representations from outside the focus of attention may change with age. Thus, the retrieval component of updating could contribute to the age-related changes observed in the performance of many updating tasks.

*Keywords:* working memory, working memory updating, retrieval in WM, WM development



## **Introduction**

Working memory (WM) is a cognitive system that enables us to maintain and manipulate information (Baddeley, 1983; Cowan, 1999). WM is crucial for optimal cognitive functioning and is necessary in numerous daily activities (Gathercole, 1999). Given the limited capacity of WM, an updating process is needed that quickly allows us to modify the WM content in order to accommodate new information. This updating mechanism is central to the mental architecture (Friedman et al., 2008; Schmiedek, Hildebrandt, Lövdén, Wilhelm, & Lindenberger, 2009) and is involved in numerous cognitive tasks. In fact, updating is the executive function that best predicts fluid intelligence (Friedman et al., 2006) both in older adults (Chen & Li, 2007) and children (Belacchi, Carretti, & Cornoldi, 2010). Updating also plays a role in academic achievement, accounting for individual differences in key areas such as mathematics (Passolunghi & Pazzaglia, 2004; Pelegrina, Capodieci, Carretti, & Cornoldi, 2014), reading (Carretti, Cornoldi, De Beni, & Romanò, 2005; Palladino, Cornoldi, De Beni, & Pazzaglia, 2001), and professional translation (Morales, Gómez-Ariza, & Bajo, 2015).

WM develops from birth and continuously improves throughout childhood and adolescence (Brocki & Bohlin, 2004; Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing, 2004; Huizinga, Dolan, & van der Molen, 2006; Luciana, Conklin, Hooper, & Yarger, 2005; Luna, Garver, Urban, Lazar, & Sweeney, 2004). The ability to efficiently update information in WM also undergoes changes across childhood and adolescence (Huizinga et al., 2006; Kwon, Reiss, & Menon, 2002; Lendínez, Pelegrina, & Lechuga, 2015; Schleepen & Jonkman, 2010; Vuontela et al., 2003). This study aimed to investigate age-related changes in this mechanism focusing specifically on its underlying component processes.

## **Components of updating**

During recent years, proposals have been made to decompose the updating process into more basic constituent components (Bledowski, Kaiser, & Rahm, 2010; Ecker et al., 2010; Zhang, Verhaeghen, & Cerella, 2012). There is consensus about the involvement of an access or retrieval process and a substitution or replacement component. On the basis of a task analysis, Ecker et al. (2010) isolated three specific processes that participate in different tasks: retrieval, transformation and substitution. These authors assumed that these processes would be combined serially. Thus, to update an element in WM, it

has to be selectively retrieved, then a transformation may be applied to this representation, and finally the new information is stored making it available for future operations.

The access or retrieval process consists of accessing information outside the focus of attention in WM. Embedded models of WM (e.g., Cowan, 1995, 1999; Oberauer, 2002) assume that information may be held in different regions of WM depending on its state of activation. The focus of attention constitutes one of the levels proposed by Oberauer's concentric tripartite model (Oberauer, 2002; see also Oberauer, 2009) along with the direct-access region and the activated part of long-term memory. When a WM task is carried out, the relevant information is maintained in the direct-access region until an element is selected for processing in the focus of attention. Thus, any information that is to be updated has to be retrieved in the focus of attention. This region usually holds only a single item or chunk selected from the active elements maintained in the direct-access region. Garavan (1998) showed that there is a temporal cost when accessing one object in WM in order to perform a cognitive operation. This temporal cost is considered the time needed to retrieve the information in the focus (McElree, 2001). Since this early study, similar results have been reported across a variety of experiments (Kessler & Meiran, 2006; Lendínez et al., 2015; McElree, 2001; Oberauer, 2002, 2003; Verhaeghen & Basak, 2005; Voigt & Hagendorf, 2002).

The retrieval process involves searching for a specific representation among different competing elements maintained in the direct-access region of WM. Other information stored in the WM may cause interference and, as a consequence, may lead to incorrect representation selection. Therefore, the success of an adequate retrieval stems from a proper activation process of the target representation and the control of possible interference from other competing representations. As shown by Ecker et al. (2010), retrieval is the component that induces more commission errors and determines to a large extent the accuracy of the responses.

Transformation is another component of WMU that involves applying cognitive operations in order to modify a representation maintained in WM. Given that transformation is mediated by operations that may vary in difficulty, it can be assumed that the more complex the operations, the fewer the resources available to other processes such as retrieval (Garavan, 1998; but see Voigt & Hagendorf, 2002). Ecker et al. (2010) found that conditions which required

transformation determined accuracy more so than other conditions that did not involve this process. This led the authors to conclude that transformation induces a higher variability in updating performance compared with other components.

Substitution could be considered the most distinctive process component of updating. It consists of replacing previous content that is no longer relevant with new information. Kessler and Meiran (2006, 2008) argued that substitution is a selective process that modifies only a subset of elements in WM while preserving the rest of the elements held in WM that must be protected from interference. They found that the more items there are from a set maintained in memory which have to be substituted, the longer it takes to replace this information. The substitution process is also mediated by the similarity between the elements involved in the process. The greater the similarity between the new and to-be-replaced information, the faster the substitution process (Lendínez, Pelegrina, & Lechuga, 2011, 2014). Both findings could be interpreted as updating entailing a selective and partial substitution of elements or representations.

Every time a substitution occurs, the new item has to be integrated with the previously maintained information. Thus, in addition to selective substitution, it is necessary to combine new information with previously maintained representations to create a complex representation (Artuso & Palladino, 2011; Kessler & Meiran, 2008; but also see Kessler & Oberauer, 2014). Ecker et al. (2010) found that substitution only had a small effect on performance, slowing down response times.

### **Age-related differences in WMU**

Studies that have analyzed age-related changes in WMU have shown that performance in updating tasks increases linearly at least until mid-adolescence (Huizinga et al., 2006; Kwon et al., 2002; Pelegrina et al., 2015; Schleepen & Jonkman, 2009; Vuontela et al., 2003). These studies use a variety of tasks that may require to a different extent the involvement of different component processes of WMU.

One of the most widely known updating tasks is the n-back task, in which sequences of items are presented and participants are asked to judge whether the current item matches the one shown n steps back. To do this, they have to continuously access items maintained outside of the focus of attention, and then they have to substitute the oldest item for the most recently presented.

Thus, this task involves both retrieval and substitution component processes. Mature levels in the 1-back task are reached at the end of childhood (10-12 years), whereas at more demanding levels (e.g., 2-back) performance continues to improve well into adolescence (Brahmbhatt, White, & Barch, 2010; Pelegrina et al., 2015; Schleepen & Jonkman, 2010; Vuontela et al., 2003). It is important to note that at 1-back the information to be compared with the new item is still in the focus of attention, whereas at higher levels this information is outside of the focus and consequently retrieval is necessary. Therefore, it could be possible that the different developmental patterns for 1-back and higher task levels may be related, among other factors, to the ability to retrieve information from outside the focus of attention.

Similar to the n-back task, running memory requires both retrieval and substitution components. In this task, the last n elements of a list of unpredictable length have to be recalled. To do so, it is necessary to maintain a string of items that have to be continuously updated by deleting the oldest item and adding the new one. Although the substitution component is inherent to the definition of an updating task, there is some controversy surrounding the fact that it is possible to use passive strategies that do not involve the active substitution of information (Botto, Basso, Ferrari, & Palladino, 2014; Bunting, Cowan, & Saults, 2006; Ruiz, Elosúa, & Lechuga, 2005). Be that as it may, clear age-related differences have also been informed. Lee, Bull, and Ho (2013) used a cohort-sequential design to follow different groups of children from kindergarten through 6th grade over four years on different executive tasks. Improvements in updating performance assessed using a pictorial running memory task were found at all time points. Analogous findings were reported by Tamnes et al. (2010), who administered a version of the running task (letter memory task) to children and adolescents from 8 through 20 years of age. Their results showed a linear increase in performance with age which indicates a late development of the processes necessary to perform the task.

Other WMU tasks include, in addition to substitution and retrieval processes, the transformation of information. For example, in the mental counter task, participants have to keep track of the values of a variable number of counters, increasing or decreasing each counter after certain specific cues (Larson, Merritt, & Williams, 1998). This task requires access to a previously stored number, to apply a transformation to the representation maintained in the memory and to substitute the number for the new result. According to the

results obtained by Huizinga et al. (2006), adult levels of performance are not reached until mid-adolescence.

Other updating tasks require applying some types of operations using the information maintained in WM; this does not, however, entail their transformation. For instance, in the semantic updating task, participants are asked to recall the smallest elements (e.g., objects or animals) in a list. To this end, with each new item, participants have to retrieve the stored items in order to perform a size comparison with the new one; they then need to substitute an object when the new element is smaller. Belacchi et al. (2010) administered this task to children between 5 and 11 years of age and found a linear increase in performance across childhood. Using a similar task, Lechuga, Moreno, Pelegrina, Gómez-Ariza, and Bajo (2006) found no differences in performance between 11-year-old children and adults. On the other hand, Lendínez et al. (2015), employing a task with numerical content that required recalling the smallest numbers at the end of a list, observed age-related changes until mid-adolescence and, more importantly, they were able to identify some differences in the time needed for focus switching. Specifically, young 8- and 11-year-old children took longer to access an element outside the focus than adolescents and young adults.

In sum, a variety of studies using different WMU tasks have shown age-related changes in updating performance. The asymptotic level of performance seems to be reached at different ages from mid to late adolescence depending on the task and the study. It should be pointed out that the previously described tasks were not specifically designed to separate the effect of each of the different components involved in updating. Therefore, the extent to which the underlying processes undergo specific age-related changes that may ultimately impact on general performance remains to be determined.

### **The current study**

The purpose of this study was to assess possible age-related changes in different updating components. To do this, we adopted a strategy similar to that proposed by Ecker et al. (2010), employing a variety of tasks involving different components. Between-task comparisons including (or not) a particular updating component would reveal the effect of this specific component on performance. Possible interactions of these effects with age would inform about age-related changes in the different components. The advantage of this approach is that it can give a more precise account of the specific processes

involved in age differences in updating when compared with the use of conventional updating tasks in which the different components participate to different extents.

To simplify the task proposed by Ecker et al. (2010) and to make it more accessible to children, instead of an alphabetic-numeric operation, we used simple arithmetic operations of addition and subtraction that are practiced extensively during the first years of school. This task is similar to that described by Oberauer, Wendland, and Kliegl (2003) and Salthouse, Babcock, and Shaw (1991). Variations of this general task were designed to include different combinations of updating processes: retrieval (R), transformation (T) and substitution (S). In the RTS task, for each item, participants had to retrieve a number (e.g., 5), apply a simple arithmetic operation to that number (e.g., +1), and substitute the previous number for the result of the operation (e.g., 6). The other versions of the task (RT, TS, T, S) resulted from omitting one or two of the components (see Figure 1). For example, in the RT task, participants had to retrieve one of the memorized numbers and apply an operation (i.e., transform). In the TS task, participants were asked to solve arithmetic operations (e.g., 4+2) and memorize the results. Thus, transformation and substitution were required. In the T task, participants simply had to work out the result of an arithmetic operation (e.g., 4+2) and type it in. Hence, only transformation was needed. Finally, in the S task, participants had to memorize numbers (e.g., 2) as they were presented; therefore, only the substitution component was required (see Figure 1 for an example of each task).

Response times and accuracy for each item making up the different tasks would be recorded. We would expect response times to increase and accuracy to decrease as more updating components are added to the task. Comparisons regarding performance on tasks involving different components would allow us to determine the relative contribution of each particular component. In addition, we would expect to possibly see more pronounced age differences for some of the components. More specifically, given that Ecker et al. (2010) found retrieval to be more prone to capturing individual differences, we would expect age-related differences to more likely appear in tasks involving this component. We would, however, offer no specific predictions about age-related differences in the substitution and transformation components.

## **Method**

### *Participants*

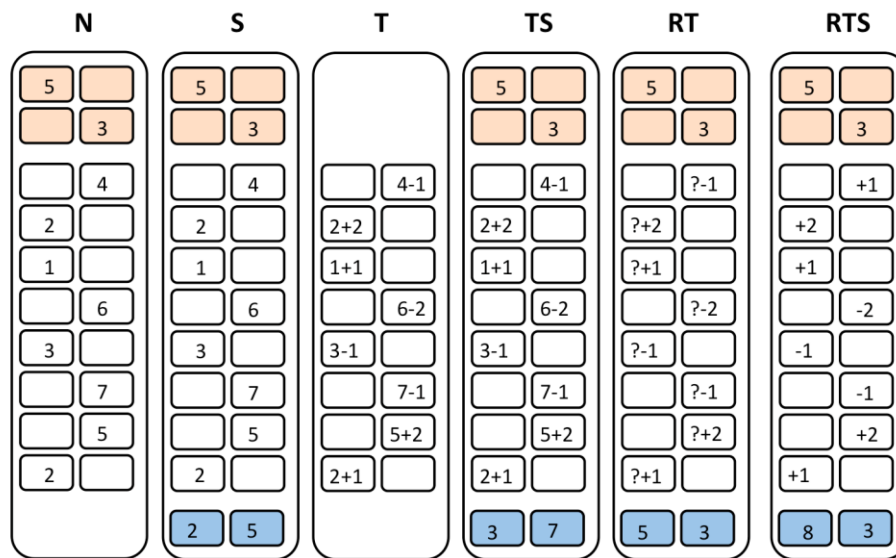
A total of 96 participants belonging to four age groups ( $n=24$  per group) were included in the present study. The first group was composed of 14 boys and 10 girls aged between 8 and 9 years (mean age: 8 years and 6 months). The second group comprised 13 boys and 11 girls aged between 11 and 12 years (mean age: 11 years and 6 months). The third group was composed of adolescents (9 boys and 15 girls) aged between 14 and 15 years (mean age: 14 years and 7 months); and the fourth group was made up of university students (11 men and 13 women) (mean age: 23 years and 6 months). All children and adolescents were recruited from two different local schools. Written informed consent was obtained from university students and parents of the children and adolescents. Children and adolescents assented to participate after being given a description of the tasks. University students were given awarded course credit for their participation.

### *Material and procedure*

Stimuli were presented on a computer with a 15.6 inch color monitor. The presentation of stimuli and the recording of response latencies and responses were controlled using the E-Prime program (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002).

Six tasks were presented as different games. The two initial items in each list were numbers (ranging from 1 to 6), which were displayed on the screen in two rectangular frames or boxes (one on the right and the other on the left, both at the same height). The boxes measured approximately 3.5 x 2.5 cm and were 1.3 cm apart. After the two initial numbers, eight items appeared which varied depending on the task. They could be mathematical operations (+1, -1, +2 and -2), numbers, question marks, or a combination, which were also displayed inside one of the two rectangular frames. These mathematical operations were chosen to ensure that all participants were familiar with them and that they could perform them efficiently. Each item had a 50% probability of being associated with one of the frames. At the end of the list, two empty boxes appeared in which participants had to type the first or last numbers or last results (depending on the task). Once the first number had been entered into the first box and after pressing the ENTER key, the second number had to be typed into the other box.

Each task was labeled with the first letter of the corresponding process name. Thus, R represented the retrieval component; S referred to substitution, and finally, T represented transformation. One task, labeled N, was used for training purposes and did not involve any of the aforementioned updating components. The six tasks were as follows: N, S, T, TS, RT and RTS. Each task had a different background screen, consisting of a picture that framed the boxes. This was intended to help children to better differentiate between the different tasks. Figure 1 gives an example of each of these tasks.



*Figure 1.* Representation of a list of the different tasks and a description of what the participants had to do on each task in the present study. Each rectangle corresponds to a different task whose label is shown at the top. For each task, each row of boxes represents an item and each column of boxes represents a different object or element. The first two rows, colored in orange, represent the initial numbers. The next eight rows, left in white, show study items. The last row, colored in blue, indicates recall items.

The N task was included to familiarize children with the sequence of events and responses in the task and did not involve any updating components. The two initial numbers and eight additional numbers were presented consecutively inside one of the boxes (e.g., 5, 3, ...). The participants had to

type the numbers in using the keyboard. This task was associated with a picture of a treasure chest.

In the S task, the lists comprised two initial and eight additional numbers (e.g., 3, 4, ...). Participants had to memorize the initial numbers, one for each box. Then, when a new number was presented inside a box, they had to replace the old number related to that box with the new one. In order to move onto the next item, they had to type the number that appeared inside the box. At the end of the trial, participants were asked to write down the last two numbers for each box. This task was associated with a picture of a fishbowl.

In the T task, no initial numbers were given. Each of the eight items indicated mathematical operations inside the boxes (e.g.,  $3+2$ ,  $4-1$ , ...). Participants had to enter the result after each operation. No empty boxes came at the end as this task did not require information retrieval. This task was associated with a picture of a gift box.

In the TS task, after the two initial numbers were presented, eight items corresponding to mathematical operations appeared inside each of the boxes (e.g.,  $4+2$ ,  $3-1$ , ...). Participants had to perform mental arithmetic operations and type in the results that had to be memorized. At the end of the list, participants had to recall the last number memorized for each box. This task was associated with a picture of a television.

In the RT task, after the two initial numbers, eight items were presented; these were numerical operations that included a question mark (e.g.,  $?+2$ ,  $?-1$ , ...). Participants had to retrieve the number associated with the box, apply the operation and enter the result. At the end of each list, two empty boxes were presented so that participants could type in the two numbers memorized initially. It should be noted that, because there was no substitution, the numbers maintained in memory did not change over the course of the trials. This task was associated with a picture of a wicker basket.

Finally, in the RTS task, two initial numbers also had to be memorized. After these initial numbers, eight items consisting of arithmetic operations were presented in one of the two boxes (e.g.,  $+2$ ,  $-1$ ). Participants had to retrieve the number associated with the current box, apply the operation, enter the result and memorize the new result in order to use it in subsequent items. Finally, two empty boxes appeared in which the participants had to type in the end results for each box. This task was associated with a picture of a bag of money.

Tasks were organized into two blocks. The complexity of the tasks increased throughout the first block and decreased in the second block. Specifically, the six experimental tasks in the first block were arranged as follows: N, S, T, TS, RT and RTS; in the second block, the opposite order was used: RTS, RT, TS, T, and S. Presenting the simplest tasks at the start of the first session would make it easier for the younger children to understand the procedures. Reversing the order in the second block equates the average serial position in which the tasks are presented. A total of eight lists were constructed for each of the different tasks. Each task included four lists in the first block and the remaining four in the second block. In total, there were 48 experimental and 24 practice trials.

Detailed instructions were given before each task. When the experimenter was confident that the participants had understood the task, and following two practice trials, the experimental task was administered. To prevent fatigue among the younger participants (8 through 12 years), the tasks were administered in two sessions a few days apart. In each session a block was administered that did not exceed 30 minutes. For the remaining two groups (14–15 years and adults), the tasks were administered in a single session lasting approximately 50 minutes.

## **Results**

Two sets of analyses were performed to determine the effect of the different updating components on accuracy and response times. It was not possible to perform a complete factorial design because not all combinations of components were used to devise a task. For instance, the combination RS (retrieval and substitution) did not make practical sense, given that it would require retrieving a number and immediately (without transformation) memorizing the same number. Nonetheless, the two sets of analyses allowed us to determine the effects of each component on response times and accuracy. The first set examined the effects of retrieval and substitution, whereas the second set was carried out to assess the effect of transformation. Descriptive statistics for each dependent variable in each task are shown in Tables 1 and 2. In order to analyze response times, a log transformation was applied to convert proportional differences in response time due to general slowing with age into additive differences (Cerella, 1990).

*Retrieval and substitution**Accuracy*

A 4 x (2 x 2) mixed analysis of variance (ANOVA) was performed on accuracy, with age group (8-, 11-, 14-years and adults) as the between-subject factor and retrieval (retrieval vs. no retrieval) and substitution (substitution vs. no substitution) as within-subject factors. Thus, the following tasks (with their corresponding conditions in parentheses) were included in the analysis: T (no retrieval and no substitution); TS (no retrieval and substitution); RT (retrieval and no substitution); and RTS (retrieval and substitution). It should be noted that all these tasks involved the transformation component but varied on whether or not the retrieval component was involved (RT&RTS vs. T&TS) and whether or not the substitution component was involved (TS&RTS vs. T&RT). Table 1 shows accuracy percentage for items on each task<sup>1</sup>.

Table 1

*Mean and standard deviations for accuracy percentage for items on each task as a function of age group*

	S		T		TS		RT		RTS	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
8-year-olds	96.42	5.35	96.50	5.39	96.00	5.41	65.96	25.38	59.87	24.33
11-year-olds	99.25	1.11	97.29	2.54	97.42	2.60	78.25	25.01	74.29	24.66
14-year-olds	99.33	1.31	97.08	2.52	96.54	2.47	85.67	10.61	73.00	15.02
Adults	99.67	0.76	97.88	2.31	98.54	1.89	94.25	5.83	86.21	15.88

The main effects of retrieval,  $F(1, 92) = 148.61, p < .001, \eta_p^2 = .62$ , substitution,  $F(1, 92) = 13.47, p < .001, \eta_p^2 = .13$ , and age group,  $F(3, 92) = 10.72, p < .001, \eta_p^2 = .26$ , were significant. The interaction between retrieval and substitution was also significant,  $F(1, 92) = 12.80, p = .001, \eta_p^2 = .12$ . Further unifactorial ANOVAs showed that when retrieval was not required, the effect of substitution did not reach significance,  $F(1, 92) = .02, p = .895, \eta_p^2 = .00$ . However, the substitution effect was significant when the information had

to be retrieved,  $F(1, 92) = 13.81, p < .001, \eta_p^2 = .13$ , indicating that accuracy was higher in the RT (81%) than in the RTS task (73%).

More important, a significant interaction between retrieval and age group was also found. In addition, the crucial interaction between the linear trend for age group and retrieval was significant,  $F(1, 92) = 28.09, p < .001, \eta_p^2 = .23$ . To analyze this interaction, the T and TS<sup>1</sup> tasks were combined to determine the effect of age when retrieval was not required and the RT and RTS tasks when it was. An age-trend analysis for each retrieval level indicated a small but significant increase in performance with age when retrieval was not required (*Meandiff* = 2%),  $F(1, 92) = 6.15, p = .015, \eta_p^2 = .06$ . There was a more pronounced linear trend with age when retrieval was involved,  $F(1, 92) = 29.33, p < .001, \eta_p^2 = .24, (Meandiff = 27\%)$ . Post hoc analyses showed that when retrieval was not required the only significant difference was between the extreme age groups: 8-year-olds and adults ( $p = .048$ ). In contrast, when retrieval was necessary there were differences between 8-year-olds and all groups (11-year-olds,  $p = .044$ ; 14-year-olds,  $p = .007$ ; and adults,  $p < .001$ ) and between 11-year-olds and adults ( $p = .031$ ).

#### *Response times*

Similarly, a mixed analysis of variance  $4 \times (2 \times 2)$  ANOVA was performed on log-transformed times, with age group (8-, 11-, 14-years and adults) as the between-subject factor and retrieval (retrieval vs. no retrieval) and substitution (substitution vs. no substitution) as the within-subject factors. Data pertaining to five children in the 8-year-old group, five in the 11-year-old group, three in the 14-year-old group and two in the adult group were eliminated from this analysis, because after excluding incorrect lists, there were not enough observations for some conditions. Participants were included in the time analyses if they produced at least one correct list for each task. This criterion would therefore involve a minimum of 8 observations per condition per participant. The mean number of observations per condition varied from 42 (8 year-olds) to 56 (younger adults). In this analysis, response times from

---

<sup>1</sup> To rule out the possibility that part of the results were due to ceiling effects in some conditions, we tested the accuracy of each group on each task against ceiling (100) using a set of one-sample t tests. For all tasks, accuracy was below perfect performance, all  $ps < .05$ .

practice lists and those from incorrectly recalled lists were excluded (20% incorrect lists). Table 2 shows response times for items from each task.

Table 2

*Mean and standard deviations for response times (ms) for items on the different tasks as a function of age group*

	S		T		TS		RT		RTS	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
8-year-olds	2042	547	2744	767	3595	1034	4439	1513	3601	1518
11-year-olds	1360	326	1635	456	2046	454	2753	764	2600	1133
14-year-olds	1223	263	1457	230	1973	454	2551	504	2476	551
Adults	1052	253	1260	258	1621	427	2055	534	1895	521

The analysis showed the main effects of retrieval,  $F(1, 77) = 114.42$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .60$ , and substitution  $F(1, 77) = 25.66$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .25$ . These effects were qualified by the interaction between retrieval and substitution,  $F(1, 77) = 146.97$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .66$ . To analyze this interaction, two unifactorial ANOVAs with substitution as the within-subject factor were run for each retrieval condition. Substitution did not reach significance when retrieval was not required (T vs. TS),  $F(1, 91) = 2.99$ ,  $p = .087$ ,  $\eta_p^2 = .03$ , but it was significant when the information had to be retrieved (RT vs. RTS),  $F(1, 77) = 15.06$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .16$ . Unexpectedly, response times were longer in the RT condition ( $M = 2925$ ), where there was no need to substitute the information, than in the RTS condition ( $M = 2623$ ) where substitution was required.

The main effect of age group was also significant. A trend analysis revealed a significant linear component for age,  $F(1, 77) = 83.43$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .52$ , which explained 81.42% of the variance. The quadratic component,  $F(1, 77) = 13.25$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .15$ , and cubic component,  $F(1, 77) = 5.78$ ,  $p = .019$ ,  $\eta_p^2 = .07$ , also reached the significance level, accounting for 12.84% and 5.74% of the variance, respectively. An examination of response times indicated that 11-year-olds and 14-year-olds showed similar response times ( $p = 1$ ), while 8-year-olds and adults differed from all groups ( $p < .001$  for all comparisons,

except for those between adults and 11-year-olds,  $p = .002$ , and between adults and 14-year-olds,  $p = .014$ ).

In sum, both retrieval and substitution influenced response times and accuracy. As expected, faster response times and more accurate responses were obtained as the age of the participants increased. Particularly important was the finding that the effect of retrieval on accuracy showed age-related differences, demonstrating that the retrieval requirements had a large effect at younger ages, whereas substitution did not.

### *Transformation*

#### *Accuracy*

To determine a possible age-related effect on the transformation component, an analysis with the S and TS tasks as within-participant factors and age as a between factor was performed on accuracy scores. In this analysis, the main effect of transformation was found to be significant, which indicated that when transformation was required, the percentage of correct answers was slightly lower (97%) than when transformation was not necessary (99%). The main effect of age group turned out to be significant. A trend analysis revealed a significant linear component,  $F(1, 92) = 15.57$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .14$ , explaining 71.26% of the total variance, and a cubic component for age,  $F(1, 92) = 4.03$ ,  $p = .048$ ,  $\eta_p^2 = .04$ , which accounted for 18.43% of the variance.

#### *Response times*

An analogous analysis including the S and TS tasks as within-participant factors and age as a between factor was run on log-transformed times. In this analysis, the main effect of transformation was found to be significant, which indicated that when transformation was necessary, response times were longer ( $M = 2327$ ) than when there was no transformation ( $M = 1417$ ). The main effect of age group was also significant. A trend analysis revealed a significant linear component,  $F(1, 91) = 20.38$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .18$ , explaining 55.34% of the variance; a quadratic component,  $F(1, 91) = 9.10$ ,  $p = .003$ ,  $\eta_p^2 = .09$ , accounting for 24.81% of the variance; and a cubic component for age,  $F(1, 91) = 7.31$ ,  $p = .008$ ,  $\eta_p^2 = .07$ , explaining 19.85% of the variance.

In short, transformation produced an increase in response times and a decrease in accuracy. The analyses revealed a main age effect, although no interaction with age was found.

## **Discussion**

This study sought to determine possible age-related trends in different WMU component processes. To achieve this, a set of tasks was devised to assess possible age-related differences in each of the WMU components. In line with Ecker et al. (2010), all WMU components had effects on response times and accuracy. As expected, a decrease in response times and an increase in accuracy performance were found with age. More importantly, only the retrieval component had an effect on performance that was related to age.

### *Retrieval*

Results confirmed that retrieval has a considerable effect both on WMU accuracy and response times, consistent with that reported by Ecker et al. (2010). In the present study, retrieval was needed to access the information stored outside the focus in order to apply a numerical operation. Importantly, age-related differences were observed in the retrieval process. Eight-year-old children showed lower accuracy than the other groups and there were also differences between the 11-year-old and adult groups. McElree (2001) drew a distinction between the effects of accessing information outside the focus on accuracy and response times. Retrieval accuracy would tap the availability of an item outside the focus, whereas response times would be an index of accessibility reflecting how fast the item is accessed. The reported finding suggests that some changes related to the retrieval process take place after childhood. More specifically, when items must be retrieved from outside the focus, they become more available adolescents or young adults than to children.

There are some, not mutually exclusive, possible reasons underlying the observed age-related trend in availability. One possibility is that young children are less able to select items accurately from outside the focus. Access to an element outside the focus involves activating both its content (e.g., a numerical value) and its context. The context may consist of diverse cues related to an element, such as the spatial location in which the information appeared. Thus, each time a new item is presented, its content as well as its context must be bound so that they are both accessed at the time of retrieval (Oberauer & Bialkova, 2009, Oberauer, 2013). In the task used in this study, children had to bind a numerical value to a frame located in a specific position. It is possible that young children are less able to retrieve this integrated representation using the context. There is evidence to support that the binding mechanism necessary for the formation and retrieval of complex representations in short-term

memory undergoes developmental changes up to adulthood. For instance, Cowan, Saults, and Morey (2006) found that young children (e.g., 8-year-olds) showed less accuracy than adults in a STM task that required binding names and location. Similarly, Fandakova, Sanders, Werkle-Bergner, and Shing (2014) reported that young children were less able to learn and retrieve associations between letters and positions in comparison with adolescents and younger adults.

The age-related trends shown for availability could also be due to differences when it comes to maintaining information outside the focus. Information suffers from interference when it leaves the focus of attention. Thus, it is possible that young children are more susceptible to certain types of interference in WM. Recently, Göthe, Esser, Gendt, and Kliegl (2012) and Rodriguez-Villagra, Göthe, Oberauer, and Kliegl (2013) tested an interference model to account for developmental trends in WM performance that included parameters for two types of interference in WM: 1) overwriting between simultaneously held elements, and 2) confusion among items at retrieval. Both studies found that only the latter type of interference showed age-related differences. Thus, developmental differences in susceptibility to interference due to confusion among items may contribute to age-related differences in availability observed in the present study.

The current results can be added to those obtained with older adults to provide a broader picture of the age-related changes in accessing information in WM. Previous studies have shown that the availability of information may be particularly affected in older adults. They seem to be less accurate when accessing representations that are not active (Basak & Verhaeghen, 2011; Dorbath, Hasselhorn, & Titz, 2011; Dorbath & Titz, 2011; Oberauer et al., 2003; Vaughan, Basak, Hartman, & Verhaeghen, 2008; Verhaeghen & Basak, 2005; Verhaeghen & Hoyer, 2007). Overall, it could be suggested that representations tend to be less available to both children and older adults in comparison to younger adults.

In contrast to the age-related differences seen in availability, analogous differences in accessibility were not present. Such a possibility, however, should not be excluded. Lendínez et al. (2015) reported that younger children spent comparatively more time than adolescents and younger adults in accessing information maintained outside the focus of attention. Differences between the two studies may reside in the type of task used. The

aforementioned authors used a numerical comparison-updating task more than appropriate for obtaining differences in the time domain, although it did not allow for collecting data on accuracy. In contrast, the set of tasks selected for the present study has the reciprocal advantage of enabling us to obtain precise information about accuracy.

### *Substitution*

The substitution component had only a modest effect on both response times and accuracy. In the tasks used in this study, substitution was required each time a number had to be replaced because it had become obsolete. When a number has to be substituted, a selective replacement must be carried out in which part of the information (i.e., a number) has to be replaced, while the rest (i.e., the other number) remain unmodified. The new number must also be bound to the other elements (Artuso & Palladino, 2011, 2014; Kessler & Meiran, 2008; but see Kessler & Oberauer, 2014).

Substitution had a different effect on response times and accuracy depending on whether the retrieval component was involved. On the one hand, in those tasks that did not require retrieval of information (TS and T), substitution did not affect performance. On the other hand, when retrieval was required, substitution contributed to the decrease in accuracy, but unexpectedly more time was spent on the RT than on the RTS task. It is possible that in the RT task, after performing each operation, participants engaged in attentional refreshing or rehearsal to reactivate the initial numbers that had to remain unchanged. It is also possible that both the initial number and the result of the operation (that once typed becomes no longer relevant) would interfere. Thus, in the RTS task, reactivation of the number would not be required because it is in the focus, and given that this is the number to store there would be no interference. Although further research is needed to clarify this pattern, it seems clear that the substitution component imposes, at the very most, only modest cognitive demands (see also Ecker et al., 2010).

Children's performance on these tasks was affected by substitution requirements to the same extent as that of younger adults. Lendínez et al. (2015) compared response times in two conditions which differed on whether information should or should not be substituted. Much like the result obtained in the present study, they did not find differences among eight-year-olds and young adults. Therefore, evidence from different tasks suggests that the

substitution process performed either alongside retrieval or separately does not undergo changes within the age ranges considered.

### *Transformation*

As for the transformation component, the results of this study indicate that this process seems to be the most time-consuming component, in line with the results obtained by Ecker et al. (2010). Performing a transformation involves a dual process, given that it requires manipulating and maintaining some information. The transformation effect on accuracy was, however, rather modest. This indicates that the young children in this study were proficient in the simple arithmetic operations used in this task. The age pattern obtained may be explained by domain-general developmental processes (e.g., increase in processing speed with age, Kail, 1991).

### *Conclusions*

Accessing information outside the focus is a critical process necessary to perform numerous WMU or WM tasks. For example, in the reading span and operation span tasks, the last words or numbers of a variable number of trials have to be retrieved in the same order of presentation. Similarly, the majority of updating tasks such as the n-back, running task, and keeping track require one to constantly access information outside the focus. Then, age differences in the ability to retrieve information might be a source of the age trends reported in numerous studies that have assessed children's performance on updating tasks (Brahmbhatt, White, & Barch, 2010; Huizinga et al., 2006; Pelegrina et al., 2015; Schleepen & Jonkman, 2009; Vuontela et al., 2003).

The obtained age-related trend fits well with current evidence that individual differences in WM capacity are also related to retrieval efficiency. Unsworth and Engle (2008) found individual differences both in the speed and accuracy of accessing information from outside the focus. However, only retrieval accuracy and not speed of retrieval was related to both WM span and fluid intelligence. The aforementioned authors argued that the low recall accuracy showed by low-ability individuals may lie in the difficulty of differentiating target and non-target representations. Along the same lines, Ecker et al. (2010) reported that individuals with low WM capacity were less able to correctly retrieve the information. They suggested that these people might experience more interference between representations maintained in WM.

Access to the to-be-replaced information is critical in complex cognitive tasks where information has to be constantly updated. For instance, retrieval is required to solve multi-digit operations; to select and modify relevant information during reading; and to understand driving directions. Thus, the developmental trends observed in complex tasks across many different areas (e.g., reading comprehension, numerical cognition, problem solving) may be related to the ability to accurately retrieve information during updating.

In conclusion, remarkable age-related differences in WMU have been observed in this study on accessing information outside the focus. This pattern suggests that retrieval accuracy underlies not only individual differences in WM, but also age-related differences. We did not find age differences in the substitution and transformation processes. Given that we only tested children over eight years of age, it would be interesting to investigate how younger children perform tasks involving this process. This could provide us with relevant information about the possible earlier development of these components.

#### **Author Note**

The research reported here was supported by a grant from the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness to the last author (PSI2012-37764).

The experiment reported in this paper was part of the first author's Doctoral Thesis.

#### **References**

- Artuso, C., & Palladino, P. (2011). Content–context binding in verbal working memory updating: On-line and off-line effects. *Acta Psychologica, 136*(3), 363-369.
- Artuso, C., & Palladino, P. (2014). Binding and content updating in working memory tasks. *British Journal of Psychology, 105*(2), 226-242.
- Baddeley, A. D. (1983). Working memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 302*(1110), 311-324.
- Basak, C., & Verhaeghen, P. (2011). Aging and switching the focus of attention in working memory: age differences in item availability but not in item

accessibility. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*. doi: 10.1093/geronb/gbr028

- Belacchi, C., Carretti, B., & Cornoldi, C. (2010). The role of working memory and updating in Coloured Raven Matrices performance in typically developing children. *European Journal of Cognitive Psychology*, 22(7), 1010-1020.
- Bledowski, C., Kaiser, J., & Rahm, B. (2010). Basic operations in working memory: contributions from functional imaging studies. *Behavioral Brain Research*, 214(2), 172-179.
- Botto, M., Basso, D., Ferrari, M., & Palladino, P. (2014). When working memory updating requires updating: Analysis of serial position in a running memory task. *Acta Psychologica*, 148, 123-129.
- Brahmbhatt, S. B., White, D. A., & Barch, D. M. (2010). Developmental differences in sustained and transient activity underlying working memory. *Brain Research*, 1354, 140-151.
- Brocki, K. C., & Bohlin, G. (2004). Executive functions in children aged 6 to 13: A dimensional and developmental study. *Developmental Neuropsychology*, 26(2), 571-593.
- Bunting, M., Cowan, N., & Saults, J. S. (2006). How does running memory span work? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(10), 1691-1700.
- Carretti, B., Cornoldi, C., De Beni, R., & Romanò, M. (2005). Updating in working memory: A comparison of good and poor comprehenders. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91(1), 45-66.
- Cerella, J. (1990). Aging and information-processing rate. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 201-221). San Diego: Academic Press.
- 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.
- Cowan, N. (1995). *Attention and memory: an integrated framework*. New York: Oxford University Press.

- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62-101). New York: Cambridge University Press.
- Cowan, N., Saults, J. S., & Morey, C. C. (2006). Development of working memory for verbal-spatial associations. *Journal of Memory and Language*, 55(2), 274-289.
- Dorbath, L., Hasselhorn, M., & Titz, C. (2011). Aging and executive functioning: a training study on focus-switching. *Frontiers in Psychology*, 2.
- Dorbath, L., & Titz, C. (2011). Dissociable age effects in focus-switching: Out of sight, out of mind. *GeroPsych: The Journal of Gerontopsychology and Geriatric Psychiatry*, 24(2), 103-109.
- Ecker, U. K., Lewandowsky, S., Oberauer, K., & Chee, A. E. (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.
- Fandakova, Y., Sander, M. C., Werkle-Bergner, M., & Shing, Y. L. (2014). Age differences in short-term memory binding are related to working memory performance across the lifespan. *Psychology and Aging*, 29(1), 140-149.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, 17(2), 172-179.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137(2), 201-225.
- Garavan, H. (1998). Serial attention within working memory. *Memory & Cognition*, 26(2), 263-276.
- Gathercole, S. E. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(11), 410-419.

- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology, 40*(2), 177-190.
- Göthe, K., Esser, G., Gendt, A., & Kliegl, R. (2012). Working memory in children: Tracing age differences and special educational needs to parameters of a formal model. *Developmental Psychology, 48*(2), 459-476.
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia, 44*(11), 2017-2036.
- Kail, R. (1991). Developmental change in speed of processing during childhood and adolescence. *Psychological bulletin, 109*(3), 490-501.
- 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.
- Kessler, Y., & Meiran, N. (2008). Two dissociable updating processes in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 34*(6), 1339-1348.
- 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), 738-754.
- Kwon, H., Reiss, A. L., & Menon, V. (2002). Neural basis of protracted developmental changes in visuo-spatial working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 99*(20), 13336-13341.
- Larson, G. E., Merritt, C. R., & Williams, S. E. (1988). Information processing and intelligence: some implications of task complexity. *Intelligence, 12*, 131-147.
- Lechuga, M. T., Moreno, V., Pelegrina, S., Gómez-Ariza, C. J., & Bajo, M. T. (2006). Age differences in memory control: Evidence from updating and retrieval-practice tasks. *Acta Psychologica, 123*(3), 279-298.

- Lee, K., Bull, R., & Ho, R. M. (2013). Developmental changes in executive functioning. *Child Development, 84*(6), 1933-1953.
- Lendínez, C., Pelegrina, S., & Lechuga, T. (2011). The distance effect in numerical memory-updating tasks. *Memory & Cognition, 39*(4), 675-685.
- Lendínez, C., Pelegrina, S., & Lechuga, M. T. (2014). The role of similarity in updating numerical information in working memory: Decomposing the numerical distance effect. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 67*(1), 16-32.
- Lendínez, C., Pelegrina, S., & Lechuga, M. T. (2015). Age differences in working memory updating: The role of interference, focus switching and substituting information. *Acta Psychologica, 157*, 106-113.
- Luciana, M., Conklin, H. M., Hooper, C. J., & Yarger, R. S. (2005). The development of nonverbal working memory and executive control processes in adolescents. *Child Development, 76*(3), 697-712.
- Luna, B., Garver, K. E., Urban, T. A., Lazar, N. A., & Sweeney, J. A. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child Development, 75*(5), 1357-1372.
- McElree, B. (2001). Working memory and focal attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 27*(3), 817-835.
- Morales, J., Yudes, C., Gómez-Ariza, C. J. & Bajo, M. T. (2015). Bilingualism modulates dual mechanisms of cognitive control: Evidence from ERPs. *Neuropsychologia, 66*, 157-169.
- 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.
- Oberauer, K. (2003). Selective attention to elements in working memory. *Experimental Psychology, 50*(4), 257-269.
- Oberauer, K. (2009). Design for a working memory. *Psychology of Learning and Motivation, 51*, 45-100.
- Oberauer, K. (2013). The focus of attention in working memory—from metaphors to mechanisms. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*.

- Oberauer, K., & Bialkova, S. (2009). Accessing information in working memory: can the focus of attention grasp two elements at the same time? *Journal of Experimental Psychology: General*, *138*(1), 64.
- Oberauer, K., Wendland, M., & Kliegl, R. (2003). Age differences in working memory—The roles of storage and selective access. *Memory & Cognition*, *31*(4), 563-569.
- Palladino, P., Cornoldi, C., De Beni, R., & Pazzaglia, F. (2001). Working memory and updating processes in reading comprehension. *Memory & Cognition*, *29*(2), 344-354.
- Passolunghi, M. C., & Pazzaglia, F. (2004). Individual differences in memory updating in relation to arithmetic problem solving. *Learning and Individual Differences*, *14*(4), 219-230.
- Pelegriana, S., Capodiceci, A., Carretti, B., & Cornoldi, C. (2014). Magnitude representation and working memory updating in children with arithmetic and reading comprehension disabilities. *Journal of Learning Disabilities*. doi: 10.1177/0022219414527480
- Pelegriana S., Lechuga M. T., García-Madruga J. A., Elosúa M. R., Macizo P., Carreiras M., & Bajo M. T. (2015). Normative data on the n-back task for children and young adolescents. *Frontiers in Psychology*, *6*. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01544
- Rodríguez-Villagra, O. A., Göthe, K., Oberauer, K., & Kliegl, R. (2013). Working memory capacity in a go/no-go task: Age differences in interference, processing speed, and attentional control. *Developmental Psychology*, *49*(9), 1683-1696.
- Ruiz, M., Elosúa, M. R., & Lechuga, M. T. (2005). Old-fashioned responses in an updating memory task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *58*(5), 887-908.
- 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.
- Schleepen, T. M., & Jonkman, L. M. (2009). The development of non-spatial working memory capacity during childhood and adolescence and the role of interference control: An n-back task study. *Developmental Neuropsychology*, *35*(1), 37-56.

- Schmiedek, F., Hildebrandt, A., Lövdén, M., Wilhelm, O., & Lindenberger, U. (2009). Complex span versus updating tasks of working memory: the gap is not that deep. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *35*(4), 1089-1096.
- Schneider, W., Eshman, A., & Zuccolotto, A. (2002). E-prime 2.0 user's guide. Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh.
- Tamnes, C. K., Østby, Y., Fjell, A. M., Westlye, L. T., Due-Tønnessen, P., & Walhovd, K. B. (2010). Brain maturation in adolescence and young adulthood: regional age-related changes in cortical thickness and white matter volume and microstructure. *Cerebral Cortex*, *20*(3), 534-548.
- 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.
- Vaughan, L., Basak, C., Hartman, M., & Verhaeghen, P. (2008). Aging and working memory inside and outside the focus of attention: Dissociations of availability and accessibility. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *15*(6), 703-724.
- Verhaeghen, P., & Basak, C. (2005). Ageing and switching of the focus of attention in working memory: Results from a modified N-Back task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, *58*(1), 134-154.
- Verhaeghen, P., & Hoyer, W. J. (2007). Aging, focus switching, and task switching in a continuous calculation task: evidence toward a new working memory control process. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *14*(1), 22-39.
- Voigt, S., & Hagendorf, H. (2002). The role of task context for component processes in focus switching. *Psychological Test and Assessment Modeling*, *44*(2), 248-274.
- Vuontela, V., Steenari, M. R., Carlson, S., Koivisto, J., Fjällberg, M., & Aronen, E. T. (2003). Audiospatial and visuospatial working memory in 6–13 year old school children. *Learning & Memory*, *10*(1), 74-81.

Zhang, Y., Verhaeghen, P., & Cerella, J. (2012). Working memory at work: How the updating process alters the nature of working memory transfer. *Acta Psychologica*, *139*(1), 77-83.

**5.2. Study 2: Focus switching in working memory: the roles of context access and content retrieval**

Linares, R. & Pelegrina, S. (2016) *Focus switching in working memory: the roles of context access and content retrieval*. Unpublished manuscript.



**Abstract**

This study examined the contribution of context access (e.g., cues to retrieve information) and content retrieval (e.g., numerical information) to the focus-switching cost. Three experiments were carried out in which object switching, content retrieval and alternating between retrieval operations were manipulated. The main result was that content retrieval required time over and above that needed to access the object. This finding supports that contexts and their contents may be accessed independently when an object is brought into the focus. Furthermore, a considerable retrieval cost was observed when the retrieval operation switched – even when the object was repeated. This may mean that the retrieval operation has to be bound to the object – to which it is to be applied – before the content can be retrieved in the focus of attention.

*Keywords:* focus switching, object switching, retrieval, task switching, working memory, working memory updating



## **Introduction**

Focus switching is a process that enables information maintained in WM to be activated in the focus of attention of working memory (WM). The focus of attention is the region of WM in which the information is immediately accessible for cognitive operations. Only a very restricted subset of elements maintained in WM may be in the focus of attention at any given time. Indeed, many authors argue that only one item representation can be held in the focus (Garavan, 1998; Gilchrist & Cowan, 2011; McElree, 2006; Oberauer, 2002; but see also Oberauer, 2013;). This severely limited capacity calls upon a mechanism that quickly and accurately switches information in and out of the focus. This focus-switching mechanism has been considered an executive control process independent from other processes such as updating and task switching (Verhaeghen & Hoyer, 2007). The present study aimed to better understand how information is retrieved in the focus of attention.

Activating an object in the focus, or switching from one element to another, takes time. Garavan (1998) demonstrated this time cost using a dual-counter task that required participants to keep a running count of a sequence of triangles and rectangles that were presented randomly. When the same figure was repeated in two successive trials (e.g., triangle followed by triangle), response times for increasing the counter were around 500 ms slower than when different figures were presented consecutively (e.g., rectangle followed by a triangle). The author interpreted this object-switching effect as a consequence of the attentional shifting from one element in WM to another. Subsequently, this switching cost has been evidenced in numerous studies (e.g., Oberauer, 2001, 2003; Verhaeghen, Cerella, & Basak, 2004).

Following on from Garavan's early work, some research has been undertaken to isolate different components at play in the object-switching effect. Oberauer (2003) investigated whether updating and selective access to objects contributed separately to the focus-switching effect. Across two experiments, participants were asked to apply arithmetic operations (e.g., +1) to digits associated with different objects in WM without updating their values. Given that the information had to be accessed but not updated, the extra time required when accessing a different element was interpreted as the cost for switching the focus of attention between objects in WM. In a further experiment, the task involved solving simple operations (e.g.,  $5 - 2$ ) whose results came to replace previous values associated with the corresponding

element in WM. A switching effect was also observed in this task which required updating but not access to any information in WM. The time cost in this case had to be attributed to other processes that included: bringing the representation about the position of the object into the focus of attention or binding the element active in the focus to its context (e.g., spatial location, serial order position) in WM.

A relevant issue in explaining the focus-switching mechanism is how objects in WM are accessed. Objects in WM may be considered composites of two different types of information: contexts and contents. Contexts refer to any cues – spatial locations, colours, serial positions, etc. – that may serve to address the contents. Meanwhile, contents are information associated with an object (e.g., numerical representations) to which cognitive operations can be applied. Some studies have examined how access to the context and retrieval of the content might influence focus switching.

Access to the context is essential in these types of tasks. Usually a stimulus or specific features of the stimuli (e.g., shape, colour, location, serial position) are used as cues to identify the appropriate object in WM. Gehring, Bryck, Jonides, Albin, and Badre (2003) observed that two different cues can be used to access the same object. This means that the same content may be addressed by different contexts. The authors also demonstrated that, in a conventional task where an object is related to a single context, the repetition of the cue in the non-switching trials speeds up response times through a priming effect of the stimuli's physical attributes. Therefore, this priming effect may contribute to the switching cost. Indeed, Li et al. (2006) calculated that this facilitation represents a noticeable fraction (1/5) of the object-switching cost.

The nature or type of context may affect focus switching. Verhaeghen et al. (2004; see also Verhaeghen & Basak, 2005) studied object switching by using the n-back task, comparing 1-back (no switching) and 2-back (switching) performance. They developed a modified n-back task in which information was presented in columns, thus making it easier to identify the position of each item in comparison to the conventional task. The switching cost was found to be lower in the modified task than in the standard n-back task (Vaughan, Basak, Hartman, & Verhaeghen, 2008). This suggests that some information conveyed by the cue may facilitate content access.

The content has also proved to contribute to the focus-switching effect. Schwager and Hagendorf (2009) showed that focus switching is determined by

the task goal and ultimately by the information required to perform the task. Thus, the switching cost may change depending on the informative demand of the task. In their study, one condition called upon participants to retrieve a number and use its semantic features (e.g., numerical magnitude), whereas another condition made it possible to use only phonological information. Results showed that when the task required the retrieval of more complex information related to the object (e.g., semantic), the object-switching cost was larger than when the task could be executed with comparatively more superficial information (e.g., phonological), even when both conditions involved the same numbers. Therefore, content access seems to influence the focus-switching process.

### **Decomposing the object switch**

Previous studies have shown how factors related to both context access and content retrieval influence the speed with which an object is activated in the focus of attention. However, it is unclear whether both processes operate simultaneously or sequentially. In this regard, Bialkova and Oberauer (2010) put forward two alternatives. First, context and content are bound, which involves so that context access simultaneously entails content retrieval. In this case, content retrieval would not incur an additional time cost. Second, context is accessed first and then serves as a cue to retrieve the content. Thus, accessing a representation would involve two steps: context access followed by content retrieval. If this occurs, both processes would, to some extent, contribute separately to determining the focus-switching cost.

To investigate this matter further, Bialkova and Oberauer (2010) used an arithmetic task in which three initial numbers were presented in three different colours that participants should hold in WM. Different arithmetic operations were then displayed in one of the three colours. Participants had to perform the operation and memorize the result associated with each colour in anticipation of having to use it in the next operation. Two types of operations were performed: complete (e.g.,  $4 + 1$ ), which only involved context access, and incomplete (e.g.,  $+ 1$ ), which required both context access and content retrieval. The authors found that both conditions took the same time. Therefore, content retrieval did not appear to imply an additional cost to be added to context access.

Despite the evidence, there has been little examination of this issue. Linares, Bajo, and Pelegrina (2016) administered an arithmetic updating task to

different groups of children and adolescents. Although the task was designed to only manipulate content retrieval, an incidental analysis covering context access and content retrieval revealed that both factors had a separate effect on response times. From these interim results, it would appear that both factors contribute separately to the focus-switching process. It is necessary, however, to take this further in a study specifically designed to address this particular issue.

### **The present study**

The goal of the present study was to reinvestigate whether object switching can be decomposed into two processes. In these experiments, we used an adapted version of the numerical updating task devised by Bialkova and Oberauer (2010). Initially, participants were asked to memorize two digits associated with two figures. They then had to apply different arithmetic operations that would appear inside of one of the figures and use the result to update the digit of the corresponding figure. There were incomplete operations (e.g.,  $\cdot + 1$ ), which required access to the content, and complete operations (e.g.,  $3 + 1$ ), which enabled participants to perform the operation without having to access the content. In addition, there were object repetitions and switches depending on whether the figure was the same as or different to the previous one.

In this task, as with those used by Oberauer (2003) and Bialkova and Oberauer (2010), frequent switches took place between the two types of retrieval operations instantiated by complete and incomplete operations. This could induce a task-switching effect; in other words, repeating the same retrieval operation would take less time than using a different type of operation in two consecutive items. Taking into account the alternation between retrieval operations may prove important given that previous research has shown how task switching interacts with object switching. Specifically, the object-switching cost is smaller in task-switching trials than in non-switching trials, at least when the mapping between cues and objects or tasks remains the same across trials (Risse & Oberauer, 2009; Verhaeghen & Basak, 2005; but see Verhaeghen & Hoyer, 2007). This suggests that the two switching processes or some of their components can be partially executed in parallel.

Given the previously observed interaction pattern between object switching and task switching, we administered simple lists featuring both types of operations separately. In addition, and in line with earlier experiments by Bialkova and Oberauer (2010), we included mixed lists that covered both types

of operations. Thus, content retrieval and object-switching costs could be analyzed in both presence and absence of retrieval operation switches. We expected to find an object-switching effect that would produce underadditive interactions with task switching in line with previous studies (Risse & Oberauer, 2009; Verhaeghen & Basak, 2005). Specifically, the object-switching cost should be higher when the retrieval task is repeated than when the retrieval task is different to the previous one.

Regarding the issue most relevant to the present study, namely the effect of content retrieval, two possibilities were considered (see Bialkova and Oberauer, 2010). The first alternative posits that context and content are accessed simultaneously. Once the context is accessed, the retrieval effect would be absent; in other words, incomplete and complete operations would take the same time. The second possibility is that content retrieval occurs after context access. In this case, a certain amount of time to retrieve the content should be added to the time required to access the context, but only when the object switches. In contrast, when the object is repeated, there would be no need to retrieve the content because it is already in the focus of attention. Content retrieval should then be immediate.

### **Experiment 1**

In the first experiment, object switching, content retrieval and retrieval operation alternation were manipulated simultaneously. Object switching refers to whether an object is repeated or differs from that of the previous item. Thus, two conditions were set up: object non-switching, where the object was repeated in two consecutive items, and object switching, where different objects were presented in two consecutive items. Content retrieval indicates whether the information associated with an object has to be retrieved from working memory. Two conditions were addressed: non-retrieval, where all the information was presented, that is, two operands and the arithmetic symbol of the operation (e.g.,  $4 + 1$ ), and retrieval, namely when an operand (the first part of the equation) had to be retrieved to perform the arithmetic operation (e.g.,  $+1$ ). Lastly, retrieval operation alternation looks at whether the retrieval operation condition is repeated or not in consecutive trials. Two possibilities were considered: retrieval operation repetition, where the same retrieval operation was presented consecutively, and retrieval operation switch, where

different retrieval operations were presented in consecutive trials. This manipulation was designed using single and mixed lists.

## **Method**

### *Participants*

Twenty-four students from the University of Jaén (Spain) aged 19 to 24 years ( $M = 20.63$ ,  $SD = 2$ ) (5 males and 19 females) participated in this experiment. All participants took part voluntarily and gave their written informed consent prior to starting the experimental session. They received course credits for participating.

### *Material*

The experiment comprised 80 lists of 6 to 12 items. Lists varied in length to prevent participants from predicting the end of each list. The two first items were a digit (ranging from 3 to 9), which was presented inside one of two possible shapes: a red square or a blue triangle. The first item in the list was always the red square followed by the blue triangle. The remaining items were complete or incomplete arithmetic operations that appeared inside one of the shapes. The first operand could be a digit from 3 to 9 or a middle dot ( $\cdot$ ). The operation and the second operand could be  $+1$ ,  $-1$ ,  $+2$  or  $-2$ . Thus, there were items with incomplete operations that included only the second operand (e.g.,  $\cdot +1$ ) and items with complete operations that displayed both operands (e.g.,  $4 +1$ ). It should be noted that, to minimize interference between the two operands, the sets of possible digits for each one were different (3 to 9 for the first operand and 1 or 2 for the second).

Items varied depending on their object-switch and content-retrieval conditions. In the object non-switch condition, the object (e.g., red square) was the same as in the previous item, whereas the object differed from the previous item in the object-switch condition. In the non-retrieval condition, complete operations were presented (e.g.,  $3+1$ ), whereas in the retrieval condition, incomplete operations appeared in which the first operand was indicated by a middle dot (e.g.,  $\cdot +1$ ). Each item was randomly assigned to one of the levels corresponding to the previous conditions. There was approximately the same number of items for each condition across all lists. These conditions were distributed similarly across all serial positions in the lists.

Two sets of single and mixed lists were created (see Figure 1). The single lists included items from only a content-retrieval condition. Thus, there were 20 single lists with items from the retrieval condition that included only incomplete operations (e.g.,  $\cdot + 2$ ) and 20 single lists with items from the non-retrieval condition that included only complete operations (e.g.,  $5 + 2$ ). There were also 40 mixed lists that contained items from both content-retrieval conditions randomly assigned to the different serial positions. In these lists, alternation between retrieval and non-retrieval items was possible. In the experimental session, the lists were organized into three blocks. The first and third blocks each included 20 simple lists. In the first block, half of the lists were made up of non-retrieval items and the remaining lists included only retrieval items. The second block comprised 40 mixed lists. The third and final block featured retrieval-only items in the first half of the lists and non-retrieval items in the second half.

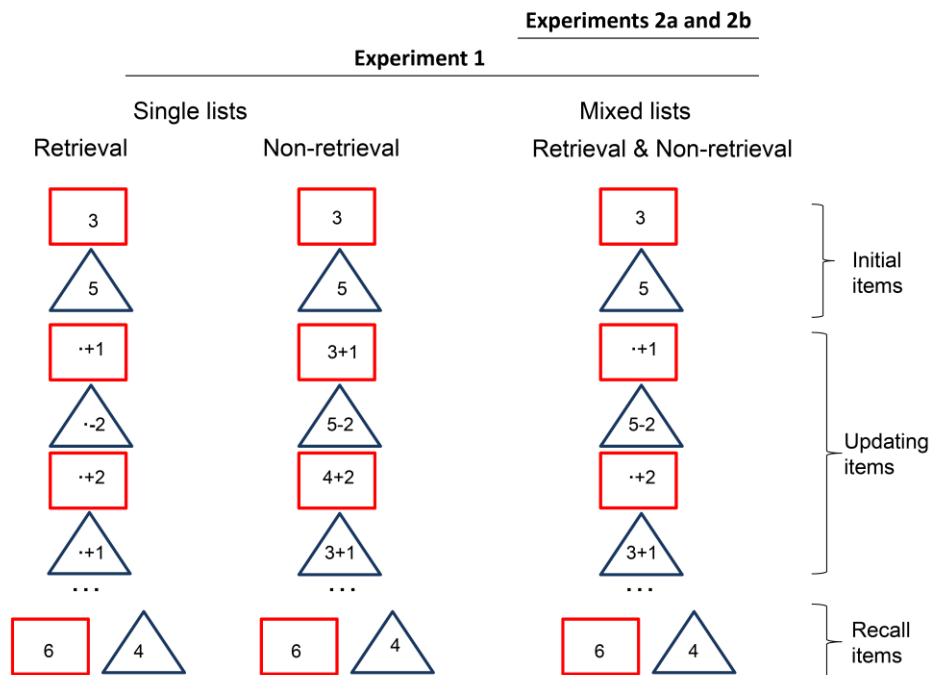
The lists were created using a computer programme that randomly selected the initial numbers for each figure and established the specific conditions for all remaining items according to the previous specifications. The programme calculated and updated the numerical value of the items for each object, and this value was used for constructing the operations of each item when necessary (i.e., the first operand in the complete operations under the non-retrieval condition). A different set of lists was produced for each participant.

#### *Procedure*

Each list began with the consecutive presentation of the two initial items, one for each object (red square and blue triangle). Participants were asked to press a key when they had memorized the number associated with each object (e.g., 3 for the red square). After the initial items, the remaining items were presented consecutively. For each item, participants had to solve an arithmetic operation (e.g.,  $3+1$ ), memorize the result for the corresponding object, and press the space bar to proceed with the next item. When the item belonged to the retrieval condition (e.g.,  $\cdot + 1$ ), participants had to use the previously memorized number for said object as the first operand, indicated by the middle dot. A blank screen lasting 250 ms was shown between two consecutive items. At the end of the list, the two shapes were presented and participants had to type the last result associated with each one, first the red square followed by the blue triangle. Participants then received feedback on the number of correct answers.

E-Prime 2.0 (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002) was used for presenting stimuli, registering times and recording responses. The dependent variables were correct recall and response times.

Prior to the experimental session, participants were given instructions and were asked to be as fast and accurate as possible. They completed nine practice trials covering all types of lists, so that they were familiar with the procedure. Task administration took place inside an individual cubicle, lasting approximately 45 minutes. A 15.6-inch colour monitor was used.



*Figure 1.* Representation of an example sequence for each experiment. Experiment 1 included single lists (with retrieval or non-retrieval operations) and mixed lists (with both retrieval operations). Experiments 2a and 2b covered only mixed lists. Each list comprised two initial items and a variable number of updating items made up of arithmetic operations displayed inside two coloured figures (blue triangles and red squares). At the end of the list, a recall request for each figure was presented.

## Results

One participant was removed from the analyses because of their low percentage of recall (67.83%). Participants correctly recalled 92.8% of all lists. Response times made on incorrect and practice lists were excluded from analysis. All response times under 200 ms and those greater than the participants' mean times in each condition plus 3.5 standard deviations were also removed prior to analysis. This represented 1.16% of the observations. Figure 2 shows the mean response times for each condition.

A 2 x 2 x 2 analysis of variance (ANOVA) was performed on response times with list type (single list and mixed list), object switch (object-switching and object non-switching) and content retrieval (retrieval and non-retrieval) as within-participant factors. The test statistics are summarized in Table 1.

The main effects of list type and object switch were significant, but not the effect of content retrieval. The list type x object switch and object switch x content retrieval interactions reached significance, whereas the list type x content retrieval interaction failed to do so. Previous results were qualified by the three-way interaction between list type, object switch and content retrieval.

We were interested in determining a possible simultaneous effect of both object switch and content retrieval on response times. Therefore, the three-way interaction was further specified by a separate two-way ANOVA 2 (object switch) x 2 (content retrieval) for each list type. The separate analysis for the single lists revealed the main effect of object switch to be significant, whereas content retrieval did not reach significance. The interaction also proved significant, indicating an opposite effect of content retrieval on each level of object switch. As could be expected, content retrieval incurred a cost of 175 ms when an object switch was required,  $F(1, 22) = 25.06$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .53$ . However, and unexpectedly, content retrieval produced a benefit of 188 ms in the object non-switch condition,  $F(1, 22) = 16.17$ ,  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .42$ . Thus, when the object was repeated in the single lists participants spent less time having to retrieve the object's numerical content (incomplete operations) than when all information needed to perform the operation was presented.

Table 1.

*ANOVA results for Experiments 1, 2a y 2b*

	Experiment 1				Experiment 2a				Experiment 2b							
	RT				RT				RT				ACC			
	F	df	p	$\eta_p^2$	F	df	p	$\eta_p^2$	F	df	p	$\eta_p^2$	F	df	p	$\eta_p^2$
Retrieval operation alternation	34.24	1, 22	.000	.69	49.92	1, 21	.000	.70	34.05	1, 23	.000	.60	5.59	1, 23	.027	.20
Context access	77.61	1, 22	.000	.78	21.96	1, 21	.000	.51	40.76	1, 23	.000	.64	10.52	1, 23	.004	.31
Content retrieval	2.31	1, 22	.143	.10	4.35	1, 21	.049	.17	1.26	1, 23	.273	.05	29.42	1, 23	.000	.56
Retrieval operation alternation x Context access	6.63	1, 22	.017	.23	13.81	1, 21	.001	.40	19.45	1, 23	.000	.46	5.26	1, 23	.031	.19
Retrieval operation alternation x Content retrieval	3.84	1, 22	.063	.15	10.45	1, 21	.004	.33	30.83	1, 23	.000	.57	13.83	1, 23	.001	.38
Context access x Content retrieval	42.92	1, 22	.000	.66	27.23	1, 21	.000	.57	14.84	1, 23	.001	.39	0.00	1, 23	.982	.00
Context access x Content retrieval x Retrieval operation alternation	6.82	1, 22	.016	.24	5.27	1, 21	.032	.20	5.23	1, 23	.032	.19	6.16	1, 23	.021	.21
Retrieval operation repetition																
Context access	100.76	1, 22	.000	.82	29.62	1, 21	.000	.59	47.20	1, 23	.000	.67	0.01	1, 23	.913	.00
Content retrieval	0.40	1, 22	.844	.00	0.16	1, 21	.694	.01	8.66	1, 23	.010	.27	34.94	1, 23	.000	.60
Context access x Content retrieval	51.05	1, 22	.000	.70	29.04	1, 21	.010	.58	21.14	1, 23	.000	.48	2.90	1, 23	.102	.11
Retrieval operation switch																
Context access	23.64	1, 22	.000	.52	8.16	1, 21	.009	.28	25.78	1, 23	.000	.53	11.04	1, 23	.003	.32
Content retrieval	5.77	1, 22	.025	.21	10.21	1, 21	.004	.33	10.11	1, 23	.004	.31	19.18	1, 23	.000	.46
Context access x Content retrieval	6.82	1, 22	.016	.24	3.34	1, 21	.082	.14	0.260	1, 23	.615	.01	2.24	1, 23	.148	.09

The analogous analysis for mixed lists showed the significant effects of object switch and content retrieval as well their interaction. Once again, content retrieval produced a cost (159 ms) when an object-switch occurred,  $F(1, 22) = 11.60$ ,  $p = .003$ ,  $\eta_p^2 = .35$ . However, when the object was repeated, no differences due to content retrieval were observed,  $F(1, 22) < 1$ ,  $p = .968$ ,  $\eta_p^2 = .00$ .

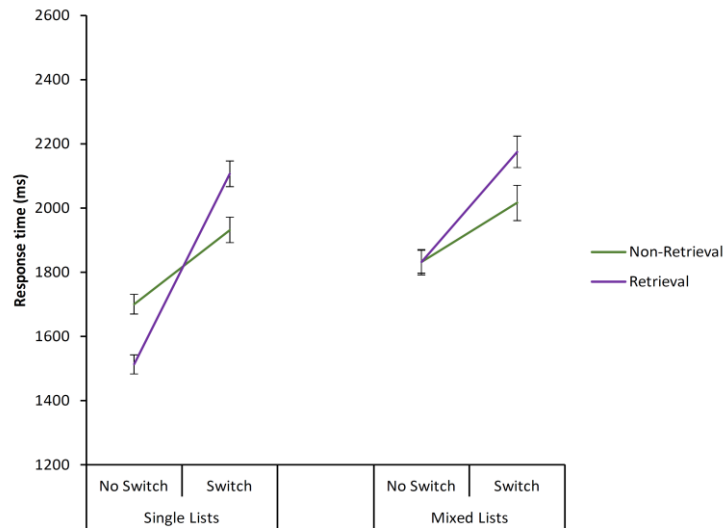


Figure 2. Mean RTs (ms) in Experiment 1 as a function of object switch, content retrieval and retrieval operation alternation.

### Discussion

This experiment has shown that the three factors considered (object switch, content retrieval and retrieval operation alternation) produced the expected differences in response times. A relevant finding was the underadditive interaction between object switch and retrieval operation alternation. The object-switching cost was larger when the retrieval operation was repeated than when the task was different in two consecutive items. This finding is consistent with observations made in previous studies involving other types of tasks. Verhaeghen and Basak (2005) found a similar interaction using the n-back task. They argued that the two switching processes – or certain components of each – were executed in parallel. Risse and Oberauer (2009) and Souza, Oberauer, Druey, and Gade (2012) obtained similar results using different tasks. These authors argued that when the task and object cues were

presented, the to-be-selected representations were preactivated. This would result in object access taking less time.

More interestingly, the results suggest that context access and content retrieval might be separate processes. The retrieval of information associated with the object incurred an additional cost in some conditions. On the one hand, when an object switch was required, retrieving the content (incomplete operations) took additional time compared to the condition in which content retrieval was not necessary (complete operations). The retrieval cost was evidenced across both single and mixed lists. This result, which differs from that reported by Bialkova and Oberauer (2010), suggests that context access precedes, to some extent, content retrieval.

On the other hand, when the object was repeated, the pattern of results was more complex. In mixed lists, content retrieval did not produce an additional time cost. At a first glance, this finding seems logical, taking into account that all information in object non-switching trials would be active in the focus of attention and no retrieval would be required even when an incomplete operation was presented. It is of note, however, that the mixed lists comprised two types of trials: those in which the retrieval operation was repeated and those in which the operation was different to that of the previous item. In view of this, it would be worthwhile separately analyzing both trial types to determine whether or not the content retrieval effect is similar across both. This would be an aim in follow-up experiments.

Unexpectedly, when the same object was repeated in single lists, items with incomplete operations required less time than those with complete operations. Therefore, a time benefit rather than a time cost was associated with content retrieval.

Two possible explanations were considered for this result. The first has to do with the number of to-be-codified elements. When a complete operation is presented, both operands have to be codified and activated in the focus of attention in order to perform the operation. However, in the case of incomplete operations, only the second operand requires to be activated because the first one is already in the focus. It is important to note that this facilitation only occurs when the retrieval operation is repeated. In this condition, the operation is ready to be applied on the active element in the focus. However, when the retrieval operation switches, this time advantage disappears because the

retrieval operation has to be bound to the new object, and only then can the content be retrieved.

It is also possible that in simple lists, when incomplete operations are presented, participants progress quickly through the lists because they rely on memory to perform the next operation. Once the arithmetic operation has been completed, a faster pace may provide fewer opportunities for memory content degrade. It may have even been the case that participants, in the incomplete operations condition, used the time between stimuli (250 ms) to complete the operation and substitute the information. As for the simple lists with complete operations (non-retrieval), participants may have performed the operations and substituted the information at a somewhat slower pace, given that the operations remained on the screen. A feature of the task likely to have contributed to this strategic bias is that participants were not required to type the results for each operation.

### **Experiments 2a and 2b**

In the previous experiment, retrieval operation alternation was studied using single and mixed lists. As the mixed lists comprised items in which retrieval operations were either switched or repeated, the results reflect the effects of both types of operations. It was considered opportune to analyze whether retrieval operation alternation within mixed lists induces differences in the retrieval cost similar to that found in the previous experiment. It was also deemed particularly necessary to determine whether content retrieval produced a time benefit instead of a time cost when both object and retrieval operation were repeated.

Two experiments (2a and 2b) were run to replicate Experiment 1, using only mixed lists. The aim of these experiments was twofold: first, to confirm whether content retrieval requires additional time following context access; and second, to confirm the retrieval benefit when both object and retrieval operation are repeated. Only mixed lists were used in these experiments, doubled in number compared to the first experiment. This would make it possible to separately analyze consecutive trials in which the retrieval operation is repeated and where trials are different. We expected to observe a retrieval cost when an object switch occurs and a retrieval benefit in object non-switching trials when the same retrieval operation is repeated.

In the previous experiment, participants had to press a key to present the next item. In the first version of the second experiment, we used the same self-paced procedure, whereas the second version required participants to enter the result for each operation. Thus, errors could also be analyzed.

## **Method**

### *Participants*

Twenty-four students from the University of Jaén (Spain) aged 18 to 48 years ( $M = 22.83$ ,  $SD = 8.34$ ) (2 males and 22 females) participated in Experiment 2a. Experiment 2b involved 24 university students aged 18 to 23 years ( $M = 19.46$ ,  $SD = 1.93$ ) (8 males and 16 females). As in the previous experiment, all participants volunteered for the study and received course credits for their participation. Written informed consent was obtained prior to starting the experimental session.

### *Material and procedure*

The same task described in the first study was administered in Experiments 2a and 2b, but this time only mixed lists were included. A total of 80 mixed lists were created for each subject. As in the previous experiment, items varied in type according to the object switch and content retrieval conditions. Furthermore, alternation between retrieval conditions was manipulated. Thus, the retrieval condition for half of all items was the same as for the previous item, whereas the retrieval condition for the other half was different to that of the preceding item. The only difference in Experiment 2b was that participants had to enter the result after performing each operation. This would allow for data collection on accuracy.

The same procedure was used as in the previous experiment and task administration also lasted 45 minutes.

## **Results**

Experiments 2a and 2b used the same analysis as employed in the previous experiment, although this time retrieval operation alternation acted as the independent variable in place of list type. As in the previous experiment, all response times under 200 ms and those greater than the participants' mean times in each condition plus 3.5 standard deviations were also removed prior to

analysis. This represented 1.18% of observations in Experiment 2a and 1.03% in Experiment 2b. In addition, response times to items at serial position 3 in both experiments were excluded because their retrieval operation alternation level could not be determined. Figures 3 and 4 show the mean response times for each condition in Experiments 2a and 2b, respectively.

A 2 x 2 x 2 analysis of variance (ANOVA) was performed on response times as well as on accuracy in Experiment 2b, with retrieval operation alternation (retrieval operation repetition and retrieval operation switch), object switch (object-switching and object non-switching) and content retrieval (retrieval and non-retrieval) as within-participant factors.

### **Experiment 2a**

Two participants were excluded from the analyses. One appeared to misunderstand the instructions (12% of recall) and the other showed low recall performance (65%). Participants correctly recalled 91% of all lists.

As shown in Table 1, the main effects of retrieval operation alternation, object switch and content retrieval reached significance. The retrieval operation alternation x object switch, retrieval operation alternation x content retrieval and content access x content retrieval interactions were also significant. As in the previous experiment, the three-way interaction between retrieval operation alternation, object switch and content retrieval reached significance.

To analyze the three-way interaction, a two-way ANOVA 2 (object switch) x 2 (content retrieval) was performed on each retrieval operation alternation condition. The separate analysis for the retrieval operation repetition condition revealed the main effect of object switch to be significant, whereas content retrieval did not reach significance. The interaction showed an opposite effect of content retrieval on each level of object switch. As with the first experiment, content retrieval in the object-switch condition incurred a cost of 165 ms,  $F(1, 21) = 8.04$ ,  $p = 0.01$ ,  $\eta_p^2 = .28$ . In contrast, when an object non-switch occurred, content retrieval produced a benefit of 198 ms,  $F(1, 21) = 16.86$ ,  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .45$ . Thus, when both retrieval operation and object were repeated, participants spent less time on incomplete than on complete operations.

The analogous analysis for the retrieval operation switch condition showed only significant effects of object switch and content retrieval.

### Experiment 2b

In this experiment, an analysis, the same as performed previously, was carried out on response times and accuracy. Participants correctly recalled 93.6% of all lists.

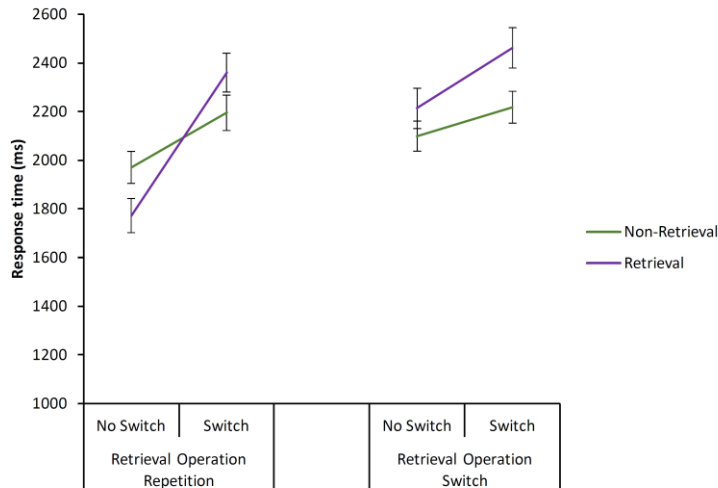


Figure 3. Mean RTs (ms) in Experiment 2a as a function of object switch, content retrieval and retrieval operation alternation.

#### Response times

Table 1 summarizes the ANOVA test statistics. The main effects of retrieval operation alternation and object switch were significant, but not the effect of content retrieval. In addition, the retrieval operation alternation x object switch, retrieval operation alternation x content retrieval and content access x content retrieval interactions were significant. As in the previous experiments, these results were qualified by the three-way interaction between object switch, content retrieval and retrieval operation alternation.

The three-way interaction was further specified by a separate two-way ANOVA 2 (object switch) x 2 (content retrieval) for each retrieval operation alternation condition. The separate analysis for the retrieval operation repetition condition revealed the main effects of object switch and content retrieval to be

significant. The interaction also proved significant, indicating a different effect of content retrieval on each level of object switch. As in previous experiments, when the object was repeated, content retrieval produced a benefit of 264 ms,  $F(1, 23) = 39.44, p < .001, \eta_p^2 = .64$ . However, in this experiment, content retrieval did not incur a noticeable cost when an object switch occurred,  $F(1, 23) = 0.95, p = .341, \eta_p^2 = .04$ .

The analogous analysis for the retrieval operation switch condition showed the significant effects of context access and content retrieval. Their interaction did not reach significance.

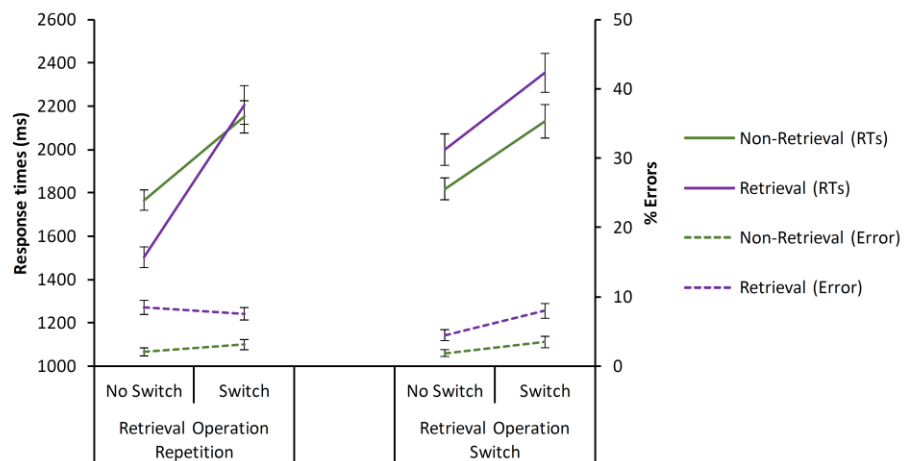


Figure 4. Mean RTs (ms) and error rates (%) in Experiment 2b as a function of object switch, content retrieval and retrieval operation alternation.

#### Accuracy

The main effects of object switch, content retrieval and retrieval operation alternation reached significance. The retrieval operation alternation x object switch and retrieval operation alternation x content retrieval first-order interactions were also significant, but not the interaction between content access and content retrieval. In addition, the three-way interaction between object switch, content retrieval and retrieval operation alternation reached significance (see Table 1).

A two-way ANOVA 2 (object switch) x 2 (content retrieval) was performed in order to analyze the three-way interaction for each retrieval

operation alternation condition. The separate analysis for the retrieval operation repetition condition revealed only a significant effect of content retrieval. Neither object switch nor interaction proved significant.

The analogous analysis for the retrieval operation switch condition revealed that both main effects (object switch and content retrieval) reached statistical significance, but not their interaction.

### **Discussion**

Both experiments have shown how object switch and content retrieval operation induce differences in response times. In both cases, focus switching and retrieval operation switching once again produced underadditive interactions.

As with the first experiment, the results suggest that object switching may entail at least two subprocesses: context access and content retrieval. However, content retrieval produced a different effect depending on the retrieval operation switch and object switch.

In both versions of this experiment, a retrieval effect was observed when the retrieval operation was different from that of the previous trial, irrespective of the object-switch condition. Thus, more time was spent on incomplete operations than on complete operations that did not require content retrieval. This finding appears to be at odds with observations made in the previous experiment, where no retrieval cost was observed when the object was repeated and the retrieval operation switched. In said experiment, this condition was studied using mixed lists. Thus, the absence of retrieval cost could be the result of the opposite effects of each type of item included in these lists: cases where the retrieval operation was repeated and where the retrieval operation differed from the previous item.

The pattern found for errors made following retrieval operation switching coincided with that of response times: object switch and retrieval cost were evident in both. Therefore, the present experiments, which were designed to better analyze the effect of retrieval operation switching, revealed a retrieval cost provided that retrieval operation switching takes place. This effect on errors coincides with that described by Bialkova and Oberauer (2010).

In the absence of retrieval operation switching, the pattern observed was generally consistent with that seen in the previous experiment using single lists.

First, when the object was repeated, content retrieval produced a benefit. Specifically, incomplete operations, which require content retrieval, took less time compared to complete operations, where retrieval is not necessary.

It should be noted that the time benefit resulting from object and retrieval operation repetition was not accompanied by a similar effect on error rates. Here, however, a retrieval cost was observed. The divergence in the effects on errors and response times corresponding to this condition is compatible with a dissociation between availability (errors) and accessibility (response times) of information in WM (see McElree, 2001; Verhaeghen & Basak, 2005; Vaughan et al., 2008). It would seem to indicate that item availability and accessibility rely on different mechanisms. On the other hand, the different patterns obtained for both dependent variables in this condition may be indicative of participants responding faster at the expense of making more errors. This condition, which should have been a comparatively easy one, yielded the numerically highest error rates.

Lastly, when the object switched, the expected retrieval cost was observed in Experiment 2a, although this effect was not present in Experiment 2b. This last result seems somewhat atypical. The retrieval effect across all three experiments was clear, provided that object switching occurred. We do not have a satisfying explanation for this result that departs from previous findings.

### **General discussion**

The aim of this study was to determine whether focus switching involves two separate processes: content access and context retrieval. Three experiments were carried out to analyze the effects of object switching, the requirements for retrieving its content and the alternation of the retrieval operations. The results revealed a complex pattern in which the different factors interacted.

A main finding of the present study was that a retrieval effect was generally found when focus switching was required. In the two last experiments, the retrieval cost was over 200 ms when the retrieval operation switched. In the same condition the switching cost was around 300 ms. Thus, these data suggest that focus switching can be decomposed into two subprocesses: context access and content retrieval. Bringing an element into the focus of attention may involve the processing and activation of the context and

the subsequent or parallel yet delayed retrieval of its content. Therefore, contexts (cues) and their contents (numerical information) may be independently accessed.

There is not a clear explanation for the divergent effect of retrieval observed in the present study and that reported by Bialkova and Oberauer (2010). Besides the similarities between the tasks used in both studies, a number of differences were also identified. For instance, we used a simpler task with two objects instead of three, more informative context cues (figures plus colour rather than just colour) and a reduced number of operations ( $\pm 1$ ,  $\pm 2$ ) with results ranging from 3 to 9. Some of these features could have had an impact on the focus-switching cost. For instance, increasing the load from two to three also increases the switching cost (see also Oberauer, Wendland, and Kliegl, 2003). The use of more informative context cues (e.g., figures and colours) could have decreased the switching cost (see Verhaeghen et al., 2004; Verhaeghen & Basak, 2005). However, at present, we do not see how these particular characteristics can be responsible for the different results obtained in both studies regarding the retrieval effect.

That said, there is a feature of the task in the present study that may have contributed to faster performance when complete equations were presented. The to-be-memorized digits were always determined on the basis of the digit maintained in memory. Thus, if the content associated with an object was the number 4 and the operation to be applied was +1, the item “4+1” was generated as a complete equation, and the item “· +1” as an incomplete equation. In each case, the new to-be-memorized digit would be the same: the number 5 in the example above. This ensured that the to-be-updated number and the new one were similar in both conditions, for example, in terms of numerical distance that has been proved to be important (Lendínez, Pelegrina, & Lechuga, 2011, 2014). It is possible that performance on complete equations was facilitated because the number maintained in WM was presented as the first digit of the complete equation. In the study by Bialkova and Oberauer (2010), the numbers for the complete equations were randomly selected. Therefore, any possible facilitation in the present experiment could not have occurred in the aforementioned experiment. While it may remain a possibility, further research is needed to precisely account for the origin of the differences.

In addition to the general pattern reported when the object switched, other findings of particular relevance have been consistently observed in non-

switching trials. A retrieval cost or retrieval benefit was observed depending on whether or not the retrieval operation switched.

First, when the retrieval operation switched, a retrieval effect was observed even when the object was repeated. One might initially expect a retrieval effect in object-switching trials, but not when the object remains the same because the information is already in the focus of attention. In fact, this retrieval cost may indicate that alternating the retrieval task removes the advantage of maintaining the information in the focus. A tentative explanation could be that the cue for incomplete operations in these trials induces content retrieval even though it would be not necessary. In this case, the information would be reactivated again in the focus. However, if this were the case, it would still be necessary to explain why the retrieval effect disappears when the task is repeated, given that the cues for content retrieval were analogous in both conditions.

A more plausible explanation is that after encoding the task and accessing the object, the cognitive operation and the object have to be bound. Once the object and retrieval operation have been bound, the content has to be retrieved again. This is compatible with the view held by Oberauer (2009; see also Souza et al., 2012), who claims that some bindings must be set up between the mental objects and the cognitive operations on them. From this perspective, the focus of attention, which is part of the declarative WM, would hold the object, whereas the response focus, as part of the procedural WM, would select a cognitive action. A link between the two foci is necessary for them to communicate. Each time the task or object changes, a new binding would be required. Then, once the binding has been created, the information associated with the object should be retrieved again. This might be what we observed in this condition.

A second unexpected result emerged when both retrieval task and object were repeated: a retrieval benefit rather than a cost was observed. Thus, less time was required to perform the task when the arithmetic operation was incomplete than when all the necessary information was presented on the screen. Simply put, the arithmetic operation (e.g., +1) was applied faster to an operand held in the focus than to an operand also displayed on the screen.

When the object was repeated, we anticipated that the retrieval cost would disappear, given that there was no need to access its content because it was already in the focus. However, rather than finding a reduction or

elimination of the retrieval cost, a considerable time benefit was observed. This pattern, one we had not expected in the first experiment, was confirmed by two additional experiments. It could be argued that, in the latter case, the first operand must be coded and activated in the focus of attention, a step that is not necessary in the first case. Therefore, when both the first operand and the task are in the focus, the arithmetic operation can be performed faster. If the effect of retrieval operation-switching had not been taken into account in this study, the retrieval costs and benefits in the non-switching trials would have been compensated. As a result, this effect would be absent or rather limited. Finally, the relatively high rate of errors in this condition does not rule out the possibility that participants tended to give faster responses at the expense of making more errors.

To conclude, focus switching in WM may be understood as a content-addressable retrieval process. Objects in WM are made up of contents and context representations (e.g., serial positions, contextual time information, external stimuli) that must be bound at the moment of encoding. The activation of a content in the focus of attention requires the previous activation of its context. This reflects a common retrieval mechanism contemplated in numerous models of WM (Brown, Preece, & Hulme, 2000; Burgess & Hitch, 1999; Nairne, 2002; McElree, 2006; Oberauer, 2013; Oberauer, Lewandowsky, Farrell, Jarrold, & Greaves, 2012).

Furthermore, when a cognitive operation has to be applied to an object, it is necessary to bind the object and the operation (Oberauer, 2009; Souza et al., 2012). This binding would need to be set up whenever a cognitive action or object switches. The content associated to an object can be retrieved only after such a binding has been established.

### References

- Bialkova, S., & Oberauer, K. (2010). Direct Access to working memory contents. *Experimental Psychology*, *57*, 383-389. doi: 10.1027/1618-3169/a000046
- Brown, G. D., Preece, T., & Hulme, C. (2000). Oscillator-based memory for serial order. *Psychological Review*, *107*(1), 127-181. doi: 10.1037/0033-295X.107.1.127

- Burgess, N., & Hitch, G. J. (1999). Memory for serial order: a network model of the phonological loop and its timing. *Psychological Review*, *106*(3), 551. doi: 10.1037/0033-295X.106.3.551
- Garavan, H. (1998). Serial attention within working memory. *Memory & Cognition*, *26*(2), 263-276. doi: 10.3758/BF03201138
- Gehring, W. J., Bryck, R. L., Jonides, J., Albin, R. L., & Badre, D. (2003). The mind's eye, looking inward? In search of executive control in internal attention shifting. *Psychophysiology*, *40*, 572-585. doi: 10.1111/1469-8986.00059
- Gilchrist, A. L., & Cowan, N. (2011). Can the focus of attention accommodate multiple, separate items?. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *37*(6), 1484-1502. doi: 10.1037/a0024352
- Li, Z. H., Bao, M., Chen, X. C., Zhang, D. R., Han, S. H., He, S., & Hu, X. (2006). Attention shift in human verbal working memory: priming contribution and dynamic brain activation. *Brain Research*, *1078*, 131-142. doi: 10.1016/j.brainres.2006.01.032
- Linares, R., Bajo, M. T., & Pelegrina, S. (2016). Age-related differences in working memory updating components. *Journal of Experimental Child Psychology*, *147*, 39-52. doi: 10.1016/j.brainres.2006.01.032
- McElree, B. (2001). Working memory and focal attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *27*(3), 817-835. doi: 10.1016/S0079-7421(06)46005-9
- McElree, B. (2006). Accessing recent events. *Psychology of Learning and Motivation*, *46*, 155-200. doi: 10.1016/S0079-7421(06)46005-9
- Nairne, J. S. (2002). Remembering over the short-term: The case against the standard model. *Annual Review of Psychology*, *53*(1), 53-81. doi: 10.1146/annurev.psych.53.100901.135131
- Oberauer, K. (2001). Removing irrelevant information from working memory: a cognitive aging study with the modified Sternberg task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *27*(4), 948-957. doi: 10.1037/0278-7393.27.4.948

- 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. doi: 10.1037/0278-7393.28.3.411
- Oberauer, K. (2003). Selective attention to elements in working memory. *Experimental Psychology*, 50, 257-269. doi: 10.1026//1618-3169.50.4.257
- Oberauer, K. (2009). Design for a working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 51, 45-100. doi: 10.1016/S0079-7421(09)51002-X
- Oberauer, K. (2013). The focus of attention in working memory—from metaphors to mechanisms. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 673. doi: 10.3389/fnhum.2013.00673
- Oberauer, K., Lewandowsky, S., Farrell, S., Jarrold, C., & Greaves, M. (2012). Modeling working memory: An interference model of complex span. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19(5), 779-819. doi: 10.3758/s13423-012-0272-4
- Oberauer, K., Wendland, M., & Kliegl, R. (2003). Age differences in working memory—The roles of storage and selective access. *Memory & Cognition*, 31(4), 563-569. doi: 10.3758/BF03196097
- Risse, S., & Oberauer, K. (2010). Selection of objects and tasks in working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(4), 784-804. doi: 10.1080/17470210903147486
- Schneider, W., Eshman, A., & Zuccolotto, A. (2002). E-prime 2.0 user's guide. Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh.
- Schwager, S., & Hagendorf, H. (2009). Goal-directed access to mental objects in working memory: The role of task-specific feature retrieval. *Memory & Cognition*, 37(8), 1103-1119. doi: 10.3758/MC.37.8.1103
- Souza, A. D. S., Oberauer, K., Gade, M., & Druey, M. D. (2012). Processing of representations in declarative and procedural working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(5), 1006-1033. doi: 10.1080/17470218.2011.640403
- Vaughan, L., Basak, C., Hartman, M., & Verhaeghen, P. (2008). Aging and working memory inside and outside the focus of attention:

Dissociations of availability and accessibility. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 15(6), 703-724. doi: 10.1080/13825580802061645

- Verhaeghen, P., & Basak, C. (2005). Ageing and switching of the focus of attention in working memory: Results from a modified N-Back task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 58(1), 134-154. doi: 10.1080/02724980443000241
- Verhaeghen, P., Cerella, J., & Basak, C. (2004). A working memory workout: how to expand the focus of serial attention from one to four items in 10 hours or less. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30(6), 1322-1337. doi: 10.1037/0278-7393.30.6.1322
- Verhaeghen, P., & Hoyer, W. J. (2007). Aging, focus switching, and task switching in a continuous calculation task: Evidence toward a new working memory control process. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 14(1), 22-39. doi: 10.1080/138255890969357



**5.3. Study 3: Working memory updating training in young adults.**

Linares, R., Borella, E., Lechuga, M. T., Carretti, B., & Pelegrina, S. (2016). *Training working memory updating in young adults*. Manuscript submitted for publication.



**Abstract**

Working memory updating (WMU) is a core mechanism in the human mental architecture and a good predictor of a wide range of cognitive processes. This study analyzed the benefits of two different WMU training procedures, near transfer effects on a working memory measure, and far transfer effects on nonverbal reasoning. Maintenance of any benefits a month later was also assessed. Participants were randomly assigned to: an adaptive training group that performed two numerical WMU tasks during four sessions; a non-adaptive training group that performed the same tasks but on a constant and less demanding level of difficulty; or an active control group that performed other tasks unrelated with working memory. After the training, all three groups showed improvements in most of the tasks, and these benefits were maintained a month later. The gain in one of the two WMU measures was larger for the adaptive and non-adaptive groups than for the control group. This specific gain in a task similar to the one trained would indicate the use of a better strategy for performing the task. Besides this nearest transfer effect, no other transfer effects were found. The adaptability of the training procedure did not produce greater improvements. These results are discussed in terms of the training procedure and the feasibility of training WMU.

*Keywords:* working memory updating, cognitive training, transfer effects, maintenance effects, adaptive procedure.



### **Introduction**

Working memory (WM) is a system of limited capacity that enables content in our memory to be maintained and manipulated as necessary for complex cognition (Morrison & Chein, 2011; Salminen, Strobach, & Schubert, 2012; von Bastian & Oberauer, 2014). WM can hold only a certain amount of information at a given moment in time so it has to constantly replace old representations with new ones. This updating process is essential to the human mental architecture (Friedman, Miyake, Young, DeFries, Corley, & Hewitt, 2008; Schmiedek, Hildebrant, Lövdén, Wilhelm, & Lindenberger, 2009), and it is the best predictor of several higher level cognitive functions, such as fluid intelligence (Belacchi, Carretti, & Cornoldi, 2010; Chen & Li, 2007; Friedman, Miyake, Corley, Young, DeFries, & Hewitt, 2006). WM updating (WMU) is related to cognitive performance in several areas. For example, it mediates the relationship between WM and reading comprehension (Gernsbacher, Varner, & Faust, 1990), accounting for individual differences in reading skills (Borella, Carretti, & Pelegrina, 2010; Carretti, Cornoldi, De Beni, & Romanò, 2005; Palladino, Cornoldi, De Beni, & Pazzaglia, 2001), and also in mathematics (Passolunghi & Pazzaglia, 2004; Pelegrina, Capodieci, Carretti, & Cornoldi, 2014). Increasing evidence of the feasibility of training WM has recently emerged, prompting an increasing number of studies on this issue.

Training studies are based on practice with complex WM tasks with a view to improving performance in tasks similar to those trained, but also to identifying transfer effects to other tasks that may involve related processes. According to a conceptually-based continuum of nearest to far transfer tasks (i.e. Willis, Blieszner, & Baltes, 1981; Noack, Lövdén, Schmiedek, & Lindenberger, 2009), nearest transfer involves the performance benefits produced by training on tasks that tap the same process as the trained task, but with different type of stimuli. Near transfer instead occurs when training enhances performance on tasks that measure the same broad ability but involve different requirements (Chein & Morrison, 2010; Jausovec & Jausovec, 2012; Sprenger et al., 2013; von Bastian, Langer, Jäncke, & Oberauer, 2013; Westerberg & Klingberg, 2007). Far transfer concerns the benefits that training may produce on tasks intended to measure other cognitive abilities that are correlated or share processes with WM. Some studies have found benefits of training in different populations on measures of cognitive control (Borella, Carretti, Riboldi, & De Beni, 2010; Chein & Morrison, 2010; Westerberg & Klingberg, 2007), fluid intelligence (Jausovec & Jausovec, 2012; Westerberg &

Klingberg, 2007), reading comprehension (Carretti, Borella, Zavagnin, & De Beni, 2012; Chein & Morrison, 2010), or reasoning (Borella et al., 2010; Jausovec & Jausovec, 2012; Sprenger et al. 2013). It has been suggested that stronger relations between a trained process and an untrained ability are indicative of greater transfer effects (Waris, Soveri, & Laine, 2015). However, not all studies have found support for transfer effects, especially with respect to intelligence or reasoning abilities (Shipstead, Redick, & Engle, 2010, 2012). Some meta-analyses seem to support the idea that WM training can be effective to enhance other cognitive skills in adulthood (Au et al., 2015) and in old age (Karbach & Verhaeghen, 2014). Nonetheless, when found, transfer effects tend to be rather modest. In addition, there are some controversies regarding these conclusions, as different factors, the roles of which remain unclear, may be involved (see Dougherty, Hamovitz, & Tidwell, 2015; Melby-Lervåg & Hulme, 2016).

The present study aims to train the WMU process using different tasks to ascertain to what extent the training produces transfer effects on other cognitive tasks.

### **Training working memory updating**

Several training studies on young adults included some WMU tasks among the training activities (Jausovec & Jausovec, 2012; Sandberg, Rönnlund, Nyberg, & Neely, 2015; Sprenger et al., 2013; Westerberg & Klingberg, 2007), and found some benefits in terms of WMU, WM, inhibition, attention and reasoning tasks. It is difficult to assess the specific contribution of the WMU training to the transfer effects, however, because these studies usually included other tasks that do not involve updating as well.

Some other studies in young adults used mostly WMU tasks to examine the specific influence of the updating process on other cognitive functions. Some of them found improvements in WMU tasks (Dahlin, Neely, Larsson, Bäckman, & Nyberg, 2008; Dahlin, Nyberg, Bäckman, & Neely, 2008; Li et al., 2008; Lilienthal, Tamez, Shelton, Myerson, & Hale, 2013; Salminen et al., 2012; Waris, et al., 2015; Xiu, Zhou, & Jiang, 2015), and also in some short-term memory measures that essentially involved the information maintenance (Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Perrig, 2008; Waris, et al., 2015). Some authors showed that it is difficult to identify gains in measures different to those trained (Dahlin, Neely et al. 2008; Dahlin, Nyberg et al., 2008; Küper & Karbach, 2015; Li et al., 2008; Redick et al., 2013; Thompson et al., 2013),

although other studies succeeded in inducing improvements in tasks that tap task switching, attention (Salminen et al., 2012), emotional regulation (Xiu et al., 2015), or fluid intelligence (Jaeggi et al., 2008).

There may be several explanations for the variability in the reported results. It could be argued that transfer effects are due to an improvement in the updating process, or to having learned suitable strategies for a given task paradigm (von Bastian & Oberauer, 2014). An improvement in the process would produce gains in performance irrespective of the tasks involved (Dahlin, Neely et al., 2008; Dahlin, Nyberg et al., 2008; Lilienthal et al., 2013; Waris et al., 2015) –near and far transfer effects–, whereas an improvement due to having learned a strategy would only produce benefits in very similar tasks –specific training gain and nearest transfer effect–, in which the same strategy could be usefully applied, and they would not be maintained over time (Küper & Karbach, 2015; Li et al., 2008; Salminen et al., 2012).

A first goal of the present study was to ascertain the extent to which a training program focusing on WMU would induce transfer effects on other updating tasks that share more or less the same features as the tasks used in the training.

A second possible determinant of the efficacy of training relates to the cognitive demands of the training tasks, and more specifically to the level of difficulty of the tasks administered during the training sessions. In some studies, the training sessions involved tasks with the same level of difficulty (Dahlin, Neely et al., 2008; Dahlin, Nyberg et al., 2008; Li et al., 2008). These studies showed a subsequent improvement in tasks assessing WMU, but transfer effects were not always found. An alternative is to use an adaptive training procedure, in which the difficulty of the task is adjusted to individual performance (Jaeggi et al., 2008; Küper & Karbach, 2015; Redick et al., 2013; Salminen et al., 2012; Waris et al., 2015; Xiu, et al., 2015). Adaptive training has been shown to induce training gains and transfer effects on different tasks (Jaeggi et al., 2008; Salminen et al., 2012; Xiu, et al., 2015; but see also Redick et al., 2013; Waris et al., 2015).

The above-mentioned results could be due to the fact that keeping the task challenging during the training sessions produces more benefits than repeating the same task with the same level of difficulty because it preserves some disparity between the demands of the task and the individual's capacity (Lövdén, Bäckman, Lindenberger, Schaefer, & Schmiedek, 2010). Lilienthal et

al. (2013) study compared the benefits of adaptive versus non-adaptive training with a dual  $n$ -back task. The results of this study showed that both groups improved in an  $n$ -back task, but the benefits of the training were greater for the adaptive than for the non-adaptive group. On the other hand, a recent study (von Bastian & Eschen, 2015) found no difference between an adaptive training and an alternative –although not non-adaptive– training in which the level of difficulty was varied randomly throughout the task. In the same vein, Karbach and Verhaeghen (2014) conducted a meta-analysis focusing on older people and found no greater effects of adaptive training vis-à-vis non-adaptive procedures. There are no reports in the literature concerning younger adults, however, and this is an issue that remains to be clarified. To contribute to the debate on this issue, the second goal of the present study was to examine the specific transfer effects of an adaptive WMU training as compared with a non-adaptive WMU training.

### **The present study**

The purpose of this study was thus to examine transfer effects (from nearest to farthest) of a WMU training comprising two numerical updating tasks. Classic studies on training hold that introducing a degree of practice variability, as opposed to repetitive practice, during training leads to a higher transfer (for a review, see Schmidt & Bjork, 1992). Recently this approach has been used in some WM training researches (e.g., Waris et al., 2015). In the present study, the two training tasks were designed to be structurally similar, in the sense that they comprised the same WMU components, which had to be applied in analogous sequences. They differed mainly in terms of the stimuli and specific numerical operations used. In both tasks, participants had to complete different operations on previously-memorized information in order to obtain a result that could subsequently be updated. Two training regimens were included: an adaptive training regimen, in which the levels of load and suppression was varied, and a non-adaptive regimen that had consistent load and suppression levels. The possible transfer effects of the training were analyzed in terms of performance in WMU (nearest transfer), WM (near transfer), and fluid intelligence (far transfer).

To investigate nearest transfer effects, two WMU tasks were administered: an *Odd-Even Number Updating* task developed specifically for the present study and a *Number Comparison Updating* task (Carretti, Cornoldi, & Pelegrina, 2007). These two tasks differ from the training tasks in terms of

either the criterion for updating the information or the structure of the task (e.g., whether or not specific cues were given to indicate which element to retrieve or substitute). Including two different updating tasks would enable us to see whether any gains were indicative of respondents using strategies they had learned or due to an improvement in the efficiency of their WMU ability. Any near transfer effect on WM was assessed by means of the Operation Span task (Turner & Engle, 1989). Two fluid intelligence tasks were also administered to assess far transfer: the Standard Progressive Matrices (Raven, Court, & Raven, 1977); and the Cattell test (Cattell & Cattell, 1963). A follow-up assessment one month after finishing the training was also included to establish whether any transfer effects were maintained.

For the training sessions, the same updating tasks were used, but in two different regimens, one adaptive and the other non-adaptive, to analyze the effects of different cognitive demands. In the adaptive regimen, the level of difficulty of the tasks was adjusted to individual performance, whereas in the non-adaptive regimen the tasks were always administered with a fixed and relatively low level of difficulty. In addition to the two trained groups, an active control group was also included to distinguish the effects of the training from other effects relating to the experience of participating in the experiment. This active control group practiced with computer games unrelated to WM.

An improvement was expected for both training groups, in the tasks that assessed WMU (nearest transfer) and WM (near transfer), in line with previous studies (Dahlin, Neely et al., 2008; Jaeggi et al., 2008; Salminen et al., 2012; Waris et al., 2015; Xiu et al., 2015). More specifically, if the transfer effects were due to an improvement in WMU ability, then benefits would be seen in both updating tasks. If they were due to a strategy learning process, they would be detected mainly for the tasks most similar to those used in the training. Improvement in the fluid intelligence tasks (far transfer) could also be expected, but to a less extent for both trained groups if the training gains were more strategy-related rather than being due to changes in information processing per se. Previous studies have produced inconclusive results regarding this type of transfer (Dahlin, Nyberg et al., 2008; Jaeggi et al., 2008; Küper & Karback, 2015; Redick et al., 2013; Salminen et al., 2012; Sandberg et al., 2014; Waris et al., 2015).

In general, greater improvements were expected for the adaptive training group than for the non-adaptive group (or the control group), in line

with the findings of Lilienthal et al. (2013). If this was the case, a maintenance of the nearest and near transfer effects after one month can be predicted for both training groups (Dahlin, Nyberg, et al., 2008; Li et al., 2008), with, however, greater gains for the adaptive training group.

## **Method**

### *Participants*

The study involved 81 university students of the University of Padova aged 18-35 ( $M = 20.22$ ,  $SD = 1.99$ ) (71 females and 10 males): 27 (18-22 years,  $M = 20.11$ ,  $SD = 1.05$ , 23 females and 4 males) were randomly assigned to the adaptive group; 27 to the non-adaptive group (18-35 years,  $M = 21.19$ ,  $SD = 3$ , 25 females and 2 males); and 27 to the active control group (19-21 years,  $M = 19.37$ ,  $SD = 0.63$ , 23 females and 4 males). All participants were native Italian speakers, volunteered for the study and gave their informed consent before taking part in the study. Participants attended two introductory psychology courses, and they were given course credits for their participation.

### *Materials*

#### **Training**

##### ***WMU training (adaptive and non-adaptive groups)***

*Arithmetical Updating* task. The task is similar to the one described by Oberauer, Wendland, and Kliegl (2003), and Salthouse, Babcock, and Shaw (1991). Ten lists of numbers and arithmetical operations were presented in different boxes. Participants had to memorize some numbers, apply different operations to these numbers and remember the last number obtained. Each list started with a number of initial items corresponding to the load, as specified below, of each list. These initial items were displayed in boxes, from left to right, for 2000 ms. Then arithmetical operations consisting of an addition or subtraction sign and a number (0, 1, 2 or 3) were displayed randomly in different boxes. The number of arithmetical operations presented varied from 6 to 9. There were two types of item: those requiring or not requiring updating. The items involving no updating included arithmetical operations with - 0 and + 0, while those requiring an updating step included arithmetical operations such as -1, + 1, - 2, + 2, - 3, + 3. Only one operation was presented at a time and remained on screen for 2000 ms. Participants had to mentally apply the

arithmetical operation presented in a given box to the number previously displayed in the same box, and then remember the result in order to use it in the next arithmetical operation appearing in the same box. They therefore always had to apply the new operation to the latest result obtained in a given box. At the end, silver boxes cued participants to type in the last result obtained in each box. Feedback was provided after each list.

The lists of numbers differed in terms of the memory load and degree of suppression required to fulfil the task aims. There were four memory load levels, which varied according to the number of elements (from 2 to 5) that had to be memorized. The degree of suppression was manipulated across two levels (low vs. high) by varying the proportion of non-updating versus updating items. In the low-suppression condition, two thirds of the items did not involve updating (with operations of +0 or -0), while the remaining third required updating (items with other operations). In the high-suppression condition, one third of the items were non-updating and two third were updating. Therefore, in the latter condition, participants were required to update the information more frequently.

The adaptive group performed this task on different levels of difficulty: after a participant completed two lists correctly, the load was increased for the next list. When participants failed in two consecutive lists, the load was reduced in an element. The first list for a given load involved a low suppression, then successful participants were administered a high-suppression list.

The non-adaptive group always performed the task on the same level of difficulty, using a memory load of two and in the high-suppression condition. These levels and conditions were chosen to make the task more enjoyable for this group.

The dependent variable was the percentage of correct lists recalled.

*Number Size Updating* task (based on Carretti et al., 2007, and Lendínez, Pelegrina, & Lechuga, 2011). As in the previous task, ten lists of numbers were presented in different boxes. Participants had to memorize the last number in each box according to a given criterion. This task was similar to the Arithmetical Updating task, the only difference being the stimuli presented and the requirement of the task. The same load levels of and suppression sublevels were also used. In the low-suppression lists, one third of the items were updating items, whereas in the high-suppression lists two thirds of the

items were updating items. Thus, depending on the level of suppression, the lists differed in terms of the amount of no-longer relevant information that had to be discarded.

Each list was preceded by a message specifying whether participants had to remember the smaller or larger numbers that were presented (each number was presented in a discrete box). The first numbers (between 10 and 99) were presented consecutively, each in a discrete box, from left to right for 2000 ms. Then sequences of two-digit numbers were successively displayed in the various boxes at random, again for 2000 ms. There were two types of items (updating and non-updating), depending on whether the number presented had to be updated according to the larger or smaller number rule. Participants therefore had to either update or remember the (larger or smaller) number in each box in a given item in order to meet the criterion established at the beginning of a given list. At the end of a list, silver boxes appeared for participants to type in the last numbers recalled that met the criterion. After each list, feedback was provided.

As with the previous task, the adaptive group was administered the task on different levels of difficulty, adjusting the memory load and level of suppression, while the non-adaptive group always performed the task with a load of two items and in the high-suppression condition.

The dependent variable was the percentage of correct answers.

#### ***Active control group***

**Tetris.** In this computer game, participants have to rotate and move blocks falling from the top of the screen in order to create horizontal rows without any gaps at the bottom of the screen. When a row is completed, it disappears, and when a certain number of rows have been cleared, the game enters a new difficulty level. If no rows are completed, the blocks pile up until they reach the top of the screen, when the game ends. Thus, the level of difficulty varied according to the participant's ability to play the game.

**Crossword.** In this game, participants are given clues to solve and have to place the words in horizontal and vertical boxes in a square grid. After completing a given crossword, a new and more difficult crossword, in terms of the number of words that the participant was required to find, was presented. In both games, participants could see their scores on the game markers.

### **Cognitive assessment at baseline, post-training, and follow-up**

#### ***Nearest transfer tasks: Working Memory Updating***

*Odd-Even Number Updating* task. In this task, developed for the present study, different lists of numbers between 10 and 99 were presented in a variable number of boxes, depending on the level of memory load (from 2 to 5 boxes). The lists comprised a number of initial items corresponding to the load of each list (that is, three items corresponded to a load level of 3) and nine additional study items. Each list started with a message indicating whether participants had to remember the last odd or the last even number appearing in each box. At the outset, all of the initial items fulfilled the criterion of being updated, such that they had to be memorized. For example, they were odd numbers when the instructions were to recall the final odd numbers. The initial items were presented in separate boxes from left to the right. The rest of the items were presented in boxes selected at random. All items remained on the screen for 3000 ms. Participants had to update the number presented in each box according to the odd-even rule. At the end, when participants saw silver boxes they had to type in the last even or odd numbers, as instructed. An example list is shown on the left side of Figure 1.

As in the trained tasks, there were four memory load levels (levels 2 to 5). All lists were low suppression; that is, two thirds of the items involved no updating, and the remaining third required updating. In the items that required updating, the number presented met the specified criterion (e. g. it was an even number when the last even number had to be retained), while in the non-updating items it did not.

This task had the same load and structure as both the training tasks, with information displayed in different boxes. In all these tasks, the various WMU processes, such as the retrieval, transformation and substitution of the information, were cued in a comparable way. The task started with four practice lists, two with load one and two with load two, and ended when the participant failed in two consecutive lists to avoid frustration, as often done in the literature with complex WM test (e.g. Borella, et al., 2010; Borella & Ribaupierre, 2014). Thus, the dependent variable was the number of correct answers for the whole task. The maximum score was 28.

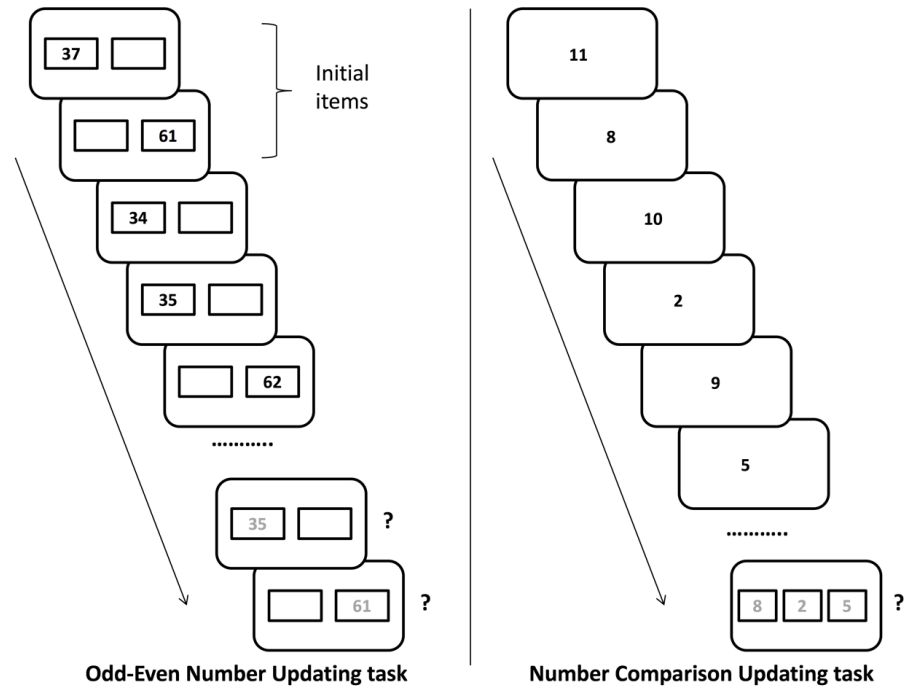
*Number Comparison Updating* task (Carretti et al., 2007). Ten lists of ten numbers were presented in the center of the screen. Each number was

displayed for two seconds followed by a mask (##) for 1 second. Participants had to remember the three smallest numbers on each list. At the end of the list, participants had to type the three smallest numbers in their order of presentation. Unlike the training tasks, in this case the information was presented at the center of the screen so the element to be substituted was not cued and participants had to decide which element of the list to retrieve and when to substitute it. An example is shown on the right side of Figure 1. The task started with four practice lists. The dependent variable was the average of the numbers recalled in the correct order. The maximum score was 30.

***Near transfer task: Working Memory***

*Operation Span* task (Turner & Engle, 1989). This task consisted of sets of pairs of arithmetical expressions (e.g.,  $4 + 3 - 1 = 2$ ) and single-digit numbers (e.g., 8). The arithmetical expressions were presented in sets of 2 to 7 items, depending on the level of memory load. Each list started with the presentation of an arithmetical expression for 5000 ms. Participants had to check it and indicate whether it was correct or not. Then a blue number appeared in the center of the screen for 3000 ms. At the end of each set, participants had to indicate the blue numbers that had appeared after each operation in their order of presentation. Two sets were displayed for each level of memory load. The task ended when a participant failed in two sets with the same load to avoid frustration. There were four practice lists.

As in the Odd-Even Number Updating task, the number of correct answers in all presented lists was considered. The maximum possible score was 54.



*Figure 1.* Working memory updating (WMU) assessment tasks. In the left panel, the Odd-Even Number Updating task is illustrated for a list of load two. In this task, an initial number was presented in each box. Then, a sequence of numbers appeared randomly in the different boxes. Participants had to recall the last odd/even number for each box following a previous criterion. In the example, the criterion was the odd numbers. In the right panel, a schematic representation of a list in the Number Comparison Updating task is displayed. A sequence of 10 numbers was presented in the center of the screen. Participants had to remember, depending on the criterion, the three smallest or largest numbers, in the same order at that in which they were presented. In the example, the criterion was the smallest numbers.

### *Far transfer tasks: fluid intelligence*

*Standard Progressive Matrices* (Raven et al., 1977). Twenty visual patterns with a part missing were presented in this paper-and-pencil task. Different pieces were presented and participants were asked to identify the one needed to complete the pattern. Participants were not allowed to move on to the next pattern before answering for the one currently displayed, nor were they

allowed to use a pencil and paper to solve the problem. The dependent variable was the number of correctly solved problems. The maximum score was 20. Two parallel versions (as in Shipstead et al., 2012) were used, which were counterbalanced across testing sessions.

*Culture Fair Test*, scale 3 (Cattell & Cattell, 1963). Scale 3 of the Cattell test consists of two parallel forms (A and B), each containing 4 subtests to be completed in 2.5 to 4 minutes, depending on the subtest. In the first subtest, Series, participants saw incomplete series of abstract shapes and figures, and had to choose one of six options that best completed the series. In the second subtest, Classifications, participants saw 14 problems consisting of abstract shapes and figures, and had to choose which two of the five differed from the other three. In the third subtest, Matrices, participants were presented with 13 incomplete matrices containing four to nine boxes of abstract figures and shapes plus an empty box and six options: they had to select the answer that correctly completed each matrix. In the final subtest, Conditions, participants were presented with 10 sets of abstract figures, lines and a single dot, along with five options, and they had to assess the relationship between the dot, figures, and lines, then choose the option in which a dot could be positioned in the same relationship. The dependent variable was the number of correctly solved items across the four subsets (maximum score 50).

There were two parallel versions (A and B) of each task. The versions were counterbalanced across assessment sessions following an ABA design that has been used frequently in other training studies (e.g., Borella et al., 2010).

#### *Procedure*

Participants in the three groups attended seven sessions. The first and sixth were the pre- and posttest sessions, and the last one was the follow-up session (1 month later); these sessions were administered individually. During the other four sessions (from the second to the fifth), the training or control activities were administered to pairs of participants that had to do either the WMU training tasks or games. They were accommodated on opposite sides of a desk so that they could not see what the other participant was doing. Although participants knew that they were enrolled in a training study, they did not receive information as to what group they belonged to.

The pretest session aimed to assess the baseline level of each participant in each task. The training started on the day after the pretest session. The posttest session took place at least one day after completing the training. The

comparison between the pre-posttest sessions enabled us to ascertain any changes induced by the training. The follow-up session a month later was to establish whether any changes identified were maintained over time. Each session lasted an hour and the tasks were administered in the order in which they are described in the Materials section.

The adaptive and non-adaptive training groups completed the training over four 30-minute sessions within a 2-week time frame, with a fixed 2-day break between sessions. The WMU training consisted of two numerical training tasks that participants performed twice at each session. First, they performed the Arithmetical Updating task and then the Number Size Updating task. The order of tasks was fixed across sessions and participants. Both groups (adaptive and non-adaptive) performed the same tasks but on different levels of difficulty, i.e. the adaptive training group moved on across different levels of difficulty, the non-adaptive group always performed tasks with a same memory load of two and in the high-suppression condition.

The active control group played Tetris during the first and third sessions and completed crosswords during the second and fourth sessions. The tasks had different levels of difficulty and participants could advance within a session. Thus, when a Tetris game was completed, a new, somewhat more difficult version was presented. When a crossword was solved, a new crossword with more words was displayed. Participants could see their scores on the screen. Both games were played for the same amount of time as the other two groups' training sessions.

## **Results**

### *Baseline measures*

To ensure there were no differences between the groups at the pretest stage, separate analyses of variance (ANOVAs) were run on the pretest performance in all tasks, with group (adaptive, non-adaptive and control) as the between-subjects factor. The results indicated that there were no baseline differences between the groups on each task: Odd-Even Number Updating task,  $F(2, 78) = 1.44$ ,  $p = .244$ ,  $\eta^2 = .04$ ; Number Comparison Updating task,  $F(2, 78) = 2.03$ ,  $p = .138$ ,  $\eta^2 = .05$ ; Operation span task,  $F(2, 78) = .76$ ,  $p = .471$ ,  $\eta^2 =$

.02; Raven,  $F(2, 78) = 1.20$ ,  $p = .306$ ,  $\eta^2 = .03$ ; and Cattell,  $F(2, 78) = 1.84$ ,  $p = .165$ ,  $\eta^2 = .05$  (see Table 1).<sup>1</sup>

Raw and percentage means, for each group and in each assessment session, are shown in Table 1. The percentage values were calculated by considering the highest score obtained in the task for any given participant.

#### *Training gains*

Different dependent variables (because of the different training procedures, adaptive vs non-adaptive) were analyzed to assess the training gains in each group. The mean level reached at each session was considered to analyze the gains in the adaptive training group.

The group given adaptive training gradually improved in the performance of both the training tasks in subsequent sessions (see Figure 2). There was an effect of session,  $F(3, 78) = 36.98$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .59$ , for performance in the Arithmetical Updating task. Post hoc Bonferroni comparisons showed that there were differences between all sessions except between the third and fourth, i.e. performance improved in the second session with respect to the first ( $Mdiff = 0.48$ ,  $p < .001$ ), and improved further in the third ( $Mdiff = 0.72$ ,  $p < .001$ ), and then in the fourth ( $Mdiff = 0.77$ ,  $p < .001$ ). Performance was also higher in the third ( $Mdiff = 0.24$ ,  $p = .045$ ) and fourth sessions ( $Mdiff = 0.29$ ,  $p = .023$ ) than in the second.

Similar results were obtained for the Number Size Updating task. The main effect of session was also significant,  $F(3, 78) = 92.99$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .78$ . Post hoc Bonferroni comparisons showed that there were differences between all sessions, except between the third and fourth, i.e. performance was better in the second ( $Mdiff = 0.61$ ,  $p < .001$ ), third ( $Mdiff = 0.81$ ,  $p < .001$ ), and fourth ( $Mdiff = 0.88$ ,  $p < .001$ ) sessions than in the first. Performance also improved in the third ( $Mdiff = 0.21$ ,  $p = .01$ ) and fourth ( $Mdiff = 0.28$ ,  $p < .001$ ) sessions by comparison with the second.

---

<sup>1</sup> There was a participant in the non-adaptive group whose age differed from the mean age of the other participants. All the analyses described were also run with this participant excluded and the results were largely identical.

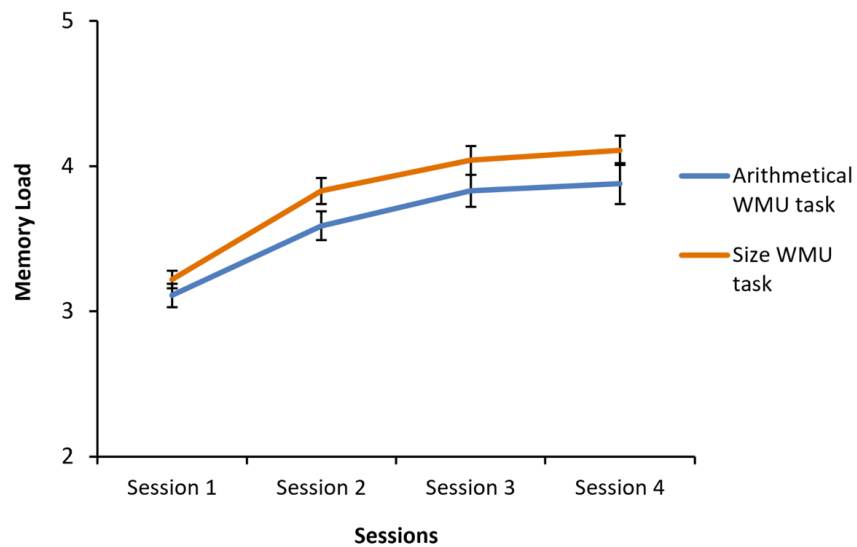
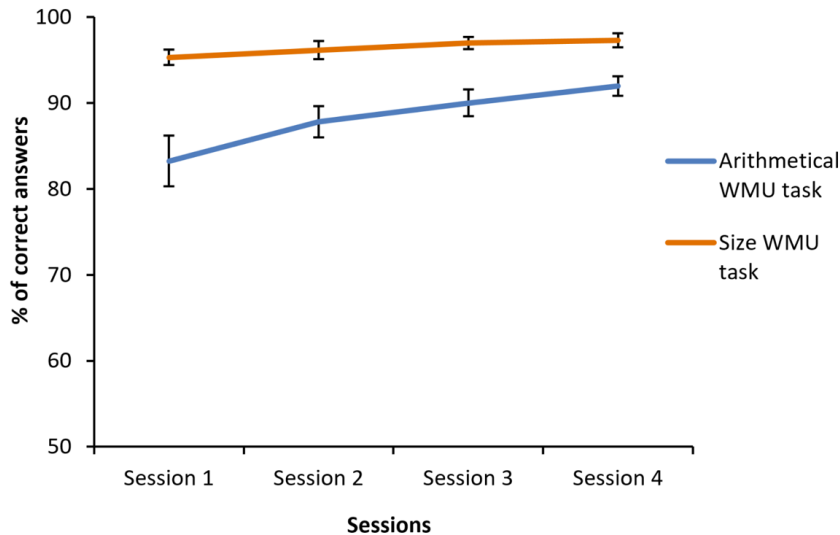


Figure 2. Mean memory load in the two training tasks across the four sessions of adaptive training. The bars represent one standard error of the mean.

The non-adaptive group was given lists on the same level of difficulty across all sessions. Instead of considering the performance reached at each session, the percentage of correct answers obtained on each session was analyzed (see Figure 3). There was an effect of session for performance in the Arithmetical Updating task,  $F(3, 69) = 6.29, p = .01, \eta^2 = .22$ ; and post hoc Bonferroni comparisons showed that performance in the fourth session was higher than in the first ( $Mdiff = 8.75, p = .01$ ). No differences were found between the first and fourth sessions for the Number Size Updating task in this group.



*Figure 3.* Percentage of correct answers in the two training tasks across the four sessions of non-adaptive training. The bars represent one standard error of the mean.

#### *Transfer effects*

To assess the effect of training, a 3 (group: adaptive, non-adaptive, control) x 3 (session: pretest, posttest, follow-up) mixed-design ANOVA was run for each dependent variable, with group as a between-subjects factor, and sessions as repeated measures. One participant in the adaptive training group did not complete the follow-up assessment<sup>2</sup>. Significant main effects and interactions were analyzed using post hoc pairwise comparisons with Bonferroni's correction at  $p < .05$ , adjusted to multiple comparisons. Descriptive statistics are given in Table 1, and the results of the ANOVAs are summarized in Table 2.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> The participant was excluded list-wise from the analyses. Additional analyses were run with this participant excluded and the pattern of results was the same to that described above.

Table 1

*Descriptive pretest, posttest, and follow-up data for the adaptive and non-adaptive training, and the active control groups.*

	Max. Score	Pretest		Posttest		Follow-up	
		M (SD)	Percentage	M (SD)	Percentage	M (SD)	Percentage
WMU Odd-Even Numbers	27						
Adaptive		13.12 (5.31)	48.59	19.54 (5.79)	72.37	20.69 (4.71)	76.63
Non-Adaptive		15.26 (5.13)	56.52	17.48 (5.72)	64.74	17.52 (6.24)	64.89
Control		13.52 (4.46)	50.07	12.07 (5.70)	44.70	14.52 (5.71)	53.78
WMU Number Comparison	30						
Adaptive		20.19 (4.46)	67.30	21.35 (3.39)	71.17	21.96 (4.06)	73.20
Non-Adaptive		20.74 (3.25)	69.13	21.30 (4.11)	71.00	22.33 (5.28)	74.43
Control		18.52 (4.73)	61.73	20.33 (5.37)	67.77	21.11 (5.04)	70.37
WM Operation span	54						
Adaptive		19.77 (15.55)	36.61	34.77 (17.98)	64.39	37.42 (16.04)	69.30
Non-Adaptive		25.70 (18.43)	47.59	33.30 (16.02)	61.67	38.56 (13.89)	71.41
Control		26.00 (16.91)	48.15	31.52 (16.62)	58.37	36.67 (14.47)	67.91
Raven	20						
Adaptive		17.00 (1.57)	85.00	16.92 (1.94)	84.60	17.65 (1.60)	88.25
Non-Adaptive		16.15 (2.86)	80.75	16.89 (2.03)	84.45	16.81 (2.34)	84.05
Control		16.59 (1.93)	82.95	16.56 (1.83)	82.80	16.33 (1.52)	81.65
Cattell	41						
Adaptive		27.73 (4.07)	67.63	28.81 (3.53)	70.27	30.73 (4.77)	74.95
Non-Adaptive		27.48 (4.34)	67.02	29.19 (5.36)	71.20	30.89 (5.25)	75.34
Control		25.85 (3.96)	63.05	26.52 (3.26)	64.68	28.22 (4.27)	68.83

*Note.* Percentages were calculated by considering the maximum score obtained on each task.

Table 2

Results of mixed-design 3 x 3 ANOVA for the measures of interest, with group (adaptive, non-adaptive, control) as the between-subjects factor, and session (pretest, posttest, follow-up) as repeated measures

	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>P</i>	$\eta^2_p$
<b>Transfer effect</b>				
WMU Odd-Even				
Numbers				
Group (G)	7.88	2, 77	.001	.17
Session (S)	15.49	2, 15	.000	.17
G x S	7.36	4, 15	.000	.16
WMU Number				
Comparison				
Group (G)	1.49	2, 77	.233	.04
Session (S)	5.85	2, 15	.004	.07
G x S	0.24	4, 15	.916	.01
WM Operation Span				
Group (G)	0.13	2, 77	.874	.00
Session (S)	29.01	2, 15	.000	.27
G x S	1.29	4, 15	.277	.03
Raven				
Group (G)				
Session (S)	1.24	2, 77	.296	.03
G x S	1.61	2, 15	.204	.02
	2.14	4, 15	.079	.05
Cattell				
Group (G)	3.28	2, 77	.043	.08
Session (S)	23.33	2, 15	.000	.23
G x S	0.34	4, 15	.851	.01

Note. G= group; S= session.

#### Nearest transfer effect

For the Odd-Even Number Updating task, the main effect of session was significant,  $F(2, 154) = 15.49, p < .001, \eta^2 = .17$ , indicating a better performance at post-test ( $Mdiff = 2.40, p = .001$ ) and follow-up ( $Mdiff = 3.61, p < .001$ ) than at pretest. The posttest performance was maintained at follow-up. The main effect of group was also significant,  $F(2, 77) = 7.88, p = .001, \eta^2 = .17$ , showing that the adaptive group ( $Mdiff = 4.41, p = .001$ ) and the non-adaptive group ( $Mdiff = 3.38, p = .014$ ) performed better overall than the control group. The significant interaction between session and group,  $F(4, 154) = 7.36, p < .001, \eta^2 = .16$ , revealed that the improvement from pretest to posttest was larger in the adaptive ( $Mdiff = 7.78, p < .001$ ) and non-adaptive ( $Mdiff = 5.41, p = .003$ ) groups than in the control group. A month later, at the follow-up session, only the superiority of the adaptive group relative to the active control group was maintained ( $Mdiff = 6.17, p < .001$ ).

When the effect of session was analyzed independently for each group, performance was better at post-test ( $Mdiff = 6.42, p < .001$ ) and follow-up ( $Mdiff = 7.58, p < .001$ ) than at pretest for the adaptive group, whereas only an improvement from posttest to follow-up ( $Mdiff = 2.44, p = .038$ ) emerged for the non-adaptive group.

In the Number Comparison Updating task, the main effect of session was significant,  $F(2, 154) = 5.85, p = .004, \eta^2 = .07$ , showing that performance was better at follow-up ( $Mdiff = 1.99, p = .005$ ) than at pretest, with no differences between pretest and posttest ( $Mdiff = 1.12, p = .110$ ) and posttest and follow-up ( $p = .509$ ). Neither the effect of group ( $p = .233$ ), nor the interaction ( $p = .916$ ) reached statistical significance, however.

#### *Near transfer effect*

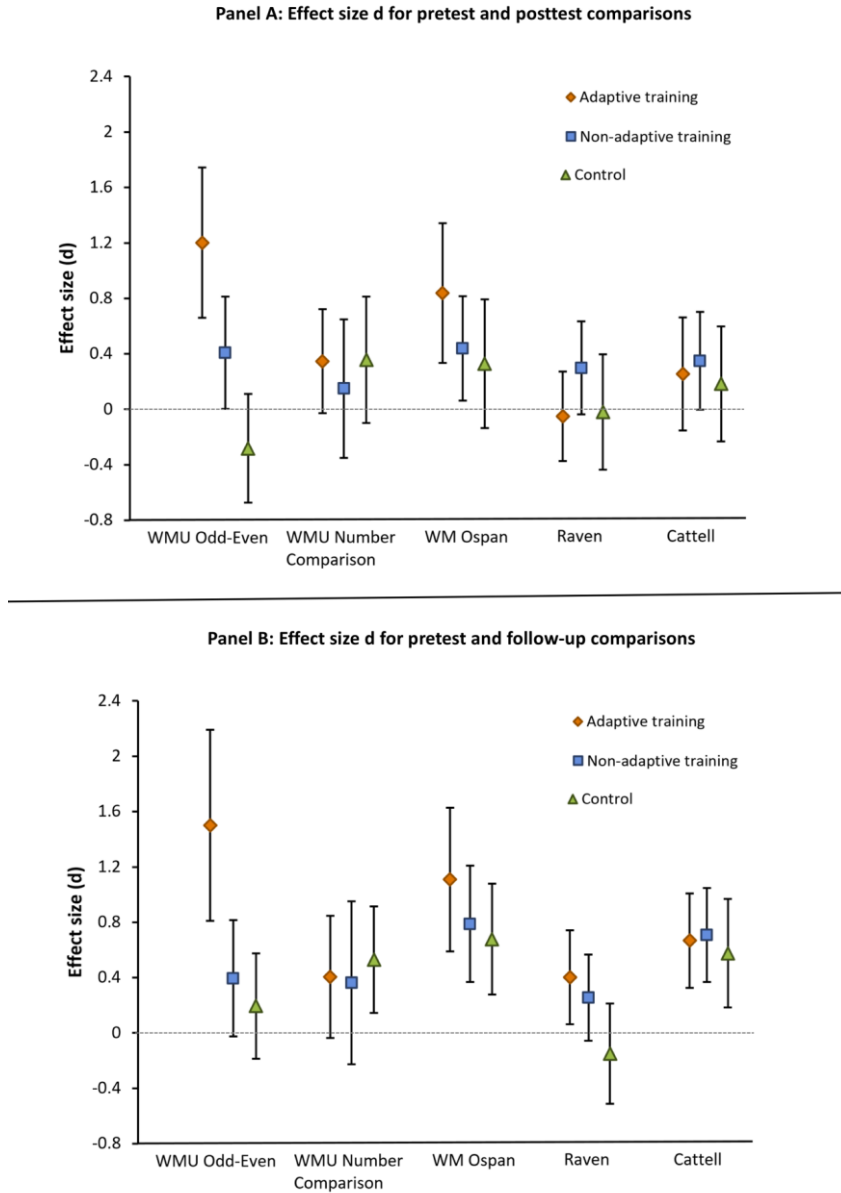
In the Operation Span task, the main effect of session was significant,  $F(2, 154) = 29.01, p < .001, \eta^2 = .27$ , indicating that performance was better at posttest ( $Mdiff = 9.37, p < .001$ ) and follow-up ( $Mdiff = 13.72, p < .001$ ) than at pretest. Performance also continued to improve from posttest to follow-up ( $Mdiff = 4.35, p = .020$ ). Neither the effect of group ( $p = .874$ ), nor the interaction ( $p = .270$ ) were significant.

#### *Far transfer effect*

For the Raven task, the main effects of session and group, and the interaction between them were not significant ( $p = .204, p = .296, p = .079$ , respectively).

As for the Cattell task, the main effect of session was significant,  $F(2, 154) = 23.33, p < .001, \eta^2 = .23$ , indicating that performance was better at posttest ( $Mdiff = 1.15, p = .047$ ) and follow-up ( $Mdiff = 2.93, p < .001$ ) than at pretest. Performance also continued to improve from posttest to follow-up ( $Mdiff = 1.78, p < .001$ ). The main effect of group was also significant,  $F(2, 77) = 3.28, p = .043, \eta^2 = .08$ . None of the comparisons reached statistical significance when post-hoc comparisons were run, however ( $p > .078$ ). The interaction between session and group was not significant ( $p = .573$ ).

For the purpose of analyzing any transfer effects, Cohen's  $d$  (1988) (expressing the effect size of the comparisons) was calculated to establish the effect size by comparing pretest and posttest, and pretest and follow-up measures (see Figure 4). Values higher than 0.80 were considered as large effects.



*Figure 4.* Effect size  $d$  for pretest and posttest comparisons (Panel A) and for pretest and follow-up comparisons (Panel B) showing transfer effects by group (adaptive, non-adaptive and control). Error bars represent 95% confidence intervals.

## Discussion

The present study considered the effects on young adults of a WMU training program under two regimens, adaptive and non-adaptive, comparing both with an active control group that practiced with tasks unrelated to WM. Overall results showed that the training produced a specific improvement in a WMU task similar to the one used in the training, prompting a better performance in both the trained groups (adaptive and non-adaptive) with respect to the control. This means that the gains were due to the training and not to the effects of test-retest practice. There was also some evidence of maintenance effects a month after completing the training.

### *Transfer effects*

The training produced a specific improvement in one of the updating tasks (Odd-Even Number Updating), which measured nearest transfer effects, and this benefit persisted a month later. This task has the same structure as the tasks used in the training (and the Number Comparison Updating task in particular), although it differs in terms of the updating criterion, so it loads the trained WMU components. For each item, participants had to retrieve an element from their WM, decide whether or not to substitute the information based on a specific criterion and, where appropriate, update the element. As in the training tasks, participants were cued about the element they needed to retrieve, focus their attention on, and possibly substitute, by means of boxes on the screen that identified each of the elements maintained in WM.

Unlike the previous updating task, the Number Comparison Updating task - assumed to measure nearest transfer effects – revealed no training effects. This task is structurally dissimilar to the training tasks because participants had to identify the element to retrieve, and then substitute it if necessary, but the element was not indicated as in the Odd-Even Number Updating task.

An additional difference between the two WMU assessment tasks was that only the Odd-Even Number Updating varied in memory load, similar to the trained tasks. Such a pattern of results seems to suggest that training with different loads leads to specific improvement in the maintenance component of updating. In this case, an effect would be easier to detect with the Odd-Even Number versus Number Comparison Span task, which has a fixed load. However, as discussed below, the lack of a transfer effect to the other WM measure – the Operation Span task (which varies also in memory load) –

indicates that the gains observed cannot be attributed to improvement in the maintenance component per se.

These results may thus mean that the training had more effect on the performance of the task itself than on the WMU process. The enhanced efficiency identified could be mediated by strategy use. In other words, participants may have acquired a strategy suited to the tasks used during the training and then applied it to the Odd-Even Number Updating task (which shared the same characteristics as the training tasks). Improvements due to strategy use are generally task-specific, however, and lead to a narrow effect (von Bastian & Oberauer, 2014). However, we have no information concerning strategy use, including the type of strategy, by our participants. Future studies should thus purpose to investigate this issue more directly, by assessing the strategy used, for example.

It is also worth mentioning that the training included two different WMU tasks and therefore it may be difficult to disentangle the specific contribution of each one to the benefits observed in training gain. Given that the training tasks were structurally similar, they may have conferred equivalent benefits on the structurally similar WMU task. Common strategies used during training could be applied to this transfer task. At the same time, the training tasks differed in the specific numerical operations used to determine the updating criterion, as well as in the numerical stimuli used. This training variability may have produced the nearest transfer effect by fostering more flexible approach to tasks similar in terms of processes involved. Further research should improve our understanding of transfer moderators in WM training studies.

The absence of specific gains in performance in the Number Comparison Updating task suggests that the WMU training tasks did not influence such underlying processes such as access to information, substitution of information, or inhibition of irrelevant elements. These processes are shared by all the updating tasks used here, so improvements should have been seen in both WMU tasks if the related processes had really been affected by the training, whereas this was not the case.

There may be other explanations for the lack of generalization to Number Comparison Updating task, however. It could be that participants opted for a passive strategy in performing this task, i.e. they might wait until the end of the sequence of numbers and then retrieve all the elements presented from

their long-term memory and select the three smallest ones. Different studies have shown that this passive strategy may sometimes be adopted in updating tasks, such as the running task (Botto, Basso, Ferrari, & Palladino, 2014; Bunting, Cowan, & Saults, 2006; Palladino & Jarrold, 2008; Ruiz, Elosúa, & Lechuga, 2005).

Other measures used to assess transfer effects showed no specific improvements after the training. For instance, no specific gains were observed for the Operation Span. A number of WMU training studies also failed to identify any transfer effect on this type of complex measure of WM, which involves both retaining and processing information (Dahlin, Nyberg, et al., 2008; Jaeggi et al., 2008; Lilienthal et al., 2013; Redick et al., 2013). Similarly, the absence of specific far transfer effects to the fluid intelligence measures is consistent with numerous other studies (Dahlin, Nyberg, et al., 2008; Küper & Karbach, 2015; Redick et al., 2013, Salminen et al., 2012; Waris et al., 2015; although see Jaeggi et al., 2008).

Concerning the corollary aim of our studies, that comparison of two different training regimens (adaptive and non-adaptive), performance in the Odd-Even Number Updating task improved independent of the training regimen in comparison with the active control group. There was no evidence to suggest that the adaptive training was superior, and this is consistent with the findings of aging studies (Karbach & Verhaeghen, 2014). It is worth bearing in mind, nevertheless, that the effect size was numerically larger for the adaptive group than for the non-adaptive group, not only in this task but also in the Operation Span task; this difference was maintained even after 1 month. Although the confidence intervals substantially overlap, this result seems to indicate that adaptive training promotes improved performance in the Operation Span task, which was not seen with the non-adaptive treatment. Such a result suggests that this benefit may be attributable to the adaptive regimen, but further confirmation is required.

All in all, these findings seem to indicate that the training might be moving in the right direction, possibly producing this specific transfer effect after more training sessions. In addition, a novel finding of the present study lies in that, whatever the training regimen used, WMU can be specifically trained and improved in some degree at least in tasks with the same structure.

Apart from the previously-described specific effect, no other transfer effects came to light. The performance of the three groups involved in this study

improved in several tasks, however, and these gains were maintained after a month. To be specific, improvements were found in both the WMU tasks (Odd-Even Number Updating and Number Comparison Updating), in the working memory task (Operation Span) and in a fluid intelligence measure (Cattell). These nonspecific effects of the training may be due to practice and also to participants' familiarization with the experimental setting during the training sessions, which could make them better disposed to dealing with the tasks administered at the posttest session. These findings highlight the importance of always including in the same training setting an active control group involved in different tasks from those used in the training. As for the specific tasks used in the present study, Tetris can be considered mainly as a visuospatial task, while crosswords principally involve searches of long-term memory. It could be argued that the games used for the active control group, as with most of the tasks, required a degree of working memory; however, neither game appears to load specifically on WM resources. Additionally, it might also be a good idea to include a passive control group to ascertain whether any gains seen in the active control group are due to the tasks performed or to other factors, such as the assessment setting.

#### *Strengths and weakness of the present study*

This training study has the novelty of having analyzed the effect of different cognitive demands imposed by a WMU training in young adults by considering two training regimens, adaptive and non-adaptive. The study also included WMU tasks not previously used in training studies. The results show some evidence of transfer—albeit limited to a specific nearest transfer effects - and some maintenance effects. To complete these tasks correctly, participants had to access information retained in their memory, apply the necessary comparison or other operation, and substitute the previously-stored number with the resulting new number.

It is worth emphasizing that performance in a specific updating task could be improved with a limited number of sessions and a total of two hours of training. In the present study, a steady increase in performance was observed only until the third session. It is possible that the amount of improvement between the third and the fourth sessions was not large enough to induce significant differences in the measures used.

The results obtained in the present WMU training study are in line with other reports on short-lived WM training studies that were also successful. For

example, Van der Molen, van Luit, van der Molen, Klugkist and Jongman (2010) provided training on complex WM tasks for less than two hours and found improvements afterwards in a simple arithmetic task, a story recall task and a visual WM task. More recently, Küper and Karbach (2015) also found some gains after five 30-minute sessions in which participants practiced with two versions of the *n*-back task. The present training regimen, although short in terms of the number of sessions, may have promoted a method for completing the WM updating task, in the training tasks, in a more flexible way.

The present study underscores the importance of including different tasks to assess near transfer effects. This enables specific information to be obtained on the potential mechanism underlying any such effects. It would be interesting to analyze whether other WMU training methods can improve the process itself, or whether the benefits are limited to the generalization of the strategy used, since we did not examine what types of strategy were used by our participants. As argued by Chein and Morrison (2010), moreover, it would be useful to include at least two tasks loading the processes whose transfer we wish to assess in order to ensure that any effects identified are due to the process itself and not to the characteristics of the task.

Finally, no far transfer effects were found in this study. Using a different WMU training procedure (e.g., Jaeggi et al., 2008), other authors identified benefits in fluid intelligence, as assessed with Raven's matrices. The current results point toward the importance of understanding how to improve the efficacy of the training regimen to be presented in order to produce more profound changes, i.e. in terms of transfer gains. A clear result of the present study is that the adaptivity of the training is not a key aspect; however, an aspect to consider more closely is the interval between sessions, and their intensity: Jaeggi et al., (2008) for example, reported transfer to fluid intelligence after daily training over 12 sessions.

A possible limitation of the present study was that the training tasks were numerical, whereas the games used for the active control group included verbal and visuospatial components. The difference in material types may have led to underestimation of the effect of training in the fluid intelligence tasks comprising visuospatial stimuli. Future studies should assess whether WMU training with other types of stimuli (e.g., spatial) produces equivalent results, for instance in terms of learning a strategy.

### **General conclusion**

To conclude, this study examined the transfer effects of a WMU training program under two regimens, one adaptive, and the other with a fixed level of difficulty. Although some other studies used updating tasks, few of them focused on training this process alone. Our training program produced a specific transfer effect on a numerical updating task that was similar to the one used in the training, in terms of the requirements of the task, and this effect was maintained a month later. Even though neither near nor far transfer effects were found, this study shows that WMU training can improve performance in other structurally similar WMU tasks, irrespective of whether an adaptive or fixed-difficulty training regimen is adopted, probably via strategy learning.

### **Compliance with Ethical Standards**

This study was supported in part by a grant from the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness (PSI2012-37764).

The authors declare that they have no conflict of interest.

All procedures performed in studies involving human participants were in accordance with the ethical standards of the institutional and/or national research committee and with the 1964 Helsinki declaration and its later amendments or comparable ethical standards.

Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

### **References**

- Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuhl, M., & Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, *22*(2), 366-377. doi: 10.3758/s13423-014-0699-x
- Belacchi, C., Carretti, B., & Cornoldi, C. (2010). The role of working memory and updating in Coloured Raven Matrices performance in typically developing children. *European Journal of Cognitive Psychology*, *22*(7), 1010-1020. doi: 10.1080/09541440903184617
- Borella, E., Carretti, B., & Pelegrina, S. (2010). The specific role of inhibition in reading comprehension in good and poor comprehenders. *Journal of Learning Disabilities*, *43*(6), 541-552. doi: 10.1177/0022219410371676

- Borella, E., Carretti, B., Riboldi, F., & De Beni, R. (2010). Working memory training in older adults: evidence of transfer and maintenance effects. *Psychology and Aging, 25*(4), 767-778. doi: 10.1037/a0020683
- Borella, E., & de Ribaupierre, A. (2014). The role of working memory, inhibition, and processing speed in text comprehension in children. *Learning and Individual Differences, 34*, 86-92. doi: 10.1016/j.lindif.2014.05.001
- Botto, M., Basso, D., Ferrari, M., & Palladino, P. (2014). When working memory updating requires updating: Analysis of serial position in a running memory task. *Acta Psychologica, 148*, 123-129. doi: 10.1016/j.actpsy.2014.01.012
- Bunting, M., Cowan, N., & Saults, J. S. (2006). How does running memory span work? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 59*(10), 1691-1700. doi: 10.1080/17470210600848402
- Carretti, B., Borella, E., Zavagnin, M., & De Beni, R. (2012). Gains in language comprehension relating to working memory training in healthy older adults. *International Journal of Geriatric Psychiatry, 28*(5), 539-546. doi: 10.1002/gps.3859
- Carretti, B., Cornoldi, C., De Beni, R., & Romanò, M. (2005). Updating in working memory: A comparison of good and poor comprehenders. *Journal of Experimental Child Psychology, 91*(1), 45-66. doi: 10.1016/j.jecp.2005.01.005
- Carretti, B., Cornoldi, C., & Pelegrina, S. L. (2007). Which factors influence number updating in working memory? The effects of size, distance and suppression. *British Journal of Psychology, 98*(1), 45-60. doi: 10.1348/000712606X104175
- Cattell, R. B., & Cattell, H. E. P. (1963). *Measuring intelligence with the Culture Fair Tests*. Champaign, IL: Institute for Personality and Ability Testing.
- 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. doi: 10.1080/13825580600987660
- Chein, J. M., & Morrison, A. B. (2010). Expanding the mind's workspace: training and transfer effects with a complex working memory span task. *Psychonomic Bulletin & Review, 17*(2), 193-199. doi: 10.3758/PBR.17.2.193
- Cohen, J., (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. Lawrence Erlbaum: Hillsdale, NJ, US.

- Dahlin, E., Neely, A. S., Larsson, A., Bäckman, L., & Nyberg, L. (2008). Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. *Science*, *320*(5882), 1510-1512. doi: 10.1126/science.1155466
- Dahlin, E., Nyberg, L., Bäckman, L., & Neely, A. S. (2008). Plasticity of executive functioning in young and older adults: immediate training gains, transfer, and long-term maintenance. *Psychology and Aging*, *23*(4), 720-730. doi: 10.1037/a0014296
- Dougherty, M. R., Hamovitz, T., & Tidwell, J. W. (2016). Reevaluating the effectiveness of n-back training on transfer through the Bayesian lens: Support for the null. *Psychonomic Bulletin & Review*, *23*(1), 306-316. doi: 10.3758/s13423-015-0865-9
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, *17*(2), 172-179. doi: 10.1111/j.1467-9280.2006.01681.x
- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, *137*(2), 201-225.
- Gernsbacher, M. A., Varner, K. R., & Faust, M. E. (1990). Investigating differences in general comprehension skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *16*(3), 430-445. doi: 10.1037/0278-7393.16.3.430
- Jaeggi, S., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *105*(19), 6829-6833. doi: 10.1073/pnas.0801268105
- Jausovec, N., & Jausovec, K. (2012). Working memory training: Improving intelligence – changing brain activity. *Brain and Cognition*, *79*, 96-106. doi: 10.1016/j.bandc.2012.02.007
- Karbach, J., & Verhaeghen, P. (2014). Making working memory work: A meta-analysis of executive control and working memory training in older adults. *Psychological Science*, *25*(11), 2027-2037. doi: 10.1177/0956797614548725
- Küper, K., & Karbach, J. (2015). Increased training complexity reduces the effectiveness of brief working memory training: evidence from short-term single and dual n-back training interventions. *Journal of Cognitive Psychology*, *28*(2), 199-208. doi: 10.1080/20445911.2015.1118106

- Lendínez, C., Pelegrina, S., & Lechuga, T. (2011). The distance effect in numerical memory-updating tasks. *Memory & Cognition*, *39*(4), 675-685. doi: 10.3758/s13421-010-0047-y
- Li, S. C., Schmiedek, F., Huxhold, O., Röcke, C., Smith, J., & Lindenberger, U. (2008). Working memory plasticity in old age: practice gain, transfer, and maintenance. *Psychology and Aging*, *23*(4), 731-742. doi: 10.1037/a0014343
- Lilienthal, L., Tamez, E., Shelton, J. T., Myerson, J., & Hale, S. (2013). Dual n-back training increases the capacity of the focus of attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, *20*(1), 135-141. doi: 10.3758/s13423-012-0335-6
- Lövdén, M., Bäckman, L., Lindenberger, U., Schaefer, S., & Schmiedek, F. (2010). A theoretical framework for the study of adult cognitive plasticity. *Psychological Bulletin*, *136*(4), 659-676. doi: 10.1037/a0020080
- Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2016). There is no convincing evidence that working memory training is effective: A reply to Au et al. (2014) and Karbach and Verhaeghen (2014). *Psychonomic Bulletin & Review*, *23*(1), 324-330. doi: 10.3758/s13423-015-0862-z
- Morrison, A. B., & Chein, J. M. (2011). Does working memory training work? The promise and challenges of enhancing cognition by training working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, *18*(1), 46-60. doi: 10.3758/s13423-010-0034-0
- Noack, H., Lövdén, M., Schmiedek, F., & Lindenberger, U. (2009). Cognitive plasticity in adulthood and old age: gauging the generality of cognitive intervention effects. *Restorative Neurology and Neuroscience*, *27*(5), 435-453. doi: 10.3233/RNN-2009-0496
- Oberauer, K., Wendland, M., & Kliegl, R. (2003). Age differences in working memory—The roles of storage and selective access. *Memory & Cognition*, *31*(4), 563-569. doi: 10.3758/BF03196097
- Palladino, P., Cornoldi, C., De Beni, R., & Pazzaglia, F. (2001). Working memory and updating processes in reading comprehension. *Memory & Cognition*, *29*(2), 344-354. doi: 10.3758/BF03194929
- Palladino, P., & Jarrold, C. (2008). Do updating tasks involve updating? Evidence from comparisons with immediate serial recall. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *61*(3), 392-399.
- Passolunghi, M. C., & Pazzaglia, F. (2004). Individual differences in memory updating in relation to arithmetic problem solving. *Learning and Individual Differences*, *14*(4), 219-230. doi: 10.1016/j.lindif.2004.03.001

- Pelegrina, S., Capodiecì, A., Carretti, B., & Cornoldi, C. (2014). Magnitude representation and working memory updating in children with arithmetic and reading comprehension disabilities. *Journal of Learning Disabilities, 48*(6), 658-668. doi: 10.1177/0022219414527480
- Raven, J., Court, J. H., & Raven, J. C. (1977). *Standard Progressive Matrices*. H.K. Lewis: London.
- Redick, T. S., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Fried, D. E., Hambrick, D. Z., ... & Engle, R. W. (2013). No evidence of intelligence improvement after working memory training: a randomized, placebo-controlled study. *Journal of Experimental Psychology: General, 142*(2), 359-379. doi: 10.1037/a0029082
- Ruiz, M., Elosúa, M. R., & Lechuga, M. T. (2005). Old-fashioned responses in an updating memory task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 58*(5), 887-908. doi: 10.1080/02724980443000395
- Salminen, T., Strobach, T., & Schubert, T. (2012). On the impacts of working memory training on executive functioning. *Frontiers in Human Neuroscience, 6*, 166. doi: 10.3389/fnhum.2012.00166
- 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. doi: 10.1037/0882-7974.6.1.118
- Sandberg, P., Rönnlund, M., Nyberg, L., & Neely, A. S. (2014). Executive process training in young and old adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition, 21*(5), 577-605. doi: 10.1080/13825585.2013.839777
- Schmidt, R. A., & Bjork, R. A. (1992). New conceptualizations of practice: Common principles in three paradigms suggest new concepts for training. *Psychological Science, 3*(4), 207-217. doi: 10.1111/j.1467-9280.1992.tb00029.x
- Schmiedek, F., Hildebrandt, A., Lövdén, M., Wilhelm, O., & Lindenberger, U. (2009). Complex span versus updating tasks of working memory: the gap is not that deep. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 35*(4), 1089-1096. doi: 10.1037/a0015730
- Shipstead, Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2010). Does working memory training generalize. *Psychologica Belgica, 50*(3-4), 245-276. doi: 10.5334/pb-50-3-4-245
- Shipstead, Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2012). Is working memory training effective? *Psychological Bulletin, 138*(4), 628-654. doi: 10.1037/a0027473
- Sprenger, A. M., Atkins, S. M., Bolger, D. J., Harbison, J. I., Novick, J. M., Chrabaszcz, J. S., ... & Dougherty, M. R. (2013). Training working

- memory: Limits of transfer. *Intelligence*, 41(5), 638-663. doi: 10.1016/j.intell.2013.07.013
- Thompson, T. W., Waskom, M. L., Garel, K. L. A., Cardenas-Iniguez, C., Reynolds, G. O., Winter, R., ... & Gabrieli, J. D. (2013). Failure of working memory training to enhance cognition or intelligence. *PloS one*, 8(5), e63614. doi: 10.1371/journal.pone.0063614
- Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task-dependent? *Journal of Memory and Language*, 28(2), 127-154. doi: 10.1016/0749-596X(89)90040-5
- Van der Molen, M., Van Luit, J. E. H., Van der Molen, M. W., Klugkist, I., & Jongmans, M. J. (2010). Effectiveness of computerised working memory training in adolescents with mild to borderline intellectual disabilities. *Journal of Intellectual Disability Research*, 54(5), 433-447. doi: 10.1111/j.1365-2788.2010.01285.x
- von Bastian, C. C., & Eschen, A. (2015). Does working memory training have to be adaptive? *Psychological Research*, 80(2), 181-194. doi: 10.1007/s00426-015-0655-z
- von Bastian, C., Langer, N., Jäncke, L., & Oberauer, K. (2013). Effects of working memory training in young and old adults. *Memory & Cognition*, 41, 611-624. doi: 10.3758/s13421-012-0280-7
- von Bastian, C., & Oberauer, K. (2014). Effects and mechanisms of working memory training: a review. *Psychological Research*, 78, 803-820. doi: 10.1007/s00426-013-0524-6
- Waris, O., Soveri, A., & Laine, M. (2015). Transfer after working memory updating training. *PloS One*, 10(9), e0138734. doi: 10.1371/journal.pone.0138734
- Westerberg, H., & Klingberg, T. (2007). Changes in cortical activity after training of working memory – a single-subject analysis. *Physiology and Behavior*, 92, 186-192. doi: 10.1016/j.physbeh.2007.05.041
- Willis, S. L., Blieszner, R., & Baltes, P. B. (1981). Intellectual training research in aging: Modification of performance on the fluid ability of figural relations. *Journal of Educational Psychology*, 73(1), 41-50. doi: 10.1037/0022-0663.73.1.41
- Xiu, L., Zhou, R., & Jiang, Y. (2015). Working memory training improves emotion regulation ability: Evidence from HRV. *Physiology & Behavior*, 155, 25-29. doi: 10.1016/j.physbeh.2015.12.004



**Principales resultados y**  
**discusión**



## **6. PRINCIPALES RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Diferentes estudios han mostrado el importante papel que juega la actualización en diferentes aspectos relacionados con la cognición. Por ejemplo, existen pruebas que muestran la relación entre este proceso y otras funciones o procesos cognitivos (Borella et al., 2010; Carretti et al., 2005; Gernsbacher et al., 1990; Palladino et al., 2001; Passolunghi y Pazzaglia, 2004; Pelegrina et al., 2014). El objetivo de esta Tesis era estudiar distintos aspectos relacionados con la actualización. Así, esta Tesis comprende tres estudios. Un primer estudio sobre diferencias asociadas a la edad, un segundo centrado en analizar cómo se recupera la información que va a ser actualizada y un tercer y último estudio sobre un programa de entrenamiento implicando los diferentes componentes de este proceso.

A lo largo de la presente discusión se desarrollará un apartado para cada uno de los estudios que conforman esta Tesis. Dentro de cada apartado se comenzará contextualizando el estudio y realizando un breve resumen del desarrollo del mismo. Se continuará exponiendo los principales resultados encontrados, y se finalizará con las principales implicaciones teóricas de los mismos y la posible relación entre éstos y los resultados encontrados en otros estudios. Se concluirá este capítulo de discusión con unas conclusiones generales y unos apuntes para investigaciones futuras.

### **6.1. Análisis de los cambios asociados a la edad de los componentes de la actualización**

El primer estudio de esta Tesis surgió a partir de los resultados encontrados en otros estudios sobre diferencias asociadas a la edad en los primeros años de la vida y la adolescencia en el proceso de actualización (Belacchi et al., 2010; Garon et al., 2008; Huizinga et al., 2006; Kwon et al., 2002; Lechuga et al., 2006; Schleepen y Jonkman, 2009; Vuontela et al., 2003). En estos trabajos, el proceso de actualización ha sido considerado de manera global. Por este motivo, en este estudio se quería determinar la existencia de posibles diferencias asociadas a la edad en la niñez y la adolescencia en diferentes procesos o componentes implicados en la actualización.

Las tareas que se habían utilizado hasta el momento en este tipo de estudios no permitían diferenciar las posibles diferencias asociadas a la edad de

cada componente, bien porque no incluían todos los componentes o porque su diseño no permitía este tipo de análisis. Por ello, en este estudio se utilizó una versión adaptada de la tarea de Ecker et al. (2010) que había mostrado ser eficaz para captar diferencias en cada componente. Esta tarea numérica incluía seis condiciones experimentales resultantes de la combinación factorial de los diferentes componentes considerados y se administró a niños de 8, 11 y 14 años y a adultos jóvenes.

De manera general, se esperaba encontrar que cuando alguno de los componentes estuviera implicado en la tarea la exactitud fuera menor y se empleara más tiempo que cuando no lo estaba. De manera más específica, se esperaba encontrar diferencias asociadas a la edad más pronunciadas en algunos componentes, como la recuperación, puesto que Ecker et al. (2010) encontraron que este componente era el que más determinaba las diferencias individuales. En relación a los otros dos componentes, no se partió de ninguna hipótesis previa específica.

Los resultados mostraron que los tres componentes afectaban a la exactitud y al tiempo de respuesta y que conforme aumentaba la edad de los participantes éstos eran más rápidos y más exactos en sus respuestas.

Más interesante es el hecho de que la exactitud con la que la información era recuperada mostraba diferencias asociadas a la edad, de manera que los niños de 8 años eran menos exactos que el resto de grupos y también el grupo de 11 años respecto a los adultos. Sin embargo, no se encontraron diferencias con la edad en la velocidad con la que se accede a la información. El hecho de que los niños sean menos exactos en la recuperación sugiere que en esta etapa podría estar afectada la disponibilidad de las representaciones, es decir, la calidad de las representaciones recuperadas. En cambio, no habría diferencias en la accesibilidad o la velocidad con la que es accedida, relacionada con los tiempos de respuesta.

Las diferencias asociadas a la edad encontradas en disponibilidad podrían explicarse por diferentes factores. Es probable que los niños sean menos capaces de seleccionar elementos con precisión cuando están fuera del foco atencional porque encuentran mayor dificultad para establecer asociaciones entre elementos o porque son más susceptibles a la interferencia. A continuación, se expondrán ambas explicaciones.

### **6.1.1. Dificultad para establecer asociaciones entre elementos**

Respecto al primer factor explicativo, diferentes estudios han mostrado que los adultos vinculan los elementos que mantienen en memoria y que el establecimiento de asociaciones o vínculos es más sensible a la medida de exactitud (Artuso y Palladino, 2014). Por tanto, es posible que los niños muestren más dificultad para establecer vínculos entre ítems o entre ítems y su contexto. Según el modelo de Oberauer (2013), lo que realmente se encuentra en el foco atencional es la representación de ese ítem y su clave contextual vinculados entre sí. Por tanto, si los niños tienen más dificultad para vincular ítem y contexto, es probable que la clave contextual no active el ítem adecuado. Hay poca información sobre los cambios asociados a la edad que se producen en el uso de información asociativa en memoria de trabajo en la niñez aunque algunos estudios han señalado que la habilidad para retener asociaciones entre objetos y sus localizaciones o entre partes de objetos mejora en esta etapa (Cowan, Naveh-Benjamin, Kilb, y Sauls, 2006; Lorsbach y Reimer, 2005; Sluzenski, Newcombe, y Kovacs, 2006).

Por ejemplo, Cowan, Sauls y Morey (2006) encontraron que la habilidad para establecer asociaciones entre elementos visuales y espaciales cambia con la edad. Resultados similares encontraron Fandakova, Sanders, Werkle-Bergner, y Shing (2014) quienes mostraron que los niños de 10 a 12 años y de 13 a 15 tenían más dificultades para establecer asociaciones entre estímulos y sus localizaciones espaciales respecto a los adultos jóvenes.

### **6.1.2. Más susceptibilidad a la interferencia**

En relación al segundo factor explicativo, los niños podrían ser más susceptibles a sufrir interferencia que afectaría a la información mantenida fuera del foco. Según el modelo de interferencia de Oberauer y Kliegl (2006), la interferencia aumenta cuanto más similares son los elementos mantenidos en la memoria, lo que lleva a un peor rendimiento en tareas de memoria. Proponen dos tipos de interferencia, por un lado, la interferencia debida a la confusión de elementos y por otro, la interferencia producida por la sobreescritura de las características que forman las representaciones. Diferentes estudios han encontrado diferencias asociadas a la edad en el primer tipo de interferencia, es decir, los niños serían más propensos a la confusión entre los elementos mantenidos. Sin embargo, no se ha encontrado que el otro tipo de interferencia debida a la sobreescritura cambie con la edad (Göthe et al., 2012; Rodríguez-Villagra et al., 2013).

Las diferencias en disponibilidad pero no en la accesibilidad de los elementos fuera del foco atencional que se han encontrado en este estudio con niños también se han hallado en personas mayores (Dorbath y Titz, 2011; Oberauer et al., 2003; Verhaeghen y Hoyer, 2007). Por ejemplo, Verhaeghen y Basak (2005), encontraron que los mayores mostraban menor exactitud pero los mismos tiempos de reacción que los jóvenes en una versión de la tarea de actualización n-back, lo que posteriormente se ha replicado con otras versiones (Basak y Verhaeghen, 2011; Vaughan et al., 2008). Puesto que el rendimiento para los elementos dentro del foco es igual para adultos jóvenes y mayores, estos autores sugieren que las personas mayores podrían ser más susceptibles a la interferencia del resto de elementos mantenidos fuera del foco atencional. De esta manera, cuanto mayor es la carga en la memoria de trabajo, más difícil es codificar, mantener y recuperar asociaciones entre estímulos sobre todo cuando estas asociaciones no cuentan con claves externas (Basak y Verhaeghen, 2011; Vaughan et al., 2008). En definitiva, el patrón obtenido en este estudio es similar a la disociación entre disponibilidad y accesibilidad que se ha encontrado en la población más mayor.

A diferencia de la recuperación, no se han encontrado cambios asociados a la edad en los componentes de sustitución y transformación. En relación al primer componente, previamente, Lendínez et al. (2015) evaluaron las posibles diferencias asociadas a la edad en la sustitución de información y tampoco encontraron cambios significativos.

En relación a la transformación, no conocemos ningún estudio que haya analizado específicamente cambios asociados a la edad en este componente. No obstante, se ha encontrado que el desarrollo cognitivo está asociado a un incremento de la velocidad de procesamiento, lo que podría conducir a realizar las operaciones matemáticas más rápidamente (Kail, 1993; Kail y Salthouse, 1994).

En resumen, en el primer estudio de esta Tesis se ha comprobado que los tres componentes influyen en la exactitud y los tiempos de respuesta de la actualización. Además, solo se han encontrado diferencias evolutivas en la exactitud pero no en la velocidad con la que los niños recuperan información que se encuentra fuera del foco atencional. Es probable que los niños más pequeños tengan más dificultad para establecer vínculos entre elementos en la memoria de trabajo o sean más susceptibles a la interferencia entre los elementos mantenidos.

## 6.2. Recuperación y cambio de objeto

Diferentes estudios han empleado dos formas de manipular el acceso a la información en tareas de actualización, bien utilizando una clave asociada al objeto cuya información ha de recuperarse o bien requiriendo o no explícitamente la recuperación de la información. De hecho, puede asumirse que en un caso se manipula el acceso al contexto, mientras que en otro la recuperación de la información. El segundo estudio de esta Tesis surgió para determinar si ambos procesos ocurren simultáneamente o se inician en distintos momentos. Además, esto se analizó junto al cambio de tarea que puede requerir mecanismos de control similares.

En un primer experimento, se administró una tarea numérica que requería realizar las sucesivas operaciones aritméticas que se iban presentando asociadas dos figuras coloreadas distintas. El participante debía recordar siempre el último resultado asociado a cada una de ellas. Con esta tarea se manipuló, en primer lugar, el acceso al objeto, de manera que en algunas ocasiones era necesario acceder a una figura diferente (ensayos de cambio), mientras que en otras se repetía la misma figura en dos ensayos consecutivos (ensayos de no cambio). En segundo lugar, se manipuló la recuperación de la información. En algunas ocasiones, se presentaba la operación completa por lo que no era necesario recuperar información para realizar la operación, tan solo acceder al objeto. En otras, la operación se presentaba incompleta por lo que era necesario recuperar el número asociado a ese objeto para poder realizarla. Finalmente, se manipuló la alternancia entre operaciones de recuperación. El cambio entre la operación de recuperar y no recuperar daba lugar a un efecto del cambio de tarea. Por esta razón, se incluyó una condición en la que cambiaba la operación de recuperación en dos ítems consecutivos y otra en la que se repetía.

De acuerdo con estudios previos, se esperaba encontrar que la recuperación de la información no supusiera un coste adicional al acceso al objeto (Bialkova y Oberauer, 2010). Además, se predecía que el cambio de objeto y el cambio de tarea interactuaran de manera que el coste del cambio de objeto fuera menor cuando la tarea era diferente que cuando se repetía (Risse y Oberauer, 2009, Verhaeghen y Basak, 2005).

Se encontró que cambiar la atención de un objeto a otro implicaba un coste que se veía incrementado cuando había que recuperar la información asociada a ese objeto, sugiriendo que el acceso al contexto y la recuperación de la información no se producían de manera simultánea.

Inesperadamente, cuando no había que cambiar de objeto se encontró que el efecto de recuperar información tenía un efecto diferente en función del tipo de lista. En las listas mixtas, que implicaban un cambio de operación de recuperación, no se encontró un efecto de la recuperación. Este resultado es compatible con la idea de que en esos ensayos el contenido asociado al objeto estaría activo en el foco atencional, con lo que no sería necesaria su recuperación. En cambio, en las listas simples, en las que la operación de recuperación se repetía, se necesitaba menos tiempo en realizar las operaciones incompletas que requerían recuperar el primer operando que las completas. Una de las explicaciones posibles a este beneficio temporal de la recuperación se relaciona con el procedimiento autoadministrado de la tarea. Así, es posible que, en las operaciones incompletas en las que el primer operando está activo en el foco atencional, los participantes hayan mostrado cierta tendencia a anticiparse lo que les llevaría a avanzar al siguiente ensayo rápidamente concluyendo incluso el procesamiento en el tiempo entre estímulos. Si esto fuese así, el beneficio temporal en los ensayos de no cambio en los que se repetía la operación debería producirse también en ciertos ensayos análogos incluidos en las listas mixtas. Ha de considerarse que estas estaban compuestas por ítems en los que cambiaba la operación de recuperación y otros en los que se repetía. Por tanto, sería necesario analizar por separado ambos tipos de ítems de las listas mixtas.

Con el objetivo de corroborar los resultados anteriores y de examinar si este beneficio temporal asociado a la recuperación se debía a la emisión de respuestas anticipatorias, se llevó a cabo un segundo experimento. Este tenía dos versiones. En ambas se incluyeron exclusivamente listas mixtas pero se dobló su número para analizar el cambio de operación de recuperación dentro de la misma lista. La principal diferencia entre ambas versiones de este segundo experimento es que en la segunda se pedía que se introdujese el resultado tras cada operación, lo que permitía analizar los errores cometidos en la tarea.

Como en el primer experimento, en las dos versiones de este experimento, se encontró un efecto de la recuperación en los ensayos que requerían cambio de objeto, sugiriendo de nuevo la implicación de dos procesos en el cambio de foco atencional: el acceso al contexto y la recuperación de la información. Además, en los ensayos en los que no había cambio de objeto, también se producía un efecto diferente de la recuperación. Así, cuando la operación de recuperación se repetía se encontraba de nuevo un beneficio temporal. Sin embargo, a diferencia del primer experimento, cuando la

operación de recuperación cambiaba se observaba un mayor número de errores y un coste temporal independientemente de si era necesario cambiar o no de objeto. Por tanto, es posible que este efecto no se encontrara en las listas mixtas del primer experimento porque estas incluían ensayos en los que se repetía y ensayos en los que cambiaba la operación. Los efectos opuestos en ambos tipos de ítems se habrían compensado entre sí.

A continuación, se discutirán los principales resultados obtenidos atendiendo a los dos principales hallazgos encontrados en el estudio: la disociación del acceso al objeto y la recuperación del contenido y la influencia del cambio de tarea en este efecto.

### **6.2.1. Efecto de la recuperación cuando cambia el objeto**

Se ha propuesto que el cambio de objeto puede descomponerse en el acceso al objeto y la recuperación del contenido. Los resultados de este estudio sugieren que ambos procesos son independientes y que no se producen simultáneamente. Esta evidencia proviene del coste temporal que se ha encontrado cuando, tras acceder a un nuevo objeto, hay que recuperar la información asociada. Esto sucedía cuando se presentaban operaciones incompletas (p. e.  $\cdot +2$ ). Así, cuando se cambiaba de objeto y era necesario recuperar el número asociado el coste temporal era mayor que cuando no había que recuperar ningún elemento porque toda la información se presentaba en la pantalla (p. e.  $1+2$ ). Es preciso matizar que este efecto aparece claramente en las seis situaciones analizadas menos en una, sin que se encuentre una explicación satisfactoria para tal excepción.

El efecto de recuperación del contenido no se encontró en el estudio de Bialkova y Oberauer (2010), lo que llevó a estos autores a concluir que el acceso al contexto y la recuperación del contenido se realizan simultáneamente. Aunque las tareas de ambos estudios eran bastante similares, es posible que ciertas diferencias puedan haber conducido a resultados distintos. Por ejemplo, ambas diferían en el número de objetos incluidos en la tarea y en el tipo de clave para acceder al objeto. No obstante, más que a la recuperación, estas diferencias podrían haber afectado al acceso al contexto. De hecho, distintos estudios evidencian que incluye en el cambio de objeto (Oberauer et al., 2003; Verhaeghen y Basak, 2005; Verhaeghen et al., 2004).

Hay, sin embargo, una diferencia entre ambas tareas que puede haber contribuido a que las operaciones completas se hayan realizado a una velocidad mayor en este estudio. En la tarea de Bialkova y Oberauer (2010), cuando

presentaban operaciones completas, el número mantenido en memoria para un objeto no se correspondía con el primer operando de la operación siguiente, ya que la selección de los operandos se realizaba al azar. En cambio, en la tarea del presente estudio, el primer operando de las operaciones completas se correspondía siempre con el resultado de la operación anterior. Por ejemplo, si en un ensayo el número mantenido para un objeto era el 3 y la operación a realizar era + 2, se generaba la operación “3 + 2” en el caso de las operaciones completas y “· + 2” en el caso de las incompletas. En ambos casos el número que el participante debía calcular y memorizar era el 5. Seguir este procedimiento permitía equiparar ambas condiciones de recuperación, por ejemplo, en términos de distancia numérica. Es probable que la utilización del número mantenido para un objeto como primer operando haya producido un efecto de facilitación que no estaba presente en el estudio de Bialkova y Oberauer (2010).

Independientemente de las posibles diferencias entre ambas tareas, los resultados de la presente investigación apoyan la idea sobre la existencia de dos subprocesos en el cambio de foco atencional. Así, puede asumirse que la activación de un contenido en el foco atencional requiere la activación previa de su contexto. Este mecanismo de recuperación se ha contemplado en diferentes modelos de memoria de trabajo (Brown, Preece, & Hulme, 2000; Burgess & Hitch, 1999; Nairne, 2002; McElree, 2006; Oberauer, 2013; Oberauer, Lewandowsky, Farrell, Jarrold, & Greaves, 2012). Otros autores han sugerido incluso que podrían estar implicados subprocesos adicionales. Así, Berti (2016) ha apuntado que el cambio podría subdividirse en al menos tres procesos diferentes: el procesamiento de la clave (p. e. en el presente estudio, la figura geométrica o el color), la distribución de la atención al objeto relevante o localización (p. e. activando la representación de ese objeto) y la preparación del objeto para un procesamiento posterior (p. e. haciendo la información más accesible). Los dos primeros subprocesos podrían referirse al proceso que en el estudio de la Tesis se considera como el acceso al objeto mientras que el último podría relacionarse con la recuperación de la información. Preparar el objeto para realizar alguna tarea con él implica hacer que la información que esté asociada al mismo se encuentre más activa para poder operar con ella.

### **6.2.2. Efecto de la recuperación en ensayos de no cambio**

En la presente investigación, además del acceso al objeto y la recuperación del contenido, se manipuló el cambio de operación de

recuperación. En este estudio la alternancia entre ambos tipos de operaciones daba lugar al cambio de tarea. Así, había dos condiciones, la repetición de la misma operación de recuperación (ya fuera la operación de recuperación o de no recuperación) o el cambio entre ambas operaciones.

En el primer experimento el cambio de tarea se manipuló utilizando diferentes tipos de listas. Este método se conoce como el procedimiento de listas y se basa en la comparación de bloques de listas simples en las que se repite la misma tarea con bloques de listas mixtas en los que hay cambio de tarea (Jersild, 1927; Spector y Biederman, 1976). En las dos versiones del segundo experimento, se empleó otro procedimiento de cambio de tarea en el que sólo se incluían listas mixtas (Meiran, 1996; Sudevan y Taylor, 1987). Tal y como se esperaba, en ambos procedimientos se encontró que se empleaba menos tiempo cuando se repetía la misma operación de recuperación que cuando ésta cambiaba. No obstante, estos efectos han sido modulados por la manipulación del cambio de objeto y la recuperación de la información. A continuación se discutirán los efectos principales encontrados.

Como se ha comentado anteriormente, en los ensayos en los que se producía un cambio de objeto, la recuperación de la información tenía generalmente un coste asociado. En cambio, en los ensayos en los que no había cambio de objeto, el efecto de la recuperación de la información era diferente en función de la repetición o el cambio de la operación de recuperación. Cuando la tarea cambiaba se encontró un coste de la recuperación independientemente del cambio de objeto.

Una posible explicación ante este coste de recuperación es que antes de que se recupere la información la operación de recuperación debe vincularse al objeto sobre el que se aplicará. Cuando uno de los dos (operación de recuperación u objeto) cambia este vínculo debe restablecerse para poder recuperar la información que está asociada. Esta propuesta es compatible con los resultados obtenidos por Oberauer (2009) y Souza, Oberauer, Gade y Druey (2012). Siguiendo a estos autores, el objeto se encontraría activo en el foco de atención que forma parte de la memoria de trabajo declarativa mientras la tarea (la operación de recuperación en este caso) se encontraría activa en el foco de respuesta que es parte de la memoria de trabajo procedimental. Entre ambos focos debe establecerse un vínculo. Así, cuando una de las dos representaciones cambia, sería necesario volver a restablecer ese vínculo. Esto sería un paso previo antes de poder acceder al contenido.

Por otro lado, en presencia de una repetición de la operación, se encontró un beneficio asociado a la recuperación de la información. Este efecto facilitador de la recuperación fue, en un principio, inesperado ya que no se preveía ningún efecto de la recuperación. Tras obtener este resultado en el primer experimento se planteó la posibilidad de que los tiempos de respuesta menores en los ensayos que implicaban recuperación se debieran al proceso de autoadministración de la tarea que requería pulsar una tecla para avanzar a lo largo de los ensayos. No obstante, esta explicación se descartó con los resultados obtenidos en la segunda versión del segundo experimento en el que se requería introducir el resultado tras realizar cada operación.

Una explicación alternativa a este beneficio temporal se basa en que cuando hay que recuperar la información para realizar la tarea, el primer operando y la tarea se encuentran activos en el foco atencional. Por tanto, no es necesario procesar el primer operando para realizarla porque ya está activado, tan solo hay que procesar el segundo. En cambio, cuando toda la información para realizar la operación se presenta en la pantalla, habría que codificar y activar ambos operandos aunque el primero ya esté activo en el foco atencional, implicando más tiempo que cuando sólo se requería codificar el segundo (operaciones incompletas). De esta manera, los resultados sugieren que codificar ambos operandos (incluso cuando uno coincide con el valor mantenido en memoria) requiere más tiempo que codificar solo uno y usar el que se mantiene en el foco.

En resumen, en el segundo estudio de la Tesis Doctoral se ha mostrado que la recuperación de la información requiere un tiempo adicional al necesario para acceder a un objeto. Esto sugiere que es posible acceder al contexto y al contenido de manera separada cuando un objeto es activado en el foco atencional. Además, la recuperación de la información conlleva un coste cuando se produce un cambio en la operación de recuperación o en el objeto. Este resultado sugiere que el objeto y la tarea se encuentran vinculados y cuando uno de los dos cambia es necesario volver a restablecer ese vínculo para posteriormente poder recuperar la información asociada al objeto.

### **6.3. El entrenamiento de la actualización de la memoria de trabajo**

Diferentes estudios que entrenan el proceso de actualización han mostrado pruebas de que es posible mejorar el rendimiento en otros procesos o funciones ejecutivas (Jaeggi et al., 2008; Salminen et al., 2012; Xiu et al.,

2015). Sin embargo, de todos ellos, algunos sólo han encontrado mejoras reducidas en otras tareas de actualización (Dahlin, Neely et al., 2008; Li et al., 2008) mientras que otros no han encontrado ningún beneficio (Redick et al., 2013). Diferentes factores se han propuesto como posibles explicaciones de esta variabilidad en los resultados. A este respecto, una primera cuestión es si el entrenamiento produce mejoras en el proceso entrenado o se desarrolla una estrategia que se va optimizando a lo largo del entrenamiento. Otro factor es el régimen de entrenamiento. Algunos estudios han sugerido que utilizar un procedimiento adaptativo que ajusta la dificultad de la tarea al rendimiento del participante podría ser más beneficioso que entrenar con un nivel no adaptativo (Lilienthal et al., 2013; pero véase Karbach y Verhaeghen, 2014, Minear et al., 2016; von Bastian y Eschen, 2015). Además, diferentes revisiones sobre entrenamiento también han considerado cuestiones sobre el diseño del estudio y en concreto sobre el tipo de grupo de control (Morrison y Chein, 2011; Shipstead et al., 2010). El objetivo de este estudio era examinar los efectos de transferencia de un programa de entrenamiento considerando los factores anteriores.

En el estudio realizado, se entrenaron dos tareas de actualización que implicaban los tres componentes durante 4 sesiones de media hora. Tres grupos participaron en el estudio. El primero realizaba las tareas de actualización con dificultad variable en función de su rendimiento (grupo adaptativo), el segundo grupo realizaba las mismas tareas con un nivel bajo y fijo de dificultad (grupo no adaptativo) y el tercer grupo realizaba tareas no relacionadas con el proceso entrenado (grupo control activo). Se evaluó si el programa de entrenamiento producía mejoras en otras habilidades utilizando dos tareas de actualización (transferencia más cercana), una de memoria de trabajo (transferencia cercana) y dos de inteligencia fluida (transferencia lejana). De las dos tareas empleadas para evaluar la transferencia a la actualización, una tarea era estructuralmente muy parecida a las entrenadas y la otra tarea era diferente. Se realizó una sesión de evaluación un mes después para examinar si los posibles beneficios encontrados se mantenían.

Siguiendo estudios previos, se esperaba corroborar una mejora tras el entrenamiento en los dos grupos entrenados (adaptativo y fijo) en las medidas de actualización (transferencia más cercana) y memoria de trabajo (transferencia cercana) (Dahlin, Neely et al., 2008; Jaeggi et al., 2008; Salminen et al., 2012; Waris et al., 2015; Xiu et al., 2015), debiendo ser menos evidente la mejora en inteligencia fluida (transferencia lejana) de acuerdo a los resultados

no concluyentes de otros estudios (Dahlin, Nyberg et al., 2008; Jaeggi et al., 2008; Küper y Karback, 2015; Redick et al., 2013; Salminen et al., 2012; Sandberg et al., 2014; Waris et al., 2015). Se esperaba que la mejora en las medidas de transferencia más cercana y transferencia cercana se mantuviera un mes después. No obstante, si el entrenamiento sólo permitiese la adquisición de una estrategia adecuada para realizar las tareas entrenadas, se esperaría únicamente transferencia a la tarea de actualización similar a las entrenadas. Respecto al régimen de entrenamiento, aunque se esperaba que ambos grupos de entrenamiento mejoraran respecto al grupo control y que estos resultados se mantuvieran un mes después, en línea con Lilienthal et al. (2013), se preveía que los beneficios para el grupo adaptativo fueran mayores.

Los resultados mostraron que todos los grupos mejoraron en las tareas de actualización (transferencia más cercana), memoria de trabajo (transferencia cercana) y en una tarea de inteligencia fluida (transferencia lejana). Estos resultados se mantenían tras un mes. Además, el rendimiento de los grupos adaptativo y no adaptativo era superior en la tarea de actualización similar a las entrenadas respecto al grupo control. Adicionalmente, se encontraron tamaños del efecto numéricamente grandes (mayores de 0.8) para el grupo adaptativo en la tarea de actualización similar y la tarea de memoria de trabajo.

A continuación, se discutirán los resultados encontrados considerando tres aspectos fundamentales de este estudio, los efectos de transferencia y mantenimiento en relación con el origen de la mejora, la adaptabilidad del entrenamiento y la inclusión de un grupo control activo.

### **6.3.1. Efectos de transferencia y mantenimiento**

En relación a los efectos de transferencia, se ha encontrado un efecto de transferencia más cercana en los grupos adaptativo y no adaptativo. Específicamente, estos grupos mejoraban en la tarea de actualización semejante a la entrenada y esta mejora se mantenía un mes después. Sin embargo, no se encontraron efectos de transferencia a la tarea de actualización estructuralmente diferente, ni a las medidas de transferencia cercana o lejana.

Los beneficios encontrados específicamente en la tarea semejante a la entrenada para los grupos entrenados (adaptativo y no adaptativo) y la falta de transferencia a otras tareas (entre las que se encuentra la otra tarea de actualización) parecen ser indicadores de la adopción de una estrategia particular para realizar la tarea más que una mejora del proceso de actualización en sí.

Si se considera la estructura de cada tarea se puede observar como la de la tarea *Odd-Even Number Updating*, en la que se ha encontrado la mejora, es muy semejante a la de las tareas entrenadas, aunque difiere en el criterio de actualización. Al igual que éstas, la presentación de los ítems en diferentes casillas servía como pista para saber el ítem en concreto que podía ser actualizado o no en cada ensayo. Además, la secuencia de pasos de procesamiento era similar. Así, esta tarea también requería recuperar el número asociado, decidir si actualizar la información o no en base al criterio dado y cuando fuera conveniente, llevar a cabo la sustitución del número anterior por el nuevo. En cambio, en la otra tarea, *Number Comparison Updating*, la información se presentaba sucesivamente en el centro de la pantalla. Así, ninguna clave permitía identificar qué número había que actualizar como en la otra tarea debiendo los participantes decidir cuál sustituir en cada momento.

Así, la mejora en la tarea similar parece señalar que se ha potenciado la eficacia con la que se realiza, probablemente por la adquisición de una estrategia durante el entrenamiento que ha podido ser aplicada a esta tarea dada la similitud estructural que comparte con las entrenadas. Algunos estudios que han entrenado específicamente estrategias han encontrado una mejora en el rendimiento de las tareas entrenadas (Carretti et al., 2007; Karbach et al., 2010). Sin embargo, los efectos de transferencia son más limitados cuando se consideran tareas con material o estructura diferente (Lustig, Shah, Seidler, y Reuter-Lorenz, 2009)

La falta de transferencia a la otra tarea de actualización podría señalar que no se ha producido una mejora del proceso de actualización o de alguno de los componentes implicados, como la recuperación o la sustitución de la información. No obstante, no puede descartarse la opción de que en esta tarea, los participantes, más que actualizar, hayan utilizado una estrategia pasiva, esperándose hasta el final de la secuencia para seleccionar los elementos de la memoria a largo plazo. Algunos estudios han encontrado que es posible aplicar esta estrategia pasiva en este tipo de tareas (Botto, Basso, Ferrari, y Palladino, 2014; Bunting, Cowan, y Saults, 2006; Palladino y Jarrold, 2008; Ruiz, Elosúa, y Lechuga, 2005). Otra posible explicación es que la mejora se haya producido solamente en la tarea *Odd-Even Number Updating* porque es la única en la que varía la carga de memoria al igual que en las tareas entrenadas. Sin embargo, la falta de transferencia específica a la tarea de memoria de trabajo *Operation Span* en la que también varía la carga parece descartar esta explicación.

Diferentes estudios han analizado los beneficios de utilizar estrategias en el rendimiento de tareas de memoria de trabajo, considerando que esta técnica permite realizar un uso más eficiente de la memoria de trabajo dando cuenta de las diferencias individuales en tareas de amplitud (Dunlosky y Kane, 2007; McNamara y Scott, 2001). No obstante, los beneficios que pueden obtenerse de su empleo son específicos del material y el proceso entrenado, tal y como se ha encontrado en el estudio de esta Tesis Doctoral. Generalmente, se ha analizado el uso de estrategias en la realización de una tarea solicitando información a los participantes al final de la misma acerca de la estrategia que han utilizado durante su desarrollo (Friedman y Miyake, 2004; McNamara y Scott, 2001; Turley-Ames y Whitfield, 2003). Aunque estas medidas han resultado ser bastante fiables, otro método efectivo consiste en pedir a los participantes que informen de la estrategia utilizada tras cada ensayo y al final de la tarea (Dunlosky y Kane, 2007). En relación con esto último, una limitación del presente estudio es que no se ha obtenido ninguna medida acerca de la estrategia que se ha utilizado durante la realización de las tareas. Por tanto, sería interesante analizar el uso de estrategias en estudios posteriores incluyendo medidas que permitan recoger información al respecto.

Por otro lado, la falta de transferencia a las otras tareas utilizadas para evaluar la magnitud y extensión de los beneficios (efectos de transferencia cercana y lejana) se encuentra en línea con los resultados encontrados por otros estudios. Para evaluar la memoria de trabajo, en el presente estudio se ha utilizado una tarea compleja que requiere procesar información mientras se mantienen algunos elementos que tienen que ser indicados con posterioridad. Específicamente, en esta tarea, los participantes tenían que señalar si unas operaciones aritméticas eran correctas o no mientras recordaban los números que iban apareciendo tras cada operación. Otros estudios tampoco han encontrado transferencia a este tipo de medidas complejas de memoria de trabajo (Dahlin, Nyberg, et al., 2008; Jaeggi et al., 2008; Lilienthal et al., 2013; Redick et al., 2013), mostrando mejoras en tareas simples que requieren principalmente el mantenimiento de la información (Jaeggi et al., 2008; Waris et al., 2015).

Respecto a la inteligencia fluida, nuestros resultados también concuerdan con los encontrados por los diferentes estudios. Hasta el momento, el entrenamiento realizado por Jaeggi et al., (2008) utilizando una doble *n-back* es el que consistentemente ha producido mejoras en una tarea de inteligencia fluida. Hay diferentes razones que pueden explicar la divergencia entre los

resultados de los estudios. En primer lugar, estos autores encontraron beneficios sólo a partir de los 12 días de entrenamiento. Estos resultados llevan a plantearse si la duración del entrenamiento puede haber propiciado esta mejora en la inteligencia fluida. El programa de entrenamiento del presente estudio sólo implicaba cuatro sesiones que han mostrado ser beneficiosas para producir mejoras específicas pero quizás eran insuficientes para mejorar habilidades menos relacionadas como la inteligencia. No obstante, otros estudios que han entrenado la actualización durante más de las 12 sesiones del estudio de Jaeggi et al. (2008) tampoco han tenido éxito en encontrar este tipo de transferencia (Ang et al., 2015; Dahlin, Nyberg, et al., 2008; Redick et al., 2013; Salminen et al., 2012; Waris et al., 2015). En segundo lugar, podría ser que la doble tarea *n-back* utilizada por Jaeggi et al. (2008) tuviera ciertas características (p.e., fuera lo suficientemente demandante) para producir estos cambios. Sin embargo, estudios que han entrenado esta tarea han tenido resultados negativos (Küper y Karbach, 2015; Redick et al., 2013; Salminen et al., 2012; Waris et al., 2015). Por tanto, continúa siendo una cuestión sin resolver.

En resumen, en relación a los efectos de transferencia, los resultados de este estudio apoyan los efectos limitados a tareas similares que se han encontrado en otros estudios en la literatura científica, sugiriendo que se adquiere una estrategia que puede ser aplicada en tareas que son estructuralmente semejantes más que un potenciamiento del proceso de actualización en sí.

### **6.3.2. Régimen de entrenamiento**

En relación a los procedimientos utilizados en el presente estudio, se ha encontrado que el régimen de entrenamiento adaptativo no era superior a la realización de las tareas con el mismo nivel de dificultad. Como se ha expuesto, se encontró una mejora en la tarea similar de actualización en ambos grupos entrenados, adaptativo y no adaptativo. Diferentes estudios que han incluido un procedimiento adaptativo, sí han encontrado efectos de transferencia a habilidades menos relacionadas con la actualización, como la inteligencia fluida (Jaeggi et al., 2008), la atención (Salminen et al., 2012) o la regulación emocional (Xiu, et al., 2015). Además, Lilienthal et al. (2013) compararon los efectos de un grupo que entrenaba una tarea doble *n-back* de manera adaptativa, otro que realizaba la tarea con un nivel constante de dificultad y un grupo control que sólo asistía a las sesiones de evaluación. Los resultados mostraron que aunque los tres grupos mejoraban en una tarea *n-back*, el grupo adaptativo

era superior respecto al no adaptativo, igual que éste en relación al grupo control.

Sin embargo, los resultados del presente estudio no concuerdan con la idea de que la discrepancia existente entre la dificultad de la tarea y la capacidad del participante pueda conducir a beneficios mayores (Lövdén et al., 2010). Este resultado se alinea con lo encontrado por otros estudios. Por ejemplo, Minear et al. (2016) compararon los beneficios de entrenar una *n-back* espacial de manera adaptativa y no adaptativa con un grupo control activo que jugaba a videojuegos. Encontraron que los dos grupos de entrenamiento mejoraban en otra tarea *n-back* de tipo verbal en comparación con el grupo control. En la misma línea, Von Bastian y Eschen (2015) tampoco encontraron diferencias cuando comparaban el procedimiento adaptativo con la presentación aleatoria de diferentes niveles de dificultad a lo largo del entrenamiento. Resultados similares se han encontrado también en otras poblaciones, como las personas mayores. Por ejemplo, Karbach y Verhaeghen (2014) no observaron tamaños del efecto superiores para el procedimiento adaptativo.

A pesar de lo anterior, es preciso indicar que en el presente estudio se encontraron tamaños del efecto numéricamente grandes (mayores de 0.8) en la tarea de actualización *Odd-Even Number Updating* y en la medida de memoria de trabajo *Operation span* para el grupo adaptativo. Además, estos tamaños del efecto se mantenían un mes después de haber finalizado el entrenamiento. Estos datos podrían inducir a pensar que la adaptabilidad el entrenamiento podría producir mayores beneficios pero que otros factores podrían estar también implicados en esta superioridad, como por ejemplo, el número de sesiones o la exigencia de la tarea.

### **6.3.3. Otras cuestiones relevantes en los estudios de entrenamiento**

Además del efecto específico de transferencia comentado anteriormente, no se encontraron mejoras en otras tareas debido al entrenamiento. El incremento en el rendimiento en los tres grupos puede haberse debido a otros factores, como el contexto de evaluación propiciado por el laboratorio y la presencia del experimentador o la práctica de las tareas, conocida como el efecto test-retest. El hecho de que las puntuaciones del grupo control activo también hayan aumentado tras el entrenamiento, invita a reflexionar acerca de la importancia de incluir este tipo de grupo control en los estudios de entrenamiento. De no haber participado este grupo en el estudio, podría haberse pensado que el entrenamiento era válido para mejorar en el

rendimiento en todas las tareas. Si bien es cierto que cada vez son más los estudios que incluyen grupos de control, muchos de ellos utilizan un grupo pasivo que no interacciona con el contexto o el experimentador durante las sesiones de entrenamiento. Por tanto, en este tipo de grupo no es posible controlar el incremento que puede producirse en el rendimiento debido a la atención prestada por los investigadores o al conocimiento de saber que están siendo entrenados con las consiguientes expectativas sobre el beneficio de ese entrenamiento, también conocido como efecto Hawthorne (McCarney et al., 2007).

Un aspecto importante que ha permitido destacar el presente estudio es la posibilidad de mejorar en una tarea específica con tan sólo cuatro sesiones y dos horas de entrenamiento en total. La duración del presente programa de entrenamiento se determinó basándose en la experiencia previa de algunos autores de este estudio. Estos han encontrado que las personas mayores pueden mejorar en actualización, memoria de trabajo, inteligencia fluida, comprensión lectora y atención tras entrenar con una tarea de memoria de trabajo de categorización durante solo tres sesiones (Borella et al., 2010, Carretti et al., 2012). Estos resultados están en línea con otros estudios que han encontrado beneficios de entrenar durante un período breve de tiempo. Así, Küper y Karbach (2015) encontraron que practicar con dos versiones de la tarea de actualización *n-back* (simple y dual) a lo largo de cinco sesiones de 30 minutos producía una reducción de los costes generales del cambio de tarea. Además, el grupo que entrenaba la versión simple de la *n-back* mejoraba en una tarea numérica *n-back* no entrenada. Van der Molen, van Luit, van der Molen, Klugkist y Jongmans (2010) también encontraron mejoras en una tarea aritmética simple, otra de recuerdo de historias y una tarea visual de memoria de trabajo tras entrenar con tareas de memoria de trabajo complejas durante menos de dos horas.

Así, los programas breves de entrenamiento permiten enfrentarse a las tareas entrenadas de una manera más flexible, evitando inconvenientes de un entrenamiento extenso y que puede afectar disminuyendo el rendimiento a lo largo del mismo. Asimismo, la brevedad es un factor que puede facilitar que un programa de entrenamiento se desarrolle en ámbitos donde el tiempo es escaso, como por ejemplo, en los centros educativos. Por tanto, los resultados de los estudios previos llevan a plantearse si el número de sesiones e incluso la distribución temporal de las mismas podría modular los efectos del

entrenamiento, tal y como apuntaron Jaeggi et al (2008) al encontrar mayores efectos de transferencia cuanto más duradero era el entrenamiento.

Otro aspecto relevante de este estudio es la inclusión de diferentes tareas para evaluar los efectos de transferencia en una misma habilidad. La inclusión de las dos tareas de actualización ha permitido discernir si la mejora encontrada podía deberse al uso de una estrategia específica o a la potenciación del proceso de actualización o de alguno de sus componentes. Por tanto, utilizar diferentes tareas que impliquen la misma habilidad o procesos va a permitir atribuir mejor el origen de los efectos.

Además de los aspectos anteriores, diferentes metaanálisis han señalado la importancia de considerar otros factores que producen diferencias individuales en los efectos de entrenamiento y de transferencia (Morrison y Chein, 2001; von Bastian y Oberauer, 2014). Entre estos factores se encuentran la edad, encontrándose mayores beneficios en adultos jóvenes que en mayores (Dahlin, Nyberg, et al., 2008; Schmiedek et al., 2010, pero véase Li et al., 2008), o el nivel cognitivo inicial, mostrando las personas con mayores niveles cognitivos ganancias superiores tras el entrenamiento (Yesavage, Sheikh, Friedman, y Tanke (1990, pero véase Jaeggi et al., 2008; Karbach y Kray, 2009). Además, factores como la motivación, el esfuerzo o las expectativas también parecen estar relacionados con el rendimiento cognitivo (Brose, Schmiedek, Lövdén, Molenaar, y Lindenberger, 2010; Duckworth, Quinn, Lynam, Loeber, y Stouthamer-Loeber, 2011).

En resumen, el entrenamiento en actualización ha producido una mejora específica en otra tarea de actualización similar estructuralmente a la entrenada, lo que induce a pensar que durante el entrenamiento se ha adquirido una estrategia óptima que ha mejorado la eficacia en esa tarea. Además, entrenar con un procedimiento adaptativo no ha producido mayores beneficios que entrenar con un nivel fijo de dificultad.

#### **6.4. Conclusiones generales y perspectivas futuras**

Esta Tesis Doctoral se ha aproximado al proceso de actualización proporcionando información sobre cómo se relacionan los diferentes componentes que pueden estar implicados. Los tres estudios que conforman esta Tesis han realizado aportaciones diferentes sobre el funcionamiento de la

actualización. A continuación se presentan las principales conclusiones obtenidas en cada uno de ellos y se plantean futuras líneas de investigación.

De los tres componentes estudiados: recuperación, transformación y sustitución, se ha encontrado que la recuperación de la información es el componente con mayor influencia en las diferencias asociadas a la edad encontradas en actualización. En concreto, los niños parecen tener más dificultad para acceder con exactitud a las representaciones mantenidas fuera del foco atencional. Esto podría obedecer a sus mayores dificultades para establecer vínculos entre diferentes representaciones mantenidas en la memoria de trabajo. También podrían deberse a que los niños son más susceptibles a la interferencia producida por otros elementos, lo que afectaría a la disponibilidad de las representaciones. Diferentes estudios han señalado la importancia de recuperar con exactitud la información. Por ejemplo, Unsworth y Engle (2008) encontraron que la precisión con la que la información era recuperada, pero no la velocidad, está relacionada con la amplitud de la memoria de trabajo y con la inteligencia fluida. Además, Magimairaj y Montgomery (2012) señalaron que la exactitud del cambio de foco puede predecir la memoria de trabajo verbal en niños con desarrollo normal.

Diferentes tareas de actualización, como la *n-back*, *keeping track* o *running task*, e incluso de memoria de trabajo, como la *reading span* o la *listening span*, requieren constatemente recuperar información en el foco. Por tanto, la precisión con la que información es accedida puede determinar el rendimiento en esas tareas. Así, cabe la posibilidad de que la exactitud con la que la información es recuperada explique parte de las diferencias asociadas a la edad encontradas en numerosos estudios que han utilizado las tareas anteriores (Brahmbhatt et al., 2010; Huizinga et al., 2006; Pelegrina et al., 2015; Schleepen y Jonkman, 2009; Vuontela et al., 2003).

En cuanto al mecanismo que activa la información en foco de atención, se ha comprobado que la información parece recuperarse una vez que se ha accedido al contexto asociado a ella. De esta manera, traer un elemento al foco atencional entrañaría dos procesos. Por un lado, el procesamiento y activación del contexto, y por otro lado, la recuperación de la información asociada. Ambos procesos podrían producirse de manera secuencial o paralela pero con demora en este último caso. Así, los resultados parecen sugerir que es posible acceder al contexto y a la información asociada al mismo de manera independiente. Sería interesante en futuros estudios aplicar otras técnicas (e.g.,

registros electrofisiológicos) para determinar con mayor precisión el curso temporal de los dos procesos implicados en la activación de la información en el foco de atención.

Por otra parte, la repetición o cambio de la operación de recuperación también influye en el proceso de recuperación. Cuando la operación de recuperación cambia se produce un coste en la recuperación incluso aunque se repita el objeto. Esto sugiere que el objeto y la tarea deben vincularse para poder acceder al contenido. Cuando uno de ellos es modificado se necesita volver a establecer esa vinculación como paso previo para poder recuperar la información.

Por último, en lo referente al entrenamiento, el programa de entrenamiento desarrollado con tareas de actualización resulta beneficioso para producir una mejora en una tarea de actualización estructuralmente muy parecida a las entrenadas. Este resultado sugiere que se ha adquirido una estrategia durante el entrenamiento. Dicha estrategia ha podido ser usada en una tarea que sigue la misma estructura pero no en otras en las que la presentación de la información o los procesos requeridos para realizar la tarea son diferentes o evalúan otros constructos. Sería interesante continuar investigando el desarrollo de estrategias durante el entrenamiento, ya que algunos efectos de transferencia cercanos que han encontrados otros estudios a tareas muy similares podrían ser explicados siguiendo esta lógica.

Los resultados del estudio de entrenamiento también muestran la equivalencia de entrenar con un nivel de dificultad creciente según el rendimiento o con un nivel fijo de dificultad, aunque la adaptabilidad apunte hacia resultados algo superiores.

Finalmente, en futuros estudios podría considerarse la inclusión de un grupo de control pasivo. Esto permitiría determinar si los efectos encontrados por el grupo control activo se deben a la interacción con el contexto de experimentación o a un efecto de las actividades que desarrolla.





## ***Conclusions***



## 7. CONCLUSIONS

This dissertation aimed to contribute to understanding the function of WMU better and, specifically, its components processes. Each of the studies included in this dissertation focused on WMU components from different analysis levels. More specifically, these studies explored possible age-related differences on various WMU components, the retrieval information process, the feasibility of training WMU and the extent to which the effects of training on WMU transfers to other cognitive abilities. The following paragraphs describe the main conclusions of the studies.

1. As age increased, the WMU process was carried out more quickly and accurately. Younger children were less accurate in retrieving information that was maintained outside of the focus of attention. This suggested that the availability of the representations in working memory might change with age. It is possible that younger children experienced more difficulties when using a cue to retrieve the information associated. This might be due to limitations in creating bindings between elements and their contexts or amongst different elements held in WM. In addition, it is possible that younger children were more susceptible to interference from the other elements maintained in WM.
2. Bringing an element into the focus of attention might involve two subprocesses: the processing and activation of the context and the subsequent retrieval of the content. Thus, the main result obtained in this study indicated that context and content could be independently accessed. A second relevant finding was that the retrieval process was required not only when the object switched, but also when the retrieval task switched. This might be because, after the task or the object switched, they must be bound. The content would need to be retrieved whenever a binding has been set up.
3. WMU training might induce gains in other structurally similar tasks to those used in the training, most likely through a strategy learning. Moreover, maintaining a discrepancy between the difficulty of the task and the capacity of participants using an adaptive procedure

might not lead to greater benefits than training with a nonadaptive regimen. The general improvement of the trained groups and the active control group in the majority of the assessed tasks highlighted the importance of including an active control group, ensuring that the results obtained were due to the training itself and not due to motivational or other experiment-related variables.





## *Referencias*



## 8. REFERENCIAS

- Allport, A., Styles, E. A., y Hsieh, S. (1994). Shifting attentional set: Exploring the dynamic control of tasks. En C. Umiltà y M. Moscovitch (Eds.), *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing* (pp. 421–452). Cambridge, MA: MIT Press.
- Ang, S. Y., Lee, K., Cheam, F., Poon, K., y Koh, J. (2015). Updating and working memory training: immediate improvement, long-term maintenance, and generalisability to non-trained tasks. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 4(2), 121-128. doi: 10.1016/j.jarmac.2015.03.001
- Artuso, C., y Palladino, P. (2011). Content–context binding in verbal working memory updating: On-line and off-line effects. *Acta Psychologica*, 136(3), 363-369. doi: 10.1016/j.actpsy.2011.01.001
- Artuso, C., y Palladino, P. (2014). Binding and content updating in working memory tasks. *British Journal of Psychology*, 105(2), 226-242. doi: 10.1111/bjop.12024
- Artuso, C., y Palladino, P. (2016). Modulation of working memory updating: Does long-term memory lexical association matter?. *Cognitive processing*, 17(1), 49-57. doi: 10.1007/s10339-015-0735-4
- Ashby, F. G., Ell, S. W., Valentin, V. V., y Casale, M. B. (2005). FROST: a distributed neurocomputational model of working memory maintenance. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 1728-1743. doi: 10.1162/089892905774589271
- Ashcraft, M. H. (1995). Cognitive psychology and simple arithmetic: A review and summary of new directions. *Mathematical Cognition*, 1(1), 3-34.
- Atkinson, R. C., y Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. *Psychology of Learning and Motivation*, 2, 89-195. doi: 10.1016/S0079-7421(08)60422-3
- Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuhl, M., y Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: a meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(2), 366-377. doi: 10.3758/s13423-014-0699-x
- Awh, E., Jonides, J., Smith, E. E., Schumacher, E. H., Koeppel, R. A., y Katz, S. (1996). Dissociation of storage and rehearsal in verbal working memory: Evidence from positron emission tomography. *Psychological Science*, 7(1), 25-31.

- Baddeley, A. (1983). Working memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 302(1110), 311-324.
- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Oxford: Clarendon.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 49(1), 5-28. doi: 10.1080/713755608
- Baddeley, A. (1998). Recent developments in working memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 8, 234-238. doi: 10.1016/S0959-4388(98)80145-1
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory?. *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423. doi: 10.1016/S1364-6613(00)01538-2
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1-29. doi: 10.1146/annurev-psych-120710-100422
- Baddeley, A., Chincotta, D., y Adlam, A. (2001). Working memory and the control of action: evidence from task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 641. doi: 10.1037/0096-3445.130.4.641
- Baddeley, A., Della Sala, S., Papagno, C., y Spinnler, H. (1997). Dual-task performance in dysexecutive and non dysexecutive patients with a frontal lesion. *Neuropsychology*, 11(2), 187. doi: 10.1037/0894-4105.11.2.187
- Baddeley, A., y Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89. doi: 10.1016/S0079-7421(08)60452-1
- Barrouillet, P., y Fayol, M. (1998). From algorithmic computing to direct retrieval: Evidence from number and alphabetic arithmetic in children and adults. *Memory & Cognition*, 26(2), 355-368. doi: 10.3758/BF03201146
- Basak, C., y Verhaeghen, P. (2011). Aging and switching the focus of attention in working memory: age differences in item availability but not in item accessibility. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 66B, 519-526. doi: 10.1093/geronb/gbr028
- Belacchi, C., Carretti, B., y Cornoldi, C. (2010). The role of working memory and updating in Coloured Raven Matrices performance in typically developing children. *European Journal of Cognitive Psychology*, 22(7), 1010-1020. doi: 10.1080/09541440903184617

- Berti, S. (2016). Switching attention within working memory is reflected in the P3a component of the human event-related brain potential. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. doi: 0.3389/fnhum.2015.00701
- Bialkova, S., y Oberauer, K. (2010). Direct Access to working memory contents. *Experimental Psychology*, 57, 383-389. doi: 10.1027/1618-3169/a000046
- Borella, E., Carretti, B., y Pelegrina, S. (2010). The specific role of inhibition in reading comprehension in good and poor comprehenders. *Journal of Learning Disabilities*, 43(6), 541-552. doi: 10.1177/0022219410371676
- Borella, E., Carretti, B., Riboldi, F., y De Beni, R. (2010). Working memory training in older adults: evidence of transfer and maintenance effects. *Psychology and Aging*, 25(4), 767. doi: 10.1037/a0020683
- Botto, M., Basso, D., Ferrari, M., y Palladino, P. (2014). When working memory updating requires updating: Analysis of serial position in a running memory task. *Acta Psychologica*, 148, 123-129. doi: 10.1016/j.actpsy.2014.01.012
- Braver, T. S. y Cohen, J. D. (2000). On the control of control: the role of dopamine in prefrontal function and memory. En S. Monsell y J. Driver. (Eds.), *Attention and Performance*, XVIII (pp. 713-737). Cambridge, MA: MIT Press.
- Brose, A., Schmiedek, F., Lövdén, M., Molenaar, P. C., y Lindenberger, U. (2010). Adult age differences in covariation of motivation and working memory performance: contrasting between-person and within-person findings. *Research in Human Development*, 7(1), 61-78. doi: 10.1080/15427600903578177
- Bunting, M., Cowan, N., y Saults, J. S. (2006). How does running memory span work? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(10), 1691-1700. doi: 10.1080/17470210600848402
- Brahmbhatt, S. B., White, D. A., y Barch, D. M. (2010). Developmental differences in sustained and transient activity underlying working memory. *Brain Research*, 1354, 140-151. doi: 10.1016/j.brainres.2010.07.055
- Brocki, K. C., y Bohlin, G. (2004). Executive functions in children aged 6 to 13: A dimensional and developmental study. *Developmental Neuropsychology*, 26(2), 571-593.
- Brown, G. D., Preece, T., y Hulme, C. (2000). Oscillator-based memory for serial order. *Psychological Review*, 107(1), 127-181. doi: 10.1037/0033-295X.107.1.127

- Burgess, N., y Hitch, G. J. (1999). Memory for serial order: a network model of the phonological loop and its timing. *Psychological Review*, *106*(3), 551. doi: 10.1037/0033-295X.106.3.551
- Carretti, B., Borella, E., y De Beni, R. (2007). Does strategic memory training improve the working memory performance of younger and older adults?. *Experimental Psychology*, *54*(4), 311-320. doi: 10.1027/1618-3169.54.4.311
- Carretti, B., Borella, E., Zavagnin, M., y Beni, R. (2013). Gains in language comprehension relating to working memory training in healthy older adults. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, *28*(5), 539-546. doi: 10.1002/gps.3859
- Carretti, B., Cornoldi, C., De Beni, R., y Romanò, M. (2005). Updating in working memory: A comparison of good and poor comprehenders. *Journal of Experimental Child Psychology*, *91*(1), 45-66. doi: 10.1016/j.jecp.2005.01.005
- Carriedo, N., Corral, A., Montoro, P. R., Herrero, L., y Rucián, M. (2016). Development of the updating executive function: From 7- year-olds to young adults. *Developmental Psychology*, *52*(4), 666-678. doi: 10.1037/dev0000091
- Chen, T., y 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. doi: 10.1080/13825580600987660
- Chein, J. M., y Morrison, A. B. (2010). Expanding the mind's workspace: Training and transfer effects with a complex working memory span task. *Psychonomic Bulletin & Review*, *17*(2), 193-199. doi: 10.3758/PBR.17.2.193
- Cowan, N. (1995). *Attention and memory. An integrated framework*. New York: Oxford University Press.
- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. En A. Miyake y P. Shah (Eds.), *Models of Working Memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62-101). Cambridge, U.K.: Cambridge University Press.
- Cowan, N., Naveh-Benjamin, M., Kilb, A., y Saults, J. S. (2006). Life-span development of visual working memory: When is feature binding difficult?. *Developmental Psychology*, *42*(6), 1089-1102. doi: 10.1037/0012-1649.42.6.1089
- Cowan, N., Saults, J. S., y Morey, C. C. (2006). Development of working memory for verbal-spatial associations. *Journal of Memory and Language*, *55*(2), 274-289. doi: 10.1016/j.jml.2006.04.002

- Dahlin, E., Neely, A. S., Larsson, A., Bäckman, L., y Nyberg, L. (2008). Transfer of learning after updating training mediated by the striatum. *Science*, 320(5882), 1510-1512. doi: 10.1126/science.1155466
- Dahlin, E., Nyberg, L., Bäckman, L., y Neely, A. S. (2008). Plasticity of executive functioning in young and older adults: immediate training gains, transfer, and long-term maintenance. *Psychology and Aging*, 23(4), 720. doi: 10.1037/a0014296
- Daneman, M., y Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19(4), 450-466. doi: 10.1016/S0022-5371(80)90312-6
- De Beni, R., y Palladino, P. (2004). Decline in working memory updating through ageing. Intrusion errors analyses. *Memory*, 12, 75-89. doi: 10.1080/09658210244000568
- Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A., Allamano, N., y Wilson, L. (1999). Pattern span: a tool for unwinding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia*, 37(10), 1189-1199. doi: 10.1016/S0028-3932(98)00159-6
- Dorbath, L., Hasselhorn, M., y Titz, C. (2011). Aging and executive functioning: A training study on focus-switching. *Frontiers in Psychology*, 2:257. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00257
- Dorbath, L., y Titz, C. (2011). Dissociable age effects in focus-switching: Out of sight, out of mind. *GeroPsych: The Journal of Gerontopsychology and Geriatric Psychiatry*, 24(2), 103-109. doi: 10.1024/1662-9647/a000034
- Dougherty, M. R., Hamovitz, T., y Tidwell, J. W. (2016). Reevaluating the effectiveness of n-back training on transfer through the Bayesian lens: Support for the null. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(1), 306-316. doi: 10.3758/s13423-015-0865-9
- Duckworth, A. L., Quinn, P. D., Lynam, D. R., Loeber, R., y Stouthamer-Loeber, M. (2011). Role of test motivation in intelligence testing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(19), 7716-7720. doi: 10.1073/pnas.1018601108
- Dunlosky, J., y Kane, M. J. (2007). The contributions of strategy use to working memory span: A comparison of strategy assessment methods. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(9), 1227-1245. doi: 10.1080/17470210600926075
- Ecker, U. K., Lewandowsky, S., y Oberauer, K. (2014). Removal of information from working memory: A specific updating process. *Journal of Memory and Language*, 74, 77-90. doi: 10.1016/j.jml.2013.09.003

- Ecker, U. K., Lewandowsky, S., Oberauer, K., y Chee, A. E. (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. doi: 10.1037/a0017891
- Ecker, U. K., Oberauer, K., y Lewandowsky, S. (2014). Working memory updating involves item-specific removal. *Journal of Memory and Language*, *74*, 1-15. doi: 10.1016/j.jml.2014.03.006
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., y Conway, A. R. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: a latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, *128*(3), 309-331. doi: 10.1037/0096-3445.128.3.309
- Fandakova, Y., Sander, M. C., Werkle-Bergner, M., y Shing, Y. L. (2014). Age differences in short-term memory binding are related to working memory performance across the lifespan. *Psychology and Aging*, *29*(1), 140-149. doi: 10.1037/a0035347
- Frank, M. J., Loughry, B., y O' Reilly, R. C. (2001). Interactions between the frontal cortex and basal ganglia in working memory: a computational model. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, *1*, 137-160. doi: 10.3758/CABN.1.2.137
- Friedman, N. P., y Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*(1), 101-135. doi: 10.1037/0096-3445.133.1.101
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C., y Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, *17*(2), 172-179. doi: 10.1111/j.1467-9280.2006.01681.x
- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., y Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, *137*(2), 201-225.
- Garavan, H. (1998). Serial attention within working memory. *Memory and Cognition*, *26*, 263-276. doi: 10.3758/BF03201138
- García-Madruga, J. A., Elosúa, M. R., Gil, L., Gómez-Veiga, I., Vila, J. Ó., Orjales, I., ... & Duque, G. (2013). Reading comprehension and working memory's executive processes: An intervention study in primary school students. *Reading Research Quarterly*, *48*(2), 155-174. doi: 10.1002/rrq.44

- García-Madruga, J. A., Gómez-Veiga, I., & Vila, J. Ó. (2016). Executive Functions and the Improvement of Thinking Abilities: The Intervention in Reading Comprehension. *Frontiers in Psychology*, 7, 58. doi: 10.3389/fpsyg.2016.00058
- Garon, N., Bryson, S. E., y Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134(1), 31-60. doi: 10.1037/0033-2909.134.1.31
- Gathercole, S. E. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(11), 410-419. doi: 10.1016/S1364-6613(99)01388-1
- Gathercole, S. E., y Alloway, T. P. (2008). *Working memory and learning: A practical guide for teachers*. London: Sage.
- Gathercole, S. E., y Pickering, S. J. (2000). Working memory deficits in children with low achievements in the national curriculum at 7 years of age. *British Journal of Educational Psychology*, 70(2), 177-194. doi: 10.1348/000709900158047
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., y Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177-190. doi: 10.1037/0012-1649.40.2.177
- Gehring, W. J., Bryck, R. L., Jonides, J., Albin, R. L., y Badre, D. (2003). The mind's eye, looking inward? In search of executive control in internal attention shifting. *Psychophysiology*, 40, 572-585. doi: 10.1111/1469-8986.00059
- Gernsbacher, M. A., Varner, K. R., y Faust, M. E. (1990). Investigating differences in general comprehension skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(3), 430-445. doi: 10.1037/0278-7393.16.3.430
- Göthe, K., Esser, G., Gendt, A., y Kliegl, R. (2012). Working memory in children: Tracing age differences and special educational needs to parameters of a formal model. *Developmental Psychology*, 48(2), 459-476. doi: 10.1037/a0025660
- Hasher, L., Zacks, R. T., y May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. En D. Gopher y A. Koriat (Eds.), *Attention and performance XVIII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application* (pp. 653-675). Cambridge: MIT Press.
- Hazy, T. E., Frank, M. J., y O'Reilly, R. C. (2007). Towards an executive without a homunculus: computational models of the prefrontal cortex/basal ganglia system. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 362, 1601-1613. doi: 10.1098/rstb.2007.2055

- Huizinga, M., Dolan, C. V., y van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, *44*(11), 2017-2036. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.010
- Jaeggi, S., Buschkuhl, M., Jonides, J., y Perrig, W. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *105*(19), 6829-6833. doi: 10.1073/pnas.0801268105
- Jaušovec, N., y Jaušovec, K. (2012). Working memory training: improving intelligence—changing brain activity. *Brain and Cognition*, *79*(2), 96-106. doi: 10.1016/j.bandc.2012.02.007
- Jersild, A. T. (1927). Mental set and shift. *Archives of Psychology*, *89*.
- Jonides, J., Lacey, S. C., y Nee, D. E. (2005). Processes of working memory in mind and brain. *Current Directions in Psychological Science*, *14*(1), 2-5. doi: 10.1111/j.0963-7214.2005.00323.x
- Kail, R. (1993). Processing time decreases globally at an exponential rate during childhood and adolescence. *Journal of Experimental Child Psychology*, *56*(2), 254-265. doi: 10.1006/jecp.1993.1034
- Kail, R., y Salthouse, T. A. (1994). Processing speed as a mental capacity. *Acta Psychologica*, *86*(2), 199-225. doi: 10.1016/0001-6918(94)90003-5
- Karbach, J., y Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task switching training. *Developmental Science*, *12*(6), 978-990. doi: 10.1111/j.1467-7687.2009.00846.x
- Karbach, J., Mang, S., y Kray, J. (2010). Transfer of task-switching training in older age: the role of verbal processes. *Psychology and Aging*, *25*(3), 677-683. doi: 10.1037/a0019845
- Karbach, J., y Verhaeghen, P. (2014). Making working memory work: A meta-analysis of executive control and working memory training in older adults. *Psychological Science*, *25*(11), 2027-2037. doi: 10.1177/0956797614548725
- Kessler, Y., 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. doi: 10.1037/0278-7393.32.3.570
- Kessler, Y., y Meiran, N. (2008). Two dissociable updating processes in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *34*(6), 1339-1348. doi: 10.1037/a0013078

- Kessler, Y., 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), 738-754. doi: 10.1037/a0035545
- Kessler, Y., y Oberauer, K. (2015). Forward scanning in verbal working memory updating. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(6), 1770-1776. doi: 10.3758/s13423-015-0853-0
- Klingberg, T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends in cognitive sciences*, 14(7), 317-324. doi: 10.1016/j.tics.2010.05.002
- Küper, K., y Karbach, J. (2015). Increased training complexity reduces the effectiveness of brief working memory training: evidence from short-term single and dual n-back training interventions. *Journal of Cognitive Psychology*, 28(2), 199-208. doi: 10.1080/20445911.2015.1118106
- Kwon, H., Reiss, A. L., y Menon, V. (2002). Neural basis of protracted developmental changes in visuo-spatial working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(20), 13336-13341. doi:10.1073/pnas.162486399
- Kyllonen, P. C., y Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?!. *Intelligence*, 14(4), 389-433. doi: 10.1016/S0160-2896(05)80012-1
- Lechuga, M. T., Moreno, V., Pelegrina, S., Gómez-Ariza, C. J., y Bajo, M. T. (2006). Age differences in memory control: Evidence from updating and retrieval-practice tasks. *Acta Psychologica*, 123(3), 279-298. doi: 10.1016/j.actpsy.2006.01.006
- Lee, K., Bull, R., y Ho, R. M. (2013). Developmental changes in executive functioning. *Child Development*, 84(6), 1933-1953. doi: 10.1111/cdev.12096
- Lendínez, C., Pelegrina, S., y Lechuga, T. (2011). The distance effect in numerical memory-updating tasks. *Memory & Cognition*, 39(4), 675-685. doi: 10.3758/s13421-010-0047-y
- Lendínez, C., Pelegrina, S., y Lechuga, M. T. (2014). The role of similarity in updating numerical information in working memory: Decomposing the numerical distance effect. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(1), 16-32. doi: 10.1080/17470218.2013.793375
- Lendínez, C., Pelegrina, S., y Lechuga, M. T. (2015). Age differences in working memory updating: the role of interference, focus switching and substituting information. *Acta Psychologica*, 157, 106-113. doi: 10.1016/j.actpsy.2015.02.015

- Lewandowsky, S., y Farrell, S. (2008). Short-term memory. New data and a model. *Psychology of Learning and Motivation*, 49, 1–48. doi: 10.1016/S0079-7421(08)00001-7
- Li, Z. H., Bao, M., Chen, X. C., Zhang, D. R., Han, S. H., He, S., y Hu, X. (2006). Attention shift in human verbal working memory: priming contribution and dynamic brain activation. *Brain Research*, 1078, 131-142. doi: 10.1016/j.brainres.2006.01.032
- Li, S. C., Schmiedek, F., Huxhold, O., Röcke, C., Smith, J., y Lindenberger, U. (2008). Working memory plasticity in old age: practice gain, transfer, and maintenance. *Psychology and Aging*, 23(4), 731-742. doi: 10.1037/a0014343
- Li, Z. H., Sun, X. W., Wang, Z. X., Zhang, H. C., Zhang, D. R., He, S., y Hu, X. (2004). Behavioral and functional MRI study of attention shift in human verbal working memory. *Neuroimage*, 21, 181-191. doi: 10.1016/j.neuroimage.2003.08.043
- Lilienthal, L., Tamez, E., Shelton, J. T., Myerson, J., y Hale, S. (2013). Dual n-back training increases the capacity of the focus of attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(1), 135-141. doi: 10.3758/s13423-012-0335-6
- Logan, G. D. (2004). Working memory, task switching, and executive control in the task span procedure. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 218–236. doi: 10.1037/0096-3445.133.2.218
- Logan, G. D., y Gordon, R. D. (2001). Executive control of visual attention in dual-task situations. *Psychological Review*, 108(2), 393-434. doi: 10.1037/0033-295X.108.2.393
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove, U. K.: Erlbaum.
- Lorsbach, T. C., y Reimer, J. F. (2005). Feature binding in children and young adults. *The Journal of Genetic Psychology*, 166(3), 313-328. doi: 10.3200/GNTP.166.3.313-328
- Lövdén, M., Bäckman, L., Lindenberger, U., Schaefer, S., y Schmiedek, F. (2010). A theoretical framework for the study of adult cognitive plasticity. *Psychological Bulletin*, 136(4), 659-676. doi: 10.1037/a0020080
- Luciana, M., Conklin, H. M., Hooper, C. J., y Yarger, R. S. (2005). The development of nonverbal working memory and executive control processes in adolescents. *Child Development*, 76(3), 697-712. doi: 10.1111/j.1467-8624.2005.00872.x
- Luna, B., Garver, K. E., Urban, T. A., Lazar, N. A., y Sweeney, J. A. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to

- adulthood. *Child Development*, 75(5), 1357-1372. doi: 10.1111/j.1467-8624.2004.00745.x
- Luria, A. R. (1959). The directive function of speech in development and dissolution. *Word*, 15(2), 341-352. doi: 10.1080/00437956.1959.11659703
- Lustig, C., Shah, P., Seidler, R., y Reuter-Lorenz, P. A. (2009). Aging, training, and the brain: a review and future directions. *Neuropsychology Review*, 19(4), 504-522. doi: 10.1007/s11065-009-9119-9
- Magimairaj, B. M., y Montgomery, J. W. (2012). Children's verbal working memory: Relative importance of storage, general processing speed, and domain-general controlled attention. *Acta Psychologica*, 140(3), 196-207. doi: 10.1016/j.actpsy.2012.05.004
- Mayr, U., y Kliegl, R. (2000). Task-set switching and long-term memory retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26, 1124-1140. doi: 10.1037/0278-7393.26.5.1124
- McCarney, R., Warner, J., Iliffe, S., Van Haselen, R., Griffin, M., y Fisher, P. (2007). The Hawthorne Effect: a randomised, controlled trial. *BMC Medical Research Methodology*, 7(1), 1-8. doi: 10.1186/1471-2288-7-30
- McElree, B. (2006). Accessing recent events. *Psychology of Learning and Motivation*, 46, 155-200. doi: 10.1016/S0079-7421(06)46005-9
- McNamara, D. S., y Scott, J. L. (2001). Working memory capacity and strategy use. *Memory & Cognition*, 29(1), 10-17. doi: 10.3758/BF03195736
- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22(6), 1423-142. doi: 10.1037/0278-7393.22.6.1423
- Meiran, N., Kessler, Y., y Adi-Japha, E. (2008). Control by action representation and input selection (CARIS): A theoretical framework for task switching. *Psychological Research*, 72(5), 473-500. doi: 10.1007/s00426-008-0136-8
- Melby-Lervåg, M., y Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, 49(2), 270-291. doi: 10.1037/a0028228
- Minear, M., Brasher, F., Guerrero, C. B., Brasher, M., Moore, A., y Sukeena, J. (2016). A simultaneous examination of two forms of working memory training: Evidence for near transfer only. *Memory & Cognition*, 44, 1014-1037. doi: 10.3758/s13421-016-0616-9
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., y 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. doi: 10.1006/cogp.1999.0734
- Monchi, O., Taylor, J. G., y Dagher, A. (2000). A neural model of working memory processes in normal subjects, Parkinson's disease and schizophrenia for fMRI design and predictions. *Neural Networks*, *13*, 953-973. doi: 10.1016/S0893-6080(00)00058-7
- Morales, J., Yudes, C., Gómez-Ariza, C. J. y Bajo, M. T. (2015). Bilingualism modulates dual mechanisms of cognitive control: Evidence from ERPs. *Neuropsychologia*, *66*, 157-169. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2014.11.014
- Morris, N., y Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of central executive. *British Journal of Psychology*, *81*, 111-121. doi: 10.1111/j.2044-8295.1990.tb02349.x
- Morrison, A. B., y Chein, J. M. (2011). Does working memory training work? The promise and challenges of enhancing cognition by training working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, *18*(1), 46-60. doi: 10.3758/s13423-010-0034-0
- Nairne, J. S. (1988). A framework for interpreting recency effects in immediate serial recall. *Memory & Cognition*, *16*, 343-352. doi: 10.3758/BF03197045
- Nairne, J. S. (1990). A feature model of immediate memory. *Memory & Cognition*, *18*, 251-269. doi: 10.3758/BF03213879
- Nairne, J. S. (2002). The myth of the encoding-retrieval match. *Memory*, *10*(5-6), 389-395. doi: 10.1080/09658210244000216
- Neath, I. (2000). Modeling the effects of irrelevant speech on memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, *7*, 403-423. doi: 10.3758/BF03214356
- Norman, D., y Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. En R. J. Davidson, G. E. Schwartz, y D. E. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation: Advances in research and theory* (Vol. 4, pp. 1-18). New York: Plenum.
- Oberauer, K. (2002). Access to information in working memory: exploring the focus of attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *28*, 411-421. doi: 10.1037/0278-7393.28.3.411
- Oberauer, K. (2003). Selective attention to elements in working memory. *Experimental Psychology*, *50*, 257-269. doi: 10.1026//1618-3169.50.4.257
- Oberauer, K. (2009). Design for a working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, *51*, 45-100. doi: 10.1016/S0079-7421(09)51002-X

- Oberauer, K. (2013). The focus of attention in working memory—from metaphors to mechanisms. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 673. doi: 10.3389/fnhum.2013.00673
- Oberauer, K., y Bialkova, S. (2009). Accessing information in working memory: Can the focus of attention grasp two elements at the same time?. *Journal of Experimental Psychology: General*, 138(1), 64-87. doi: 10.1037/a0014738
- Oberauer, K., Demmrich, A., Mayr, U., y Kliegl, R. (2001). Dissociating retention and access in working memory: An age-comparative study of mental arithmetic. *Memory & Cognition*, 29(1), 18-33. doi: 10.3758/BF03195737
- Oberauer, K., y Kliegl, R. (2001). Beyond resources: Formal models of complexity effects and age differences in working memory. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13, 187-215. doi: 10.1080/09541440042000278
- Oberauer, K., y Kliegl, R. (2006). A formal model of capacity limits in working memory. *Journal of Memory and Language*, 55, 601-626. doi: 10.1016/j.jml.2006.08.009
- Oberauer, K., Lewandowsky, S., Farrell, S., Jarrold, C., y Greaves, M. (2012). Modeling working memory: An interference model of complex span. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19(5), 779-819. doi: 10.3758/s13423-012-0272-4
- Oberauer, K., Souza, A. S., Druery, M. D., y Gade, M. (2013). Analogous mechanisms of selection and updating in declarative and procedural working memory: Experiments and a computational model. *Cognitive Psychology*, 66(2), 157-211. doi: 10.1016/j.cogpsych.2012.11.001
- Oberauer, K., Wendland, M., y Kliegl, R. (2003). Age differences in working memory—The roles of storage and selective access. *Memory & Cognition*, 31(4), 563-569. doi: 10.3758/BF03196097
- O'Reilly, R. C., y Frank, M. J. (2006). Making working memory work: a computational model of learning in the prefrontal cortex and basal ganglia. *Neural Computation*, 18, 283-328. doi: 10.1162/089976606775093909
- Palladino, P., Cornoldi, C., De Beni, R., y Pazzaglia, F. (2001). Working memory and updating processes in reading comprehension. *Memory & Cognition*, 29(2), 344-354. doi: 10.3758/BF03194929
- Palladino, P., y Jarrold, C. (2008). Do updating tasks involve updating? Evidence from comparisons with immediate serial recall. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(3), 392-399.

- Passolunghi, M. C., y Pazzaglia, F. (2004). Individual differences in memory updating in relation to arithmetic problem solving. *Learning and Individual Differences*, 14(4), 219-230. doi: 10.1016/j.lindif.2004.03.001
- Pelegrina, S., Capodieci, A., Carretti, B., y Cornoldi, C. (2014). Magnitude representation and working memory updating in children with arithmetic and reading comprehension disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 48(6), 658-668. doi: 10.1177/0022219414527480
- Pelegrina S., Lechuga M. T., García-Madruga J. A., Elosúa M. R., Macizo P., Carreiras M., y Bajo M. T. (2015). Normative data on the n-back task for children and young adolescents. *Frontiers in Psychology*, 6:1544. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01544
- Raghubar, K. P., Barnes, M. A., y Hecht, S. A. (2010). Working memory and mathematics: A review of developmental, individual difference, and cognitive approaches. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 110-122. doi: 10.1016/j.lindif.2009.10.005
- Redick, T. S., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Fried, D. E., Hambrick, D. Z., ... y Engle, R. W. (2013). No evidence of intelligence improvement after working memory training: a randomized, placebo-controlled study. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(2), 359-379. doi: 10.1037/a0029082
- Redick, T. S., Shipstead, Z., Wiemers, E. A., Melby-Lervåg, M., y Hulme, C. (2015). What's working in working memory training? An educational perspective. *Educational Psychology Review*, 27(4), 617-633. doi: 10.1007/s10648-015-9314-6
- Riby, L., Perfect, T., y Stollery, B. (2004). The effects of age and task domain on dual task performance: A meta-analysis. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(6), 863-891. doi: 10.1080/09541440340000402
- Risse, S., y Oberauer, K. (2010). Selection of objects and tasks in working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(4), 784-804. doi: 10.1080/17470210903147486
- Robbins, T. W., Weinberger, D., Taylor, J. G., y Morris, R. G. (1996). Dissociating executive functions of the prefrontal cortex [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 351(1346), 1463-1471. doi: 10.1098/rstb.1996.0131
- Rodríguez-Villagra, O. A., Göthe, K., Oberauer, K., y Kliegl, R. (2013). Working memory capacity in a go/no-go task: Age differences in

- interference, processing speed, and attentional control. *Developmental Psychology*, 49(9), 1683-1696. doi: 10.1037/a0030883
- Rogers, R. D., y Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of experimental psychology: General*, 124(2), 207-231. doi: 10.1037/0096-3445.124.2.207
- Ruiz, M., Elosúa, M. R., y Lechuga, M. T. (2005). Old-fashioned responses in an updating memory task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 58(5), 887-908. doi: 10.1080/02724980443000395
- Salminen, T., Strobach, T., y Schubert, T. (2012). On the impacts of working memory training on executive functioning. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6:166. doi: 10.3389/fnhum.2012.00166
- Salthouse, T. A. (1991). Mediation of adult age differences in cognition by reductions in working memory and speed of processing. *Psychological Science*, 2(3), 179-183. doi: 10.1111/j.1467-9280.1991.tb00127.x
- Salthouse, T. A., Babcock, R. L., y Shaw, R. J. (1991). Effects of adult age on structural and operational capacities in working memory. *Psychology and Aging*, 6, 118-127. doi: 10.1037/0882-7974.6.1.118
- Sandberg, P., Rönnlund, M., Nyberg, L., y Neely, A. S. (2014). Executive process training in young and old adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 21(5), 577-605. doi: 10.1080/13825585.2013.839777
- Schwager, S., y Hagendorf, H. (2009). Goal-directed access to mental objects in working memory: The role of task-specific feature retrieval. *Memory & cognition*, 37(8), 1103-1119. doi: 10.3758/MC.37.8.1103
- Schleepen, T. M. J., y Jonkman L. M. (2009). The development of non-spatial working memory during childhood and adolescence and the role of interference control; an N-back task study. *Developmental Neuropsychology*, 35, 37-56. doi: 10.1080/87565640903325733
- Schmiedek, F., Hildebrandt, A., Lövdén, M., Wilhelm, O., y Lindenberger, U. (2009). Complex span versus updating tasks of working memory: the gap is not that deep. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35(4), 1089-1096. doi: 10.1037/a0015730
- Shipstead, Z., Redick, T. S., y Engle, R. W. (2010). Does working memory training generalize?. *Psychologica Belgica*, 50(3-4), 245-276. doi: 10.5334/pb-50-3-4-245
- Shipstead, Z., Redick, T. S., y Engle, R. W. (2012). Is working memory training effective? *Psychological Bulletin*, 138(4), 628-654. doi: 10.1037/a0027473

- Sluzenski, J., Newcombe, N. S., y Kovacs, S. L. (2006). Binding, relational memory, and recall of naturalistic events: a developmental perspective. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32(1), 89-100. doi: 10.1037/0278-7393.32.1.89
- Smith, E. E., y Jonides, J. (1997). Working memory: A view from neuroimaging. *Cognitive Psychology*, 33(1), 5-42. doi: 10.1006/cogp.1997.0658
- Smith, E. E., y Jonides, J. (1998). Neuroimaging analyses of human working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(20), 12061-12068. doi: 10.1073/pnas.95.20.12061
- Souza, A. D. S., Oberauer, K., Gade, M., y Druey, M. D. (2012). Processing of representations in declarative and procedural working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(5), 1006-1033. doi: 10.1080/17470218.2011.640403
- Spector, A., y Biederman, I. (1976). Mental set and mental shift revisited. *The American Journal of Psychology*, 89 (4), 669-679. doi: 10.2307/1421465
- Sprenger, A. M., Atkins, S. M., Bolger, D. J., Harbison, J. I., Novick, J. M., Chrabaszcz, J. S., ... y Dougherty, M. R. (2013). Training working memory: Limits of transfer. *Intelligence*, 41(5), 638-663. doi: 10.1016/j.intell.2013.07.013
- Sternberg, S. (1966). High-speed scanning in human memory. *Science*, 153(3736), 652-654.
- Stoet, G., y Snyder, L. H. (2007). Extensive practice does not eliminate human switch costs. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 7(3), 192-197. doi: 10.3758/CABN.7.3.192
- Sudevan, P., y Taylor, D. A. (1987). The cuing and priming of cognitive operations. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 13(1), 89-103. doi: 10.1037/0096-1523.13.1.89
- Taylor, J. G., y Taylor, N. R. (2000). Analysis of recurrent cortico-basal ganglia-thalamic loops for working memory. *Biological Cybernetics*, 82, 415-432. doi: 10.1007/s004220050595
- Titz, C., y Karbach, J. (2014). Working memory and executive functions: effects of training on academic achievement. *Psychological Research*, 78(6), 852-868. doi: 10.1007/s00426-013-0537-1
- Turley-Ames, K. J., y Whitfield, M. M. (2003). Strategy training and working memory task performance. *Journal of Memory and Language*, 49(4), 446-468. doi: 10.1016/S0749-596X(03)00095-0

- Unsworth, N., y 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. doi: 10.1037/0278-7393.34.3.616
- Van der Molen, M., Van Luit, J. E. H., Van der Molen, M. W., Klugkist, I., y Jongmans, M. J. (2010). Effectiveness of a computerised working memory training in adolescents with mild to borderline intellectual disabilities. *Journal of Intellectual Disability Research*, 54(5), 433-447. doi: 10.1111/j.1365-2788.2010.01285.x
- Van Gerven, P. W., Meijer, W. A., y Jolles, J. (2007). Education does not protect against age-related decline of switching focal attention in working memory. *Brain and Cognition*, 64(2), 158-163. doi: 10.1016/j.bandc.2007.02.005
- Vaughan, L., Basak, C., Hartman, M., y Verhaeghen, P. (2008). Aging and working memory inside and outside the focus of attention: Dissociations of availability and accessibility. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 15(6), 703-724. doi: 10.1080/13825580802061645
- Verhaeghen, P., y Basak, C. (2005). Ageing and switching of the focus of attention in working memory: Results from a modified N-Back task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 58(1), 134-154. doi: 10.1080/02724980443000241
- Verhaeghen, P., y Hoyer, W. J. (2007). Aging, focus switching, and task switching in a continuous calculation task: Evidence toward a new working memory control process. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 14(1), 22-39. doi: 10.1080/138255890969357
- Vockenber, K. (2006). *Updating of representations in working memory*. Unpublished doctoral dissertation, University of Potsdam.
- Voigt, S., y Hagendorf, H. (2002). The role of task context for component processes in focus switching. *Psychological Test and Assessment Modeling*, 44(2), 248-274.
- von Bastian, C., y Eschen, A. (2015). Does working memory training have to be adaptive? *Psychological Research*, 80(2), 181-194. doi: 10.1007/s00426-015-0655-z
- von Bastian, C., Langer, N., Jäncke, L., y Oberauer, K. (2013). Effects of working memory training in young and old adults. *Memory & Cognition*, 41, 611-624. doi: 10.3758/s13421-012-0280-7
- von Bastian, C., y Oberauer, K. (2014). Effects and mechanisms of working memory training: a review. *Psychological Research*, 78, 803-820. doi: 10.1007/s00426-013-0524-6

- Vuontela, V., Steenari, M. R., Carlson, S., Koivisto, J., Fjällberg, M. y Aronen, E. T. (2003). Audiospatial and visuospatial working memory in 6-13 year old school children. *Learning and Memory*, 10, 74-81. doi: 10.1101/lm.53503
- Waris, O., Soveri, A., y Laine, M. (2015). Transfer after working memory updating training. *PloS One*, 10(9), e0138734. doi: 10.1371/journal.pone.0138734
- Westerberg, H., y Klingberg, T. (2007). Changes in cortical activity after training of working memory—a single-subject analysis. *Physiology & Behavior*, 92(1), 186-192. doi: 10.1016/j.physbeh.2007.05.041
- Yesavage, J. A., Sheikh, J. I., Friedman, L., y Tanke, E. (1990). Learning mnemonics: roles of aging and subtle cognitive impairment. *Psychology and Aging*, 5(1), 133-137. doi: 10.1037/0882-7974.5.1.133
- Xiu, L., Zhou, R., y Jiang, Y. (2015). Working memory training improves emotion regulation ability: Evidence from HRV. *Physiology & Behavior*, 155, 25-29. doi: 10.1016/j.physbeh.2015.12.004