

Actividad eléctrica cerebral de los mecanismos de mantenimiento de la información en la memoria de trabajo: una revisión sistemática

Brain Electrical Activity of the Mechanisms Involved in the Maintenance of Information in Working Memory: a Review

Bradly Marín-Picado, Luis Carlos González Flores y
Odir Antonio Rodríguez-Villagra

Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica

Resumen

Las documentadas limitaciones de la memoria de trabajo han fomentado el estudio de los correlatos neurofisiológicos del mantenimiento de la información. Diversos investigadores han evaluado la actividad cerebral mediante distintas metodologías, por lo que resulta necesaria una evaluación integral de los hallazgos. En esta revisión sistemática, se analiza la actividad cerebral en estudios que incluyen el ensayo sub/articulatorio, el refrescamiento atencional y la elaboración como mecanismos de mantenimiento de la información. Además, se examina la consistencia teórica y operacional de estos mecanismos en diferentes estudios. Se realizó la revisión de literatura entre el 5 de julio de 2023 y el 2 de abril de 2024, utilizando las bases de datos EBSCOHost, ScienceDirect, Pubmed, Proquest, Redalyc, Scielo, PsyArxiv, PsycNet, Springerlink y GoogleScholar. Se seleccionaron estudios publicados, pre-prints o tesis con diseño experimental o cuasi-experimental, que se enfocaran en los mecanismos de mantenimiento en la memoria de trabajo y analizaran la actividad cerebral. Los 19 trabajos incluidos demostraron un rigor metodológico razonable (rango = 15-24). Se encontró que, durante los periodos de mantenimiento, hubo modulación de la actividad en componentes de los ERP, en diferentes bandas de frecuencia y sincronización de la actividad de varias regiones cerebrales. La mayoría de los estudios referencian el bucle fonológico y la atención sostenida como mecanismos del ensayo sub/articulatorio y del refrescamiento atencional, respectivamente. Sobre la elaboración, los dos artículos incluidos la caracterizaron como la actividad cerebral y cognitiva en los intervalos de mantenimiento. Con este trabajo, se busca impulsar agendas de investigación que integren, en mayor medida, la teoría y los hallazgos en este campo.

Palabras clave: memoria de trabajo, actividad eléctrica cerebral, electroencefalografía, refrescamiento atencional, ensayo sub/articulatorio, elaboración, revisión sistemática.

Bradly Marín-Picado, Centro de Investigación en Neurociencias, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica; Escuela de Psicología, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Luis Carlos González Flores, Escuela de Estadística, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Odir Antonio Rodríguez-Villagra, Centro de Investigación en Neurociencias, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica; Instituto de Investigaciones Psicológicas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

La correspondencia en relación con este artículo se dirige a Odir Antonio Rodríguez-Villagra, PhD., Centro de Investigación en Neurociencias, Universidad de Costa Rica, Finca 2, Sabanilla, San José, Costa Rica. Teléfono: +506-2511-8259. Correo electrónico: odir.rodriguez@ucr.ac.cr



Abstract

The documented limitations of working memory have fostered the study of the neurophysiological correlates of information maintenance. Various researchers have evaluated brain activity using different methodologies, making a comprehensive evaluation of the findings necessary. In this systematic review, we analyzed brain activity in studies that include subvocal rehearsal, attentional refreshing, and elaboration as mechanisms of information maintenance. Additionally, we examined the theoretical and operational consistency of these mechanisms across different studies. We conducted the literature review between July 5, 2023, and April 2, 2024, in databases such as EBSCOHost, ScienceDirect, Pubmed, Proquest, Redalyc, Scielo, PsyArxiv, PsycNet, Springerlink, and GoogleScholar. We selected published studies, preprints, or theses with experimental or quasi-experimental designs that focused on mechanisms of working memory maintenance and analyzed brain activity. The 21 included studies showed a reasonable methodological rigor (Range = 15-24). We identified that, during maintenance periods, there was modulation of activity in ERP components, in different frequency bands, and synchronization of activity in various brain regions. Most studies referenced the phonological loop and sustained attention as mechanisms of subvocal rehearsal and attentional refreshing, respectively. Regarding elaboration, the two included articles characterized it as the brain and cognitive activity during maintenance intervals. With this work, we seek to promote research agendas that better integrate theory and findings in this field.

Keywords: working memory, brain electrical activity, electroencephalography, attentional refreshing, subvocal rehearsal, elaboration, systematic review.

La memoria de trabajo es un sistema dedicado al mantenimiento y la manipulación temporal de la información para realizar las tareas en curso ([Oberauer et al., 2018](#)). Dicha capacidad está severamente limitada; se ha estimado que se pueden mantener 4 ± 1 representaciones simultáneamente ([Cowan, 2001](#)). Esto ha motivado el desarrollo de una gran cantidad de estudios que buscan conocer cuáles son los factores subyacentes a estas limitaciones. Algunos se han enfocado en los mecanismos relacionados con la pérdida de accesibilidad a las representaciones en la memoria de trabajo ([Barrouillet et al., 2007](#); [Oberauer & Lewandowsky, 2013](#); [Rodríguez-Villagra et al., 2013](#)). Otras investigaciones han dirigido sus esfuerzos al estudio de los mecanismos que favorecen el mantenimiento de las representaciones en la memoria de trabajo ([Bayliss et al., 2015](#); [Camos et al., 2009](#)).

El estudio de los mecanismos de mantenimiento ha sido un aspecto central de teorías pioneras acerca de la estructura y funcionamiento de la memoria de trabajo ([Baddeley & Hitch, 1974](#); [Cowan, 1999](#)). Los avances en la comprensión de los mecanismos de mantenimiento han sido importantes ([Camos et al., 2018](#)); sin embargo, es necesario profundizar en el conocimiento de sus bases neurofisiológicas. Estudios experimentales acerca de uno de estos mecanismos (i.e., refrescamiento) usualmente involucran ventanas de tiempo que van desde los 500 ms hasta algunos pocos segundos ([Johnson et al., 2015](#); [Raye et al., 2007](#)).

Técnicas como la resonancia magnética funcional (fMRI) presentan limitaciones para comprender los mecanismos de mantenimiento, pues a pesar de arrojar información precisa de la distribución espacial de la actividad cerebral, la fMRI cuenta con una resolución temporal limitada. Así, el registro de la actividad eléctrica cerebral examinada a través de técnicas como la electroencefalografía (EEG) permiten comprender la actividad oscilatoria cerebral durante ventanas de tiempo particularmente breves en las que, se asume, ocurren los mecanismos de mantenimiento. En este contexto, el primer objetivo del presente trabajo es realizar una revisión sistemática acerca de la actividad eléctrica cerebral asociada

con tres mecanismos de mantenimiento: el ensayo sub/articulatorio, el refrescamiento atencional y la elaboración (Bartsch et al., 2018; Bayliss et al., 2015; Oberauer, 2019). Además, se examina si existe acuerdo sobre la caracterización teórica y operacional de cada uno de estos mecanismos. Lo anterior permitirá valorar cómo se entretajan los saberes a través de las disciplinas involucradas en este campo de conocimiento, el cual es uno de los aspectos centrales de este número especial en neurociencias y psicología.

A pesar de que existen estudios de la actividad eléctrica cerebral asociada con estos mecanismos de mantenimiento, la variedad de las tareas de evaluación, ventanas de tiempo y técnicas de análisis tanto de los datos conductuales como de la actividad eléctrica cerebral, por ejemplo, ERP, frecuencia, tiempo-frecuencia, conectividad, decodificación, etc. (ver Tabla 1), hacen difícil dilucidar los correlatos neurofisiológicos que les subyacen. Por ello, se espera que esta revisión sistemática permita sintetizar los hallazgos existentes y que sea de utilidad para el desarrollo de estudios futuros.

Mecanismos de mantenimiento y estrategias de evaluación

El ensayo sub/articulatorio se refiere a la recitación mental o articulada de la memoranda en intervalos de varios segundos, o decenas de segundos, con el fin mantener la información disponible para ser recuperada (Camos et al., 2009). En términos generales, la condición experimental para evaluar los efectos del ensayo sub/articulatorio involucra la presentación del material que se debe codificar, un intervalo de tiempo en el que se le solicita a las personas que repasen el material codificado (la implementación del ensayo sub/articulatorio) y una fase de recuperación del material codificado. Usualmente, los resultados de esta condición son comparados con una condición que es similar a la descrita previamente, con la excepción de que a las personas, en vez de realizar el ensayo sub/articulatorio, se les solicita que reciten una palabra que no tiene relación con la memoranda, por ejemplo, súper, súper, súper.

El refrescamiento atencional ha sido caracterizado como un proceso de dominio general que involucra dirigir la atención o pensar acerca de las representaciones con el fin de mantenerlas disponibles en la memoria de trabajo (Camos et al., 2018). El refrescamiento atencional puede ser entendido como un acto reflejo de la atención y, de esa manera, análogo a la atención perceptual, en donde su fuerza (i.e., atención) se concentra en una de las representaciones en la memoria de trabajo en vez de focalizarse en un percepto en el campo visual (Camos et al., 2018). Asimismo, se sugiere que el refrescamiento atencional incrementa, prolonga o fortalece la activación de las representaciones en un foco de atención con capacidad limitada (Camos et al., 2018). Se ha propuesto que el refrescamiento atencional puede mantener información sensorial unimodal, como visual, espacial, auditiva o verbal, e información multimodal, como la compuesta por dos o más modalidades sensoriales.

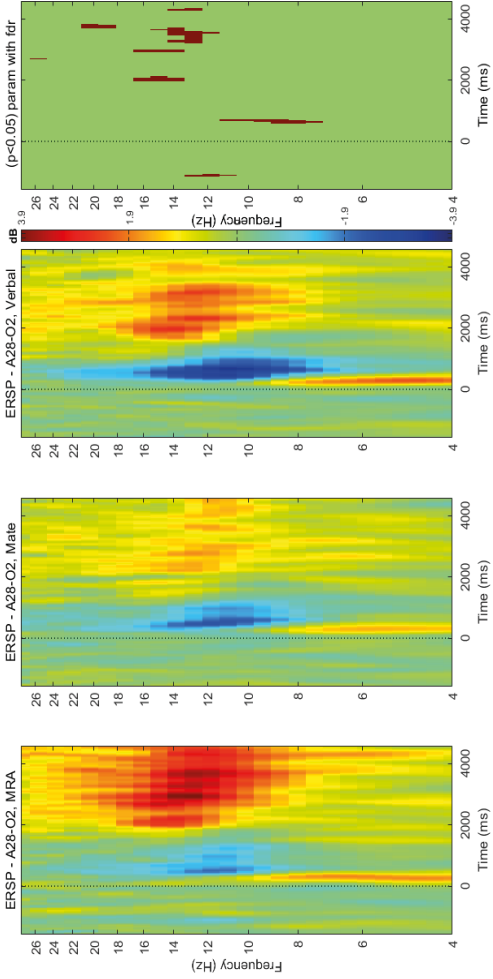
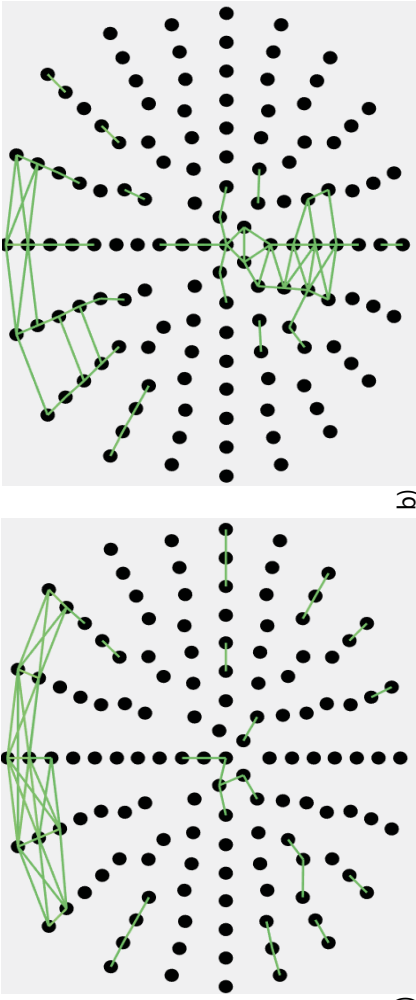
Para examinar el refrescamiento atencional aún no se ha establecido un procedimiento definitivo, sino que se han empleado diversas estrategias. Una de ellas ha sido mediante el refrescamiento guiado, en el que se les indica a los participantes que piensen en el estímulo (por ejemplo, el color de un disco) que se encontraba en una localización espacial específica (Camos et al., 2018). En general, los hallazgos indican que los ítems que son señalados 1 o 2 veces son recordados de manera más precisa que los ítems no señalados, lo que se interpreta como un efecto positivo del refrescamiento sobre el mantenimiento de las representaciones (Camos et al., 2018).

Tabla 1
Resumen de las principales técnicas de análisis de datos electroencefalográficos

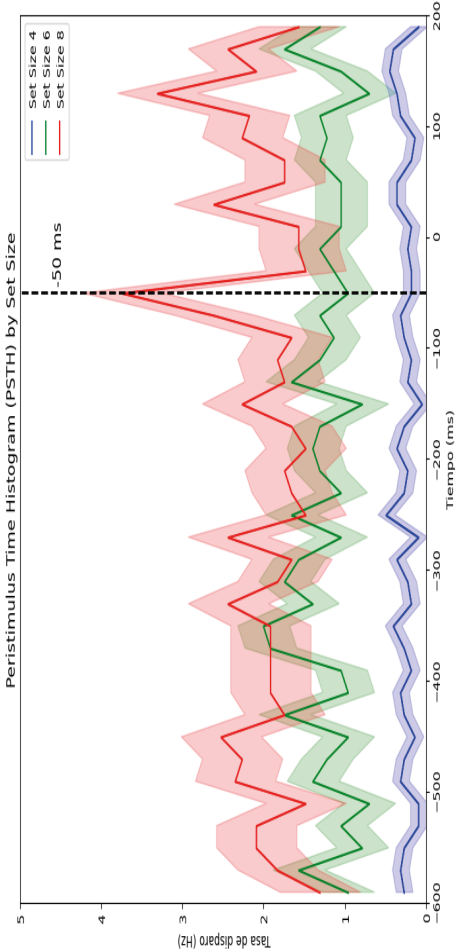
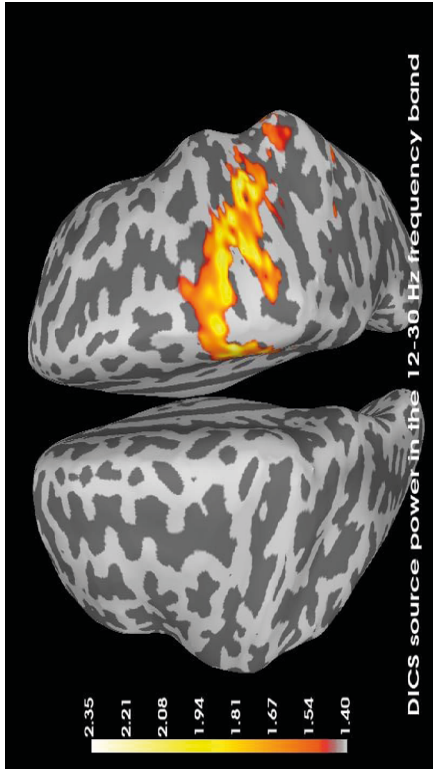
Técnica	Descripción corta	Ejemplo de resultados
Potenciales Relacionados a Eventos (ERP)	Se mide la respuesta eléctrica del cerebro a estímulos específicos o eventos. Los datos se promedian para resaltar las señales específicas relacionadas con los eventos de interés y se elimina la actividad cerebral de fondo no relacionada. El análisis de ERP se utiliza para determinar si el procesamiento cerebral es diferente entre condiciones	
Frecuencia	El análisis de frecuencia descompone la actividad eléctrica cerebral global en bandas de frecuencia específicas (como delta, theta, alfa, beta, y gamma) mediante técnicas matemáticas como la Transformada de Fourier. Al analizar la variación de estas bandas de frecuencia en el tiempo, en respuesta a tareas específicas o durante el descanso, se pueden obtener insights sobre cómo funciona el cerebro y posibles alteraciones en distintas condiciones.	

Continúa...

MECANISMOS DE MANTENIMIENTO DE LA INFORMACIÓN EN LA MEMORIA DE TRABAJO

Técnica	Descripción corta		Ejemplo de resultados			
Tiempo-frecuencia	El análisis de tiempo-frecuencia combina información sobre cuándo ocurren eventos específicos en el tiempo con las frecuencias que estos eventos involucran. Esto permite visualizar cómo cambian las bandas de frecuencia de la actividad cerebral (delta, theta, alfa, beta, gamma) a lo largo del tiempo. Se utiliza para vislumbrar la evolución temporal de las respuestas cerebrales ante estímulos específicos e identificar patrones de actividad neuronal que cambian rápidamente.					
Conectividad cerebral funcional	El análisis de conectividad cerebral funcional busca entender cómo diferentes regiones del cerebro se comunican entre sí durante ciertas tareas o en estado de reposo. Se basa en medir la covariación o sincronización entre las señales de EEG de distintos electrodos, representando diferentes áreas cerebrales, para inferir cómo funciona la red de comunicación funcional del cerebro.		En la imagen se pueden observar diferencias, para el electrodo O2 (occipital derecho) por tipo de tarea (rotaciones mentales [MRA], operaciones matemáticas [Mate] y razonamiento verbal [Verbal]) en la banda alfa (8-12 Hz) en el rango de los 800 ms a los 1000 ms y en la banda beta (12.5-30 Hz) entre los 2000 ms y los 4000 ms 			
			Las imágenes a y b, generadas con el toolbox HERMES para Matlab (Niso et al., 2013), muestran los patrones de conectividad cerebral de hombres y mujeres, respectivamente, durante la resolución de una tarea de analogías verbales. Las líneas verdes representan correlaciones superiores a .80 para la ventana de tiempo de 1500 a 5000 ms. Se puede observar un patrón de conectividad bilateral, tanto a nivel frontal como postero-central en el caso de las mujeres, mientras que los hombres mostraron un patrón de conexiones bilaterales a nivel frontal y conexiones ipsilaterales distribuidas a nivel posterior.			

Continúa...

Técnica	Descripción corta	Ejemplo de resultados	
Decodificación de señal	El análisis de decodificación de señales tiene como propósito interpretar la actividad eléctrica del cerebro registrada por el EEG. Esta metodología busca identificar y clasificar patrones específicos en los datos de EEG que correspondan a determinados estados cognitivos o respuestas a estímulos.		
Reconstrucción de fuente	El análisis de reconstrucción de fuente busca estimar la ubicación exacta en la que se originan las señales eléctricas dentro del cerebro. Este proceso es conocido como localización de fuente. Incorpora modelos anatómicos del cerebro y del cuero cabelludo, junto con teorías físicas sobre la conductividad eléctrica de los tejidos, para aproximarse a las regiones cerebrales activas durante las tareas cognitivas.		

Nota. La electroencefalografía (EEG) es una técnica no invasiva que, a través de electrodos colocados en el cuero cabelludo, registra la actividad eléctrica del cerebro. La EEG capta las fluctuaciones de voltaje resultantes de la actividad de las neuronas (Dickter & Kieffaber, 2014). Al analizar los patrones y ritmos de las ondas cerebrales, los especialistas pueden obtener información valiosa sobre el funcionamiento y la comunicación entre neuronas. Referencias para profundizar: Cohen (2014), Dickter y Kieffaber (2014), Niso et al. (2013).

Finalmente, la elaboración se refiere al enriquecimiento de los ítems por ser recordados a través de su asociación con el conocimiento de la memoria semántica (Bartsch et al., 2018; Oberauer, 2019). Por ejemplo, para mantener una lista de dígitos, estos pueden ser asociados con eventos significativos. Al igual que para el refrescamiento atencional, para el estudio de la elaboración aún no existe un procedimiento establecido.

En cuanto a la evaluación de estos mecanismos y su relación con la actividad eléctrica cerebral, diversos estudios han identificado patrones específicos de modulación neural asociados con distintos mecanismos. Durante los periodos de mantenimiento, se observa una modulación en los potenciales relacionados a eventos (ERP, por sus siglas en inglés), así como cambios en la actividad oscilatoria en bandas de frecuencia como alfa, theta y beta (Johnson et al., 2015; Pavlov & Kotchoubey, 2022). Además, la sincronización entre regiones cerebrales, especialmente en redes frontoparietales y en la interacción entre el hipocampo y la corteza, sugiere una coordinación neural clave para la retención de información (Boran et al., 2019).

Hallazgos más específicos sugieren que el ensayo sub/articulatorio se vincula con la actividad en la banda theta frontal (Fernández et al., 2002; Griesmayr et al., 2010; Nyhus & Curran, 2010; Rutar Goršek et al., 2015), el refrescamiento atencional con la modulación de componentes tardíos de los ERP y la supresión de la actividad alfa en regiones parietales y occipitales (Johnson et al., 2015; Spitzer & Blankenburg, 2011), y la elaboración con la sincronización gamma en procesos de asociación semántica (Costa et al., 2006). En esta revisión sistemática, se profundiza en el análisis de estas asociaciones, examinando la evidencia y las implicaciones de estos hallazgos.

Método

Diseño

Una revisión sistemática es una estrategia de investigación en la que se buscan y evalúan de forma crítica todas las investigaciones posibles de un área determinada del saber, con el objetivo de dar respuesta a una misma pregunta de investigación, utilizando una metodología sistemática y explícita para identificar, seleccionar y evaluar los estudios relevantes, así como para analizar los datos de dichos estudios (Sgarbossa et al., 2022). Para este estudio, se formuló la siguiente pregunta de investigación que guio la revisión sistemática: ¿Cuáles son los correlatos fisiológicos de las distintas estrategias de mantenimiento de información en la memoria de trabajo? A partir de esta pregunta, se desarrollaron los pasos para llevar a cabo una revisión sistemática de literatura: la búsqueda exhaustiva de literatura, la selección de estudios relevantes, la evaluación crítica de los datos extraídos y la síntesis de resultados.

Identificación y selección de estudios

La búsqueda y revisión de literatura se llevó a cabo del 5 de julio del 2023 al 2 de abril del 2024. Se recurrió a las bases de datos EBSCOHost, ScienceDirect, Pubmed, Proquest, Redalyc, Scielo, PsyArxiv, PscNet y Springerlink, además del buscador GoogleScholar; se utilizó como estrategia la siguiente combinación de palabras clave: (eeg OR electroencephalogram OR electroencephalography OR fmri OR functional magnetic resonance imaging OR magnetic resonance OR mri) AND (verbal rehearsal OR elaboration OR refreshing) y su traducción al español. Adicionalmente, se revisaron las referencias

de las publicaciones encontradas con el fin de expandir la búsqueda y revisión bibliográfica. Se creó una plantilla en Excel donde se registró la fecha de búsqueda, la base de datos o sitio web revisado, las palabras clave utilizadas, la cantidad de registros obtenidos, la cantidad de registros escaneados por título y resumen y la cantidad de registros recuperados a texto completo.

Criterios de elegibilidad

Se definieron como criterios de elegibilidad los siguientes:

- (1) estudios publicados, preprint o tesis,
- (2) con un diseño experimental o cuasi-experimental,
- (3) enfocados en alguno de los mecanismos de mantenimiento de información en memoria de trabajo (ensayo subarticulario, refrescamiento o elaboración),
- (4) que registren y analicen datos de actividad eléctrica cerebral asociada con estos procesos.

Se excluyeron estudios duplicados o no relevantes para la pregunta de investigación. De esta manera, de los 28 estudios recuperados a texto completo se eligieron para su análisis 19 que cumplieran con los criterios establecidos para la selección. La Figura 1 resume el proceso de selección de los estudios.

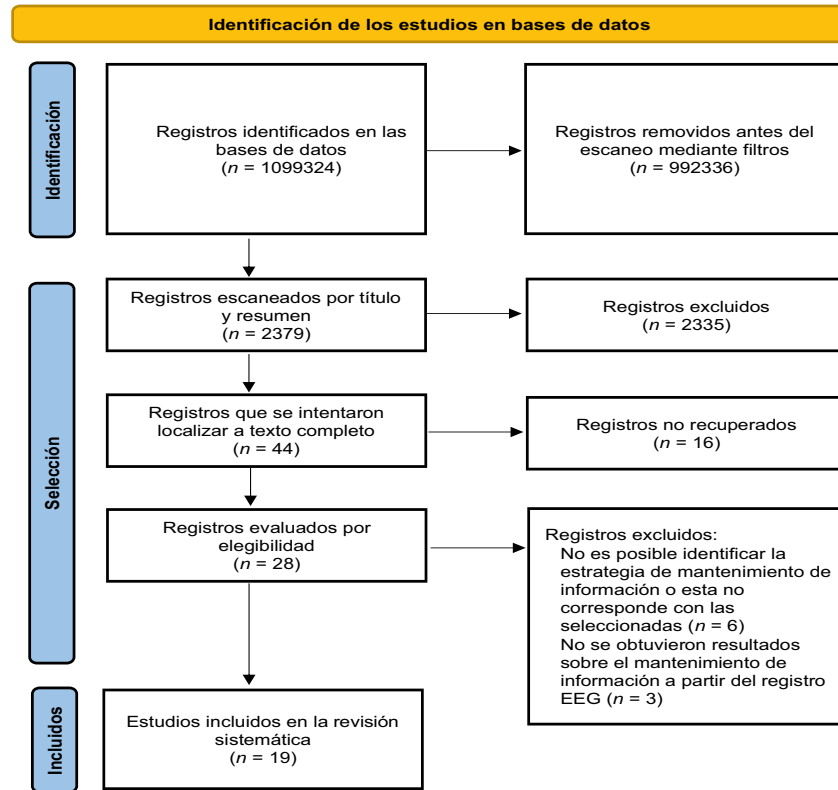
Extracción de datos

Se extrajeron datos pertinentes de cada estudio seleccionado, incluyendo autor(es), año de publicación, objetivo(s) del estudio, características generales de las personas participantes, edad de las personas participantes, si el estudio fue realizado con población típica o atípica, naturaleza de la tarea (ya sea verbal, visual, espacial, auditiva o háptica), tipo de tarea, descripción breve de la tarea, estrategia de mantenimiento de información evaluada (ensayo sub/articulario, refrescamiento o elaboración), cantidad de ensayos, métrica de evaluación de los datos conductuales, cantidad de electrodos para el registro EEG, tipo de análisis realizado (ERP, frecuencia, tiempo-frecuencia, conectividad, decodificación, reconstrucción de fuente o dimensión fractal), tiempo de línea base, ventana de análisis, si solo se utilizaron ensayos correctos y principales hallazgos relacionados con el mantenimiento de la información en la memoria de trabajo.

Análisis y síntesis de datos

Posterior a la extracción, se codificaron los datos de manera inductiva, categorizando información sobre las características generales de los estudios, características generales de las tareas utilizadas para evaluar memoria de trabajo y aspectos generales del registro y procesamiento de los datos de EEG. En cuanto a los principales hallazgos, estos se agruparon en dos categorías generales: correlatos neurofisiológicos de procesos de la memoria de trabajo independientes de la modalidad de la tarea y correlatos neurofisiológicos de procesos de la memoria de trabajo asociados a la modalidad de la tarea. Se buscó identificar patrones en la modulación de los componentes del ERP, conectividad cerebral y bandas de frecuencia. Finalmente, se integraron los resultados en una síntesis narrativa centrada en los mecanismos y estrategias implicados en el mantenimiento de la información en la memoria de trabajo.

Figura 1
Proceso de selección de los estudios



Evaluación de la calidad y sesgo

Para la evaluación de la calidad se utilizó la adaptación de la escala propuesta por Luna et al. (2014), descrita en Pinnock-Branford et al. (2021). Dicha escala permite asignar un puntaje de 0 a 24 puntos, según si los estudios cumplen explícitamente con el criterio (2 puntos), implícitamente (1 punto) o no lo cumplen del todo (0 puntos). Los criterios se pueden observar en la Tabla 2. Adicionalmente, se consideraron posibles sesgos en la selección de participantes, la ejecución del estudio y el reporte de resultados.

Resultados

Los 19 estudios incorporados en esta revisión sistemática presentaron calificaciones de calidad que variaron entre 15 y 24 puntos ($M = 20.52$ y $DE = 2.58$), dentro de un rango potencial de 0 a 24 (ver Tabla 2)¹. El total de participantes correspondiente a estos 19 estudios es de 608 personas.

¹ En los Apéndices 1, 2 y 3 se presentan tablas con información ampliada de las características generales de los estudios (ver Apéndice 1), las características generales de las tareas utilizadas (ver Apéndice 2) y aspectos generales del registro y procesamiento de los datos EEG (ver Apéndice 3).

B. MARÍN-PICADO, L. C. GONZÁLEZ FLORES Y O. RODRÍGUEZ-VILLAGRA

Tabla 2
Evaluación de calidad de los estudios

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	Total
Bae & Luck (2018)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
Bittrich et al. (2012)	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	21
Boran et al. (2019)	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	18
Costa et al. (2006)	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	21
Dimakopoulos et al. (2022)	2	1	0	0	1	2	2	2	1	2	2	0	15
Fernandez et al. (2002)	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	0	20
Gao et al. (2015)	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	23
Gilbert (2014)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24
Griesmayr et al. (2010)	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	0	21
Herrmann et al. (2004)	2	2	1	2	0	1	1	2	2	2	2	0	17
Johnson et al. (2015)	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	23
Martínez-Briones et al. (2020)	2	2	1	1	2	2	2	0	1	2	2	1	18
Plaska et al. (2021)	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	23

MECANISMOS DE MANTENIMIENTO DE LA INFORMACIÓN EN LA MEMORIA DE TRABAJO

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	Total
Rasoulzadeh et al. (2021)	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	20
Raye et al. (2007)	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	0	21
Rutar Gorišek et al. (2015)	2	1	1	1	1	0	2	2	2	2	2	1	17
Spironelli et al. (2006)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	23
Spitzer & Blankenburg (2011)	2	2	1	2	2	0	1	1	2	2	2	1	18
Stokic' et al (2015)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	22

Nota. [C1. ¿Se describe el trasfondo teórico de los temas del estudio?], [C2. ¿Se describe claramente la justificación del estudio?], [C3. ¿Se definen claramente los objetivos del estudio?], [C4. ¿Se define claramente la pregunta de investigación (PI) y/o la hipótesis del estudio?], [C5. ¿Se describe en forma adecuada el contexto en el que se llevó a cabo la investigación?], [C6. ¿Se describe en forma adecuada la muestra utilizada y los métodos para identificar y reclutar la muestra?], [C7. ¿Se utilizan y describen métodos apropiados de recopilación de datos?], [C8. ¿Se describen en forma adecuada los métodos utilizados para analizar los datos y los métodos para asegurar que el análisis de los datos se base en los datos?], [C9. ¿Proporciona el estudio una respuesta clara o justificación sobre la PI/hipótesis?], [C10. ¿Proporciona el estudio hallazgos claramente expuestos con resultados creíbles?], [C11. ¿Proporciona el estudio conclusiones justificadas?], [C12. ¿Proporciona el estudio una discusión sobre las amenazas a la validez?].

Como se observa en la Tabla 3, ocho estudios (42.1%) se enfocaron en personas entre los 18 y los 40 años, seis (31.6%) incluyeron personas menores de 18 años, tres (15.8%) incluyeron personas con edades superiores a los 40 años y dos (10.5%) no especifican las edades de las personas participantes. Por último, cuatro estudios (21.1%) incluyeron personas de población atípica (como personas diagnosticadas con epilepsia, personas con dificultades específicas de aprendizaje y personas con esclerosis hipocampal).

Este conjunto de investigaciones aborda una amplia gama de temas relacionados con la memoria de trabajo y la actividad cerebral. Entre ellos, once estudios (57.9%) examinaron cómo la actividad EEG y los ERP pueden proporcionar información sobre el mantenimiento de información mediante el ensayo sub/articulatorio, el refrescamiento y la elaboración de la información, así como la relación entre la actividad oscilatoria en diferentes bandas de frecuencia y la demanda de memoria en tareas verbales y auditivas. Asimismo, seis estudios (31.6%) investigaron el papel de diferentes regiones cerebrales,

Tabla 3

Características generales de los estudios

Referencia	Inter/intra	n	Características generales de la muestra		Edad	Población
Bae & Luck (2018)	Intra	Exp1: 16 Exp2: 16	Exp1: personas jóvenes, 10 mujeres Exp2: personas jóvenes, 9 mujeres		18-30	Típica
Bittrich et al. (2012)	Intra	23	Personas adultas con lateralidad derecha, sin condiciones neurológicas, 12 mujeres		20-32	Típica
Boran et al. (2019)	Intra	9	Personas diagnosticadas con epilepsia		No se especifica	Atípica
Costa et al. (2006)	Intra	30	Personas voluntarias sin antecedentes de enfermedades psiquiátricas o neurológicas, 15 hombres		18-26	Típica
Dimakopoulos et al. (2022)	Intra	15	Personas con epilepsia focal resistente a los medicamentos, 7 hombres, 8 participantes con esclerosis hipocámpal y solamente 1 sin lesión		18-56	Atípica
Fernandez et al. (2002)	Intra	50	Personas sin condiciones neurológicas, con lateralidad derecha, 25 niños (14 mujeres) y 15 adultos hombres		8-10 20-26	Típica
Gao et al. (2015)	Intra	32 (Exp1)	Personas jóvenes sin condiciones neurológicas, 18 hombres		18-25	Típica
Gilbert (2014)	Intra	20	Personas jóvenes, hablantes nativas de inglés, diestros		$M = 22.6$, $DE = 4.2$	Típica
Griesmayr et al. (2010)	Intra	31	Personas voluntarias, 19 mujeres, 2 personas con lateralidad izquierda		Mujeres: 18-25 años Hombres: 13-35 años	Típica
Herrmann et al. (2004)	Intra	22	Personas jóvenes sin condiciones neurológicas, 7 con lateralidad izquierda, 11 mujeres		19-33	Típica
Johnson et al. (2015)	Intra	Exp1: 21 Exp2: 16	Exp1: personas jóvenes con lateralidad derecha, 9 hombres Exp2: personas jóvenes con lateralidad derecha, 8 hombres (Exp2)		Exp1: 14-29 Exp2: 14-31	Típica

Continúa...

Referencia	Inter/intra	n	Características generales de la muestra	Edad	Población
Martínez-Briones et al. (2020)	Inter	45	Infantes, 22 controles y 25 con dificultades específicas de aprendizaje	8-11	Comparación entre población típica y atípica
Plaska et al. (2021)	Intra	44	Exp1: 24 personas voluntarias sin antecedentes de enfermedades psiquiátricas o cognitivas, 11 mujeres Exp2: 20 personas voluntarias sin antecedentes de enfermedades psiquiátricas o cognitivas, 12 mujeres	18-56	Típica
Rasoulzadeh et al. (2021)	Intra	17	18 estudiantes, 15 con lateralidad derecha, 16 mujeres	15-29	Típica
Raye et al. (2007)	Intra	Exp1: 12 Exp2: 17	Exp1: mujeres jóvenes con lateralidad derecha Exp2: personas jóvenes con lateralidad derecha, 10 mujeres	Exp1: 18-24 Exp2: 18-29	Típica
Rutar Gorišek et al. (2015)	Intra	10	Personas adultas con lateralidad derecha, 5 hombres	25-41	Típica
Spironelli et al. (2006)	Intra	23	Personas voluntarias, con lateralidad derecha, 10 con dislexia, 7 mujeres	M = 9.25 años (personas con dislexia), M = 9.7 años (grupo control)	Atípica
Spitzer & Blankenburg (2011)	Intra	25	Personas voluntarias	No se especifica	Típica
Stokić et al. (2015)	Intra	20	Personas jóvenes sin condiciones neurológicas, con lateralidad derecha, 10 hombres	19-23	Típica

como la corteza somatosensorial primaria, la corteza prefrontal y el hipocampo, en el mantenimiento, manipulación y recuperación de la información en la memoria de trabajo. Finalmente, dos estudios (10.5%) analizaron las diferencias entre grupos, como niños con dislexia y aquellos con dificultades de aprendizaje, en comparación con aquellos con buen rendimiento académico.

En términos metodológicos, como se detalla en la Tabla 4, nueve estudios (47.4%) utilizaron tareas de naturaleza verbal, ocho (42.1%) emplearon tareas de naturaleza visual, uno (5.3%) fue multimodal (verbal y espacial) y otro (5.3%) incluyó una tarea de naturaleza háptica. Asimismo, once estudios (57.9%) evaluaron el ensayo sub/articulatorio como estrategia para el mantenimiento de información, cinco (26.3%) analizaron el refrescamiento, uno (5.3%) comparó ambos mecanismos y dos estudios (10.5%) se enfocaron en la elaboración. En dos de los estudios no se especificó la cantidad de ensayos de la tarea; para los restantes diecisiete la mediana de ensayos fue de 190 (min = 40, máx = 3550). Finalmente, las métricas de evaluación más frecuentes para los datos conductuales fueron los aciertos ($n = 15$) y los tiempos de reacción ($n = 8$).

En cuanto al registro y procesamiento de los datos de imágenes cerebrales, dieciocho de los diecinueve estudios analizados corresponden a registros de EEG. Para estos, como se puede extraer de la Tabla 4, la cantidad de electrodos tuvo una mediana de 27 (min = 17, máx = 128) y solamente uno corresponde a un registro de alta densidad (128 electrodos). En nueve de los estudios (47.4%) se analizaron solamente aquellos ensayos con respuestas correctas, en ocho de ellos (42.1%) tanto respuestas correctas como incorrectas y en dos de ellos (10.5%) no se reportó.

En cuanto a los análisis realizados, en términos generales, siete de los diecinueve estudios (36.8%) utilizaron más de una estrategia de análisis. De manera particular, en siete se analizaron bandas de frecuencia; en seis de los estudios se obtuvieron medidas de conectividad cerebral funcional, en cinco de ellos se hicieron análisis de tiempo-frecuencia, en cuatro se calcularon ERP, en tres se realizó reconstrucción de fuente, en dos se utilizó la decodificación, en un estudio se analizó la actividad de neuronas individuales y en otro se evaluó la dimensión fractal de la señal.

Los tiempos de línea base se reportaron en nueve de los estudios (47.4%, $mdn = 200ms$, min = 100 ms, máx = 5000 ms) y las ventanas de tiempo para los análisis en catorce de ellos (73.7%, $mdn = 1500ms$, min = 394ms, máx = 6000ms). Los resultados obtenidos sugieren una modulación de los ERP durante el mantenimiento de información en la memoria de trabajo, que abarca tanto su distribución a nivel del cuero cabelludo como la modulación del poder en componentes tempranos (tal y como una reducción en la amplitud de N1, un incremento en la amplitud de P2, una menor latencia en la aparición del componente P3b y una mayor negatividad de los componentes EDAN y ADAN) y tardíos (por ejemplo, una mayor actividad sostenida en el componente LDAP). Cada uno de estos componentes fue analizado en estudios distintos, por lo que no es posible hablar de tendencias en cuanto a la modulación.

Por otra parte, es posible observar cambios en la actividad neuronal durante el mantenimiento de información en la memoria de trabajo, lo que incluye modificaciones en la actividad alfa (en cinco estudios de diecinueve), en la amplitud de los ERP (en cuatro estudios de diecinueve), en la amplitud del *global field power* (en un estudio de diecinueve) y microestados de las redes neuronales (en un estudio de diecinueve) en función del contenido que se debe mantener. Asimismo, se pueden observar cambios

Tabla 4
Características generales de las tareas utilizadas para evaluar memoria de trabajo

Referencia	Naturaleza de la tarea	Tipo de tarea	Estrategia de mantenimiento	Cantidad de ensayos	Métrica de evaluación
Bae & Luck (2018)	Visual	Standard delayed estimation task	Refrescamiento	640	Grados
Bittrich et al. (2012)	Visual-auditiva	Sternberg task	Ensayo subarticulatorio	130	Aciertos
Boran et al. (2019)	Verbal	Sternberg task	Ensayo subarticulatorio	50*7 sesiones = 350	Aciertos Tiempo de reacción
Costa et al. (2006)	Visual	---	Elaboración	No se especifica	Asignación a categorías
Dimakopoulos et al. (2022)	Verbal	Sternberg task	Ensayo subarticulatorio	71 sesiones * 50 = 3550	Aciertos
Fernandez et al. (2002)	Verbal	Sternberg task	Ensayo subarticulatorio	200	Aciertos Tiempo de reacción
Gao et al. (2015)	Visual	Sternberg task	Refrescamiento	288	Aciertos Capacidad de memoria de trabajo
Gilbert (2014)	Verbal	Rehearsal-probe task	Ensayo subarticulatorio	120 + 60 catch	Aciertos Desviación estándar circular (en radianes)
Griesmayr et al. (2010)	Verbal	Sternberg task	Ensayo subarticulatorio	80	Aciertos Tiempo de reacción
Herrmann et al. (2004)	Visual	Delayed matched-to-sample	Refrescamiento	No se especifica	Tasa de error Tiempo de reacción

Continúa...

Referencia	Naturaleza de la tarea	Tipo de tarea	Estrategia de mantenimiento	Cantidad de ensayos	Métrica de evaluación
Johnson et al. (2015)	Visual	---	Refrescamiento	240	Aciertos
Martínez-Briones et al. (2020)	Verbal	Sternberg task	Ensayo subarticulatorio	180	Aciertos
Plaska et al. (2021)	Visual	Sternberg task	Ensayo subarticulatorio	200	Tiempo de reacción Aciertos
Rasoulzadeh et al. (2021)	Verbal	Complex span	Ensayo subarticulatorio	40	Tiempo de reacción Aciertos
Raye et al. (2007)	Visual	---	Refrescamiento Ensayo subarticulatorio	120	Exp2: aciertos
Rutar Gorišek et al. (2015)	Verbal y espacial	Sternberg task	Ensayo subarticulatorio	80	Aciertos
Spironelli et al. (2006)	Verbal	---	Elaboración	80	Tasa de error Tiempo de reacción
Spitzer & Blankenburg (2011)	Háptica	Delayed matched-to-sample	Refrescamiento subarticulatorio	480	Aciertos
Stokić et al. (2015)	Verbal	Sternberg task	Ensayo subarticulatorio	54	Aciertos Tiempo de reacción

Tabla 5
Aspectos generales del registro y procesamiento de los datos EEG

Referencia	Cantidad de electrodos	Tipo de análisis	Tiempo línea base	Ventana de tiempo para el análisis	¿Sólo ensayos correctos?	Resultados
Bae & Luck (2018)	27	Decodificación	No se especifica	1300ms	No	La distribución del poder del ERP a nivel del cuero cabelludo se modula mediante la información sobre la localización y orientación de los estímulos que se mantienen en la memoria de trabajo. Además, la localización puede ser decodificada por la distribución de la actividad alfa en el cuero cabelludo.
Bittrich et al. (2012)	64	ERP	200ms	1000ms	No	En comparación con los aciertos, los rechazos correctos mostraron un N400 mayor en la condición verbal, siendo máximo en los electrodos anteriores. Por otra parte, se observó un mayor GFP (<i>global field power</i>) en la condición tonal que en la verbal, así como para los rechazos correctos en comparación con los aciertos. Finalmente, distintos microestados tempranos y tardíos diferencian entre el mantenimiento de información verbal y tonal. Específicamente, se observa una mayor lateralización derecha para la información tonal e izquierda para la información verbal.

Continúa...

Referencia	Cantidad de electrodos	Tipo de análisis	Tiempo línea base	Ventana de tiempo para el análisis	¿Sólo ensayos correctos?	Resultados
Boran et al. (2019)	No se especifica	Actividad de neuronas individuales / Decodificación / Tiempo-frecuencia / Conectividad	No se especifica	2000ms	No	Durante el periodo de codificación, se observó que la actividad hipocampal puede utilizarse para predecir si una persona respondería correctamente o incorrectamente en la prueba. Durante la fase de mantenimiento, un conjunto de neuronas aumentó sistemáticamente su tasa de disparo a medida que aumentaba la demanda de la tarea. Además, se encontró una relación positiva entre la demanda y el aumento en la potencia de la actividad alfa en las áreas frontoparietales, hipocampales y en la tasa de disparo de las neuronas de "mantenimiento" del hipocampo. Asimismo, se observó una sincronización dependiente de la demanda en las bandas alfa y theta entre el hipocampo y electrodos occipitoparietales. Finalmente, durante la recuperación se observó una asociación entre la actividad de la corteza entorrinal y la presencia o no del ítem de prueba en el conjunto original, así como entre la actividad del lóbulo temporal medial y la precisión de las respuestas.
Costa et al. (2006)	19	Conectividad	No se especifica	No se especifica	No	El SI (synchronization index) fue significativo para electrodos frontales y posteriores. La diferencia más amplia involucró una variación de la actividad sincronizada entre los hemisferios derecho e izquierdo y entre los canales frontales y occipitales. Se observaron pocos efectos que involucraran la sincronización entre los electrodos ipsilaterales. La prueba F concluyó resultados significativos para las bandas alfa y beta, indicando diferencias entre la sincronización entre los electrodos prefrontales derechos e izquierdos y entre las áreas frontales y occipitales. Los patrones de sincronización también fueron diferentes entre las condiciones para theta en la zona occipital. Finalmente, se observaron diferencias en gamma para las zonas frontal y occipital y en delta entre las zonas frontales derecha e izquierda.

Continúa...

Referencia	Cantidad de electrodos	Tipo de análisis	Tiempo línea base	Ventana de tiempo para el análisis	¿Sólo ensayos correctos?	Resultados
Dinakopoulos et al. (2022)	17 (promedio)	Conectividad	No se especifica	2000ms	Sí	Durante la fase de codificación, la información fluye desde la corteza auditiva hacia el hipocampo (durante la tarea los participantes escuchaban palabras sobre lo que tenían que recordar). Durante la fase de mantenimiento, la información fluye en el sentido contrario. Ambas condiciones se presentaron en el hemisferio izquierdo. La sincronización se produce en la banda theta.
Fernandez et al. (2002)	20	Frecuencia / reconstrucción de fuente	No se especifica	1280ms	No se especifica	Aumento en la corriente para las frecuencias entre 3.9 y 4.68 Hz en regiones frontales izquierdas, que podría estar relacionado con el mantenimiento de información. Aumento en la corriente para las frecuencias entre 1.56 y 2.34 Hz y para las frecuencias específicas 5.46 Hz, 12.48 Hz, 13.26 Hz y 14.82 Hz; así como disminución para las frecuencias entre 8.58 y 9.36 Hz que podrían reflejar procesos atencionales vinculados con la memoria de trabajo
Gao et al. (2015)	62	Frecuencia	No se especifica	1000ms	No	Supresión en la banda mu en la región central al incrementar la demanda.
Gilbert (2014)	64	ERP / Frecuencia	1500ms	ERP: 75-125ms (N1), 150-300ms (P2), Frecuencia: 1500ms	No	Para la condición de match en comparación con mismatch, se observó una reducción en el pico de amplitud de N1 en el lóbulo temporal izquierdo, un incremento en el pico de amplitud de P2 en el lóbulo temporal izquierdo e incrementos en el poder logarítmico de la frecuencia de 2 Hz.
Griesmayr et al. (2010)	19	Frecuencia / Conectividad	No se especifica	2000ms	No	Se observó un poder más alto de theta frontomedial en la condición manipulación en comparación con la condición retención. En la segunda mitad del periodo de mantenimiento se observó un incremento en la actividad gamma para el electrodo P8 en la condición de manipulación. Finalmente, se observó un incremento a nivel frontomedial en la sincronización theta-gamma durante la primera mitad del periodo de mantenimiento para la condición de manipulación.

Continúa...

Referencia	Cantidad de electrodos	Tipo de análisis	Tiempo línea base	Ventana de tiempo para el análisis	¿Sólo ensayos correctos?	Resultados
Herrmann et al. (2004)	19	Tiempo-frecuencia	-800 a -600ms (200ms)	0 a 500ms, 500 a 2500ms	No	Incrementos en la actividad en la banda alfa en el componente tardío para la condición de memoria en comparación con la condición de percepción.
Johnson et al. (2015)	32	ERP	100ms	2000ms	Sí	Se observaron diferencias en los ERP entre las condiciones refrescamiento y no hacer nada: un pico positivo relativamente temprano (análogo a P3) y un lapso mayor de actividad positiva en los momentos más tardíos de la tarea (comparable con “late directing attention positivity” o LDAP). El componente tardío parece contener información sobre la categoría del estímulo a refrescar.
Martínez-Briones et al. (2020)	19	Frecuencia	No se especifica	800ms	Sí	En la condición de “carga alta”, el grupo control mostró un aumento bilateral prolongado en la actividad de theta alta y un incremento en la actividad de alfa baja en regiones frontales (giro orbitofrontal, giro frontomedial y giro frontal medio). El grupo con dificultades de aprendizaje mostró una disminución bilateral en la actividad alfa alta en los polos occipitales, junto con un aumento de actividad bilateral delta y theta en el polo occipital, el giro angular y el lóbulo parietal superior. Además, en el caso de theta, se observó mayor actividad bilateral en el giro frontal inferior, el giro temporal medio lateral y el giro frontal superior izquierdo. También se registró una disminución en la actividad gamma en el lóbulo parietal superior y el giro temporal medio derecho.

Continúa...

Referencia	Cantidad de electrodos	Tipo de análisis	Tiempo línea base	Ventana de tiempo para el análisis	¿Sólo ensayos correctos?	Resultados
Plaska et al. (2021)	64	Tiempo-frecuencia	No se especifica	6000ms	Sí	La condición de ensayo subarticulario mostró una mayor amplitud en la banda alfa alta y beta a nivel bilateral en regiones temporales, occipitales y parietales, así como en la región frontal izquierda. A nivel de fuentes, se observaron focos de actividad en las regiones temporal anterior izquierda, parietal izquierda y en la línea media parietal. En cuanto a la dinámica temporal, se observó una mayor ERD (<i>event-related desynchronization</i>) en alfa y beta para la condición de mantenimiento en los periodos 0-1400ms y 3900-6000ms, así como una mayor ERS (<i>event-related synchronization</i>) para el periodo 1100-4600ms. Finalmente, una mayor actividad en la banda theta y alfa en la región temporal anterior izquierda se asoció con un mejor desempeño cuando los estímulos carecían de contenido semántico.
Rasoulzadeh et al. (2021)	64	ERP / Frecuencia	250ms / 200ms	444ms / 394ms	Sí	Tanto para el componente EDAN (early directing attention negativity) como ADAN (anterior directing attention negativity), se observó una mayor negatividad sobre el hemisferio contralateral a la dirección de los desplazamientos de la atención espacial. De esta manera, la recuperación de elementos verbales almacenados serialmente en la memoria de trabajo implica procesos de atención espacial y genera los mismos componentes ERP relacionados con la atención que los observados en respuesta a señales espaciales tanto en el espacio externo como en la memoria de trabajo visuoespacial. Además de los componentes ERP lateralizados, la recuperación de elementos de la memoria de trabajo en serie estuvo acompañada por mayor actividad alfa en áreas posteriores ipsilaterales a la dirección de los cambios atencionales desencadenados.

Continúa...

Referencia	Cantidad de electrodos	Tipo de análisis	Tiempo línea base	Ventana de tiempo para el análisis	¿Sólo ensayos correctos?	Resultados
Raye et al. (2007)	No aplica	FMRI	No aplica	No aplica	No se especifica	La corteza prefrontal dorsolateral izquierda está relacionada con el refrescamiento de la información, mientras que la corteza prefrontal anterior izquierda tiene un papel más general como el de iniciar el proceso (Exp1). La corteza dorsolateral presentó mayor actividad durante la condición de refrescamiento en comparación con la condición de ensayo subarticulatorio. En la condición de ensayo subarticulatorio se observó actividad en el giro frontal inferior, en la región dorsal al área de Broca (Exp2).
Rutar Gorišek et al. (2015)	128	Conectividad	No se especifica	4000ms	Sí	Se registró un aumento en la sincronización de la actividad en la banda theta entre pares de electrodos prefrontales (correspondientes a la corteza prefrontal dorsolateral y ventral lateral) en ambos hemisferios, junto con una reducción en la sincronización en la misma banda entre electrodos prefrontales en la línea media durante la tarea verbal, y en la región centroparietal durante la tarea espacial. Además, se identificó una sincronización en la banda gamma durante la tarea verbal entre la zona frontolateral izquierda, la zona central izquierda y la parietal izquierda, así como bilateralmente en la región centroparietal durante la tarea espacial.

Continúa...

Referencia	Cantidad de electrodos	Tipo de análisis	Tiempo línea base	Ventana de tiempo para el análisis	¿Sólo ensayos correctos?	Resultados
Spironelli et al. (2006)	26	Frecuencia	1280	Cada ensayo se dividió en 4 secciones de 1280ms (línea base, Condición 1, tiempo entre estímulos y condición ISI)	Sí	Los niños con dislexia presentaron mayores tasas de error y tiempos de respuesta más lentos en comparación con el grupo control. El grupo control presentó un aumento lateralizado izquierdo en theta, mientras que las personas con dislexia mostraron una mayor amplitud theta en ubicaciones derechas. Durante la tarea semántica, ambos grupos mostraron mayor actividad bilateral en theta, con una mayor lateralización derecha en personas con dislexia. Finalmente, se observó un incremento en alfa en áreas posteriores en comparación con sitios anteriores, y para todos los grupos se encontró una mayor actividad alfa sobre el hemisferio derecho durante la tarea fonológica, mientras que la actividad alfa fue bilateral durante la tarea semántica.
Spitzer & Blankenburg (2011)	64	Tiempo-Frecuencia / Reconstrucción de fuente	500ms	2500ms	Sí	Durante la fase de refrescamiento, se registró un aumento en la actividad de las ondas alfa en las áreas visuales de la corteza occipital, acompañado de una reducción en la corteza somatosensorial primaria. Esta disminución fue bilateral, siendo más notable en los canales contralaterales al estímulo. Adicionalmente, se observó una variación sistemática en la actividad beta alta a nivel prefrontal en función de la frecuencia mantenida en memoria de trabajo.
Stokić et al. (2015)	19	Tiempo-frecuencia / Conectividad / Reconstrucción de fuente / Dimensión fractal	5000ms	5000ms	Sí	Aumento de la actividad theta en la región frontomedial y beta en la temporal, acompañado de una reducción en la actividad alfa en la región parietal, en respuesta a mayor demanda. Incremento de la dimensión fractal en las regiones temporal y parietal, con una reducción en la región frontomedial a mayor demanda. Aumento de la conectividad entre las regiones frontales y parietales en la banda theta

sistemáticos en función de la demanda en la tasa de disparo de neuronas hipocampales (en un estudio de diecinueve) y en la actividad alfa y beta (en dos estudios de diecinueve).

Además, cinco estudios de diecinueve documentan incrementos en la sincronización neuronal, principalmente en las bandas alfa y theta, entre las regiones frontoparietales y entre el hipocampo y las regiones corticales occipitoparietales. Estos resultados indican una compleja dinámica cerebral en respuesta a diversas demandas cognitivas, destacando la importancia de la modulación de la actividad neuronal y la sincronización cerebral en la realización de tareas cognitivas vinculadas a la memoria de trabajo.

Discusión

La revisión sistemática de diecinueve estudios sobre los mecanismos de mantenimiento de información en la memoria de trabajo y la actividad cerebral asociada revela una diversidad de enfoques metodológicos y resultados significativos en el campo. En primer lugar, es importante destacar la calidad general de los estudios incluidos, con calificaciones que oscilan entre 15 y 24 puntos, lo que sugiere un nivel razonable de rigor metodológico en la mayoría de ellos.

Asimismo, en cuanto a las muestras seleccionadas, es posible observar una distribución de edades que abarca desde niños hasta adultos mayores, así como la inclusión de personas con dificultades de aprendizaje. Si bien estos grupos no están igualmente representados y las muestras son pequeñas ($M = 21.55$, $DE = 11.21$), esta amplia variedad de participantes proporciona una perspectiva holística sobre los mecanismos de la memoria de trabajo y su relación con la actividad cerebral en diferentes contextos y poblaciones.

En términos de metodología, los estudios emplearon una variedad de tareas cognitivas y técnicas de registro cerebral, como EEG de alta y baja densidad, análisis de ERP, medidas de conectividad funcional, análisis de bandas de frecuencia y de la dimensión fractal. Una limitación recurrente en los estudios revisados es la variabilidad en los parámetros de análisis del EEG, tal y como las ventanas de análisis, la selección del rango de frecuencias, el uso de referencias distintas en el preprocesamiento y la inclusión o exclusión de ensayos incorrectos de los paradigmas experimentales. Si bien esto puede afectar la replicabilidad de los hallazgos y la integración de resultados en modelos teóricos unificados, esta diversidad metodológica también enriquece la comprensión de la memoria de trabajo al proporcionar información sobre los procesos neurales subyacentes en diferentes niveles de análisis, desde la actividad neuronal individual hasta la conectividad entre regiones cerebrales.

Ahora bien, el objetivo del presente trabajo fue indagar acerca de la actividad eléctrica cerebral asociada con tres mecanismos de mantenimiento de la información en memoria de trabajo: ensayo sub/articulatorio, refrescamiento atencional y elaboración. En términos generales, los resultados obtenidos revelan una modulación de la actividad cerebral durante el mantenimiento de información en la memoria de trabajo, tanto a nivel de la distribución cortical como en la actividad de componentes específicos de los ERP. Asimismo, se observaron cambios en la actividad a nivel de neuronas individuales, la actividad de bandas de frecuencia (especialmente alfa y theta) y la sincronización entre regiones cerebrales, lo que sugiere una compleja interacción entre diferentes redes cerebrales durante la ejecución de tareas de memoria de trabajo.

En este contexto, Schneider et al. (2020) sugieren una distinción en los correlatos neurofisiológicos de procesos de la memoria de trabajo independientes de la modalidad respecto a aquellos asociados a la modalidad de la tarea. Dentro de la primera categoría, señalan la participación de una red que abarca la corteza parietal posterior, la corteza prefrontal dorsolateral y la corteza cingulada anterior, respaldando las funciones de control fronto-parietal supramodales involucradas en la atención.

Asimismo, se enmarca también la participación de componentes de los ERP como el P300, el cual es un componente positivo tardío que se observa en respuesta a estímulos inesperados o de relevancia personal y se ha asociado con procesos de atención, memoria y toma de decisiones (Johnson et al., 2015). De esta manera, durante tareas de memoria de trabajo, la presencia y características del componente P300 pueden proporcionar información sobre la detección y procesamiento de estímulos relevantes para la realización de las tareas.

De la misma manera, la observación de cambios en la actividad alfa, típicamente asociada con el rango de frecuencia de 8 a 12 Hz, durante el mantenimiento de información en memoria de trabajo, es un hallazgo interesante que puede reflejar la implicación de este tipo de oscilaciones cerebrales en la regulación de la atención y el procesamiento de la información (Fernandez et al., 2002; Pavlov & Kotchoubey, 2022; Stokić et al., 2015). El aumento en la actividad en la banda alfa puede ser interpretado como un mecanismo que permite a las regiones cerebrales involucradas en la memoria de trabajo mantener y manipular la información de manera más eficiente al reducir la interferencia de regiones no relevantes para la tarea (Pavlov & Kotchoubey, 2022; Spitzer & Blankenburg, 2011).

En el caso de la segunda categoría, el procesamiento asociado a la modalidad en la memoria de trabajo, la supresión de la actividad en la banda alfa en regiones parietales y occipitales se ha visto como un signo de la participación de la corteza en la codificación de información somatosensorial y visual en la memoria de trabajo y en su decodificación durante la recuperación (Pavlov & Kotchoubey, 2022), lo que se observó en varios de los estudios sobre refrescamiento analizados en esta revisión sistemática (Bae & Luck, 2018; Gao et al., 2015; Spitzer & Blankenburg, 2011). A nivel de ERP, un fenómeno similar corresponde al componente LDAP, el cual tiene una distribución posterior y, como parte del refrescamiento, podría señalar la modulación top-down de las regiones corticales en respuesta a una clave atencional (Johnson et al., 2015).

En una línea similar, se ha estudiado el efecto del ensayo sub/articulatorio sobre la actividad en la banda theta, típicamente ubicada entre los 4 y 8 Hz, a nivel frontal y en la banda beta, típicamente asociada con frecuencias entre 12 y 30 Hz, a nivel temporal. En este contexto, el incremento en la actividad theta, así como una mayor sincronización en dicha banda a nivel frontal, fronto-parietal e hipocampo-cortical, se ha interpretado como un mecanismo que facilita la entrada y salida de información en la memoria de trabajo, en especial en tareas de naturaleza verbal (Boran et al., 2019; Fernandez et al., 2002; Griesmayr et al., 2010; Nyhus & Curran, 2010; Rutar Gorišek et al., 2015; Stokić et al., 2015).

Por su parte, la amplitud y la sincronización de la actividad beta pueden reflejar la carga de trabajo cognitivo durante las tareas de memoria de trabajo, con mayores niveles de actividad beta observados durante tareas con una mayor demanda (Stokić et al., 2015). La actividad beta también podría estar vinculada con la codificación directa del contenido en determinadas tareas (Spitzer & Blankenburg, 2011).

Asimismo, la observación de la modulación de la amplitud en componentes tempranos de los ERP -como N1, P2, EDAN y ADAN- en tareas de naturaleza verbal, sugiere una implicación de múltiples procesos cognitivos y redes neurales durante el mantenimiento de la información en la memoria de trabajo. Por ejemplo, un estudio demostró la implicación de la atención espacial en la memoria de trabajo verbal a través de la modulación de los ERP ([Rasoulzadeh et al., 2021](#)).

En lo que respecta a la elaboración, es importante considerar que en esta revisión sistemática solamente se recuperaron dos estudios en los que se indagó sobre este mecanismo de mantenimiento de la información. Sus resultados sugieren la participación de la actividad gamma (superior a los 30 Hz) sostenida en el ligamiento de las características de los estímulos y en procesos de orden superior tales como la elaboración semántica ([Costa et al., 2006](#)). Asimismo, sugieren la sincronización interhemisférica ante la elaboración de estímulos emocionales ([Costa et al., 2006](#)).

En conjunto, si bien la heterogeneidad en términos metodológicos no permite hacer afirmaciones sobre hallazgos recurrentes en la literatura, los resultados presentados en este estudio aportan a la comprensión de la dinámica neurofisiológica durante el mantenimiento de la información en la memoria de trabajo. Además, resaltan la importancia de considerar la actividad neuronal en diversos niveles de análisis para alcanzar una comprensión completa de los mecanismos neurales involucrados en la memoria de trabajo.

Un aspecto esencial para el desarrollo adecuado de las teorías es generar una mayor integración del conocimiento dentro y entre diferentes disciplinas. De ahí que un campo específico debería estar integrado por un conjunto mínimo de descripciones generales básicas en las que la comunidad científica debería coincidir respecto a qué se entiende por un proceso cognitivo particular y cuál es el mecanismo que le subyace. En la presente revisión sistemática se encontró que las descripciones propuestas para los tres mecanismos de mantenimiento difieren ampliamente entre sí.

Por un lado, en el caso del ensayo sub/articulatorio, la mayoría de los artículos hacen referencia explícita al bucle fonológico ([Baddeley & Hitch, 1974](#)) como el mecanismo cognitivo responsable del mantenimiento de la información verbal-auditiva en la memoria de trabajo ([Bittrich et al., 2012](#); [Dimakopoulos et al., 2022](#); [Fernandez et al., 2002](#); [Gilbert, 2014](#); [Martínez-Briones et al., 2020](#); [Rasoulzadeh et al., 2021](#); [Raye et al., 2007](#)), mientras que en otros artículos se complementa esta caracterización del ensayo sub/articulatorio con una descripción de la actividad eléctrica cerebral específica como su correlato neurobiológico ([Boran et al., 2019](#); [Rutar Gorišek et al., 2015](#)).

Otros trabajos solo hacen referencia directa a la actividad oscilatoria sincronizada persistente de las neuronas durante los intervalos de retención ([Costa et al., 2006](#); [Stokić et al., 2015](#)). Un trabajo solo ofrece una descripción muy vaga del mantenimiento de la información verbal ([Griesmayr et al., 2010](#)). Específicamente, Griesmayr et al. (2010) describen el ensayo sub/articulatorio como el repaso de los materiales durante el periodo de demora.

De los trabajos que explícitamente proponen el bucle fonológico como el mecanismo que subyace al ensayo sub/articulatorio, se encontró un estudio que, después de analizar cuidadosamente sus condiciones experimentales, podría considerarse mejor descrito como un estudio de elaboración ([Plaska et al., 2021](#)). Particularmente, en el experimento de Plaska et al. (2021), se les solicita a las y

los participantes que generen etiquetas verbales a paisajes y paisajes distorsionados para ser mantenidas durante un intervalo de retención. Desde el punto de vista de los autores de la presente revisión, es claro que estas condiciones experimentales requieren que los participantes construyan una etiqueta a partir del establecimiento de una asociación entre el estímulo presentado (e.g., paisaje o paisaje distorsionado) y el conocimiento de su memoria semántica. Por ello, estas condiciones experimentales facilitan un proceso de elaboración como mecanismo de mantenimiento.

Por otro lado, la mayoría de los estudios relacionados con el refrescamiento atencional manifiestan que la atención sostenida o refleja dirigida a la memoranda, durante los intervalos de retención, es el mecanismo cognitivo responsable del mantenimiento de la información (Bae & Luck, 2018; Johnson et al., 2015; Spitzer & Blankenburg, 2011). Otros trabajos son menos explícitos en cuanto a la caracterización del refrescamiento, por lo que este es descrito como el acto de repasar o pensar en los estímulos por ser recuperados (Herrmann et al., 2004) o como una definición operacional estrechamente circunscrita a la actividad cognitiva que ocurre durante los intervalos de retención (Gao et al., 2015). Finalmente, en relación con el mecanismo de mantenimiento elaboración, el único estudio incluido lo describe como el índice de sincronización entre diferentes canales del EEG durante un periodo de descanso (Costa et al., 2006).

En resumen, puede verse que existe un mayor acuerdo en cuanto a la descripción y la teoría que subyace al ensayo sub/articulatorio, haciendo referencia al bucle fonológico. En el caso del refrescamiento atencional, la descripción ofrecida es menos específica pero consistentemente vinculada con la atención sostenida dirigida a la memoranda como el mecanismo subyacente. En ambos casos la relación entre el diseño experimental y las técnicas de análisis cerebral ofrecen un marco de referencia conceptual que podría facilitar la integración de un conjunto de supuestos en una narrativa coherente.

No obstante, lo presentado en estos trabajos no ofrece caracterizaciones precisas y explicativas de cómo son implementados estos mecanismos de mantenimiento de la información en la memoria de trabajo. Por ejemplo, ¿el refrescamiento de las representaciones ocurre de acuerdo con el orden en el que es presentada la memoranda?, ¿ocurre de manera simultánea sobre múltiples representaciones (en paralelo)?, ¿el sistema cognitivo es capaz de priorizar por aquellas representaciones que poseen un menor nivel de activación?

Estas preguntas ya han sido abordadas, inicialmente, en modelos computacionales y diseños experimentales en psicología cognitiva. Así, se espera que este trabajo impulse agendas de investigación que integren, en mayor medida, el conocimiento generado por los modelos computacionales, la psicología cognitiva experimental y las técnicas de análisis de la actividad cerebral. En el caso de los estudios dirigidos a la elaboración, puede decirse que su avance es aún incipiente en las áreas de conocimiento previamente mencionadas; por ello, es aún más urgente el desarrollo de agendas de investigación que lo aborden de manera interdisciplinaria.

Referencias

Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)

-
- Bae, G.-Y., & Luck, S. J. (2018). Dissociable Decoding of Spatial Attention and Working Memory from EEG Oscillations and Sustained Potentials. *The Journal of Neuroscience*, 38(2), 409-422. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2860-17.2017>
- Barrouillet, P., Bernardin, S., Portrat, S., Vergauwe, E., & Camos, V. (2007). Time and cognitive load in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(3), 570-585. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.3.570>
- Bartsch, L. M., Singmann, H., & Oberauer, K. (2018). The effects of refreshing and elaboration on working memory performance, and their contributions to long-term memory formation. *Memory & Cognition*, 46(5), 796-808. <https://doi.org/10.3758/s13421-018-0805-9>
- Bayliss, D. M., Bogdanovs, J., & Jarrold, C. (2015). Consolidating working memory: Distinguishing the effects of consolidation, rehearsal and attentional refreshing in a working memory span task. *Journal of Memory and Language*, 81, 34-50. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2014.12.004>
- Bittrich, K., Schulze, K., & Koelsch, S. (2012). Electrophysiological correlates of verbal and tonal working memory. *Brain Research*, 1432, 84-94. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2011.11.011>
- Boran, E., Fedele, T., Klaver, P., Hilfiker, P., Stieglitz, L., Grunwald, T., & Sarnthein, J. (2019). Persistent hippocampal neural firing and hippocampal-cortical coupling predict verbal working memory load. *Science Advances*, 5(3), eaav3687. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav3687>
- Camos, V., Johnson, M., Loaiza, V., Portrat, S., Souza, A., & Vergauwe, E. (2018). What is attentional refreshing in working memory? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1424(1), 19-32. <https://doi.org/10.1111/nyas.13616>
- Camos, V., Lagner, P., & Barrouillet, P. (2009). Two maintenance mechanisms of verbal information in working memory. *Journal of Memory and Language*, 61(3), 457-469. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2009.06.002>
- Cohen, M. X. (2014). *Analyzing neural time series data: Theory and practice*. The MIT Press.
- Costa, T., Rognoni, E., & Galati, D. (2006). EEG phase synchronization during emotional response to positive and negative film stimuli. *Neuroscience Letters*, 406(3), 159-164. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.06.039>
- Cowan, N. (1999). An Embedded-Processes Model of Working Memory. En A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of Working Memory* (1a ed., pp. 62-101). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174909.006>
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87-114. <https://doi.org/10.1017/S0140525X01003922>
- Dickter, C. L., & Kieffaber, P. D. (2014). *EEG methods for social and personality psychology*. SAGE Publications.
- Dimakopoulos, V., Mégevand, P., Stieglitz, L. H., Imbach, L., & Sarnthein, J. (2022). Information flows from hippocampus to auditory cortex during replay of verbal working memory items. *eLife*, 11, e78677. <https://doi.org/10.7554/eLife.78677>
- Fernandez, T., Harmony, T., Gersenowies, J., Silva-Pereyra, J., Fernández-Bouzas, A., Galán, L., & Díaz-Comas, L. (2002). Chapter 41 Sources of EEG activity during a verbal working memory task in adults and children. *Supplements to Clinical Neurophysiology*, 54, 269-283. [https://doi.org/10.1016/S1567-424X\(09\)70461-1](https://doi.org/10.1016/S1567-424X(09)70461-1)

-
- Gao, Z., Bentin, S., & Shen, M. (2015). Rehearsing Biological Motion in Working Memory: An EEG Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27(1), 198-209. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00687
- Gilbert, R. A. (2014). *Temporal properties of rehearsal in auditory verbal short-term memory*. [Tesis de doctorado inédita, Universidad de York].
- Griesmayr, B., Gruber, W. R., Klimesch, W., & Sauseng, P. (2010). Human frontal midline theta and its synchronization to gamma during a verbal delayed match to sample task. *Neurobiology of Learning and Memory*, 93(2), 208-215. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2009.09.013>
- Herrmann, C. S., Senkowski, D., & Röttger, S. (2004). Phase-Locking and Amplitude Modulations of EEG Alpha: Two Measures Reflect Different Cognitive Processes in a Working Memory Task. *Experimental Psychology*, 51(4), 311-318. <https://doi.org/10.1027/1618-3169.51.4.311>
- Johnson, M. R., McCarthy, G., Muller, K. A., Brudner, S. N., & Johnson, M. K. (2015). Electrophysiological Correlates of Refreshing: Event-related Potentials Associated with Directing Reflective Attention to Face, Scene, or Word Representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27(9), 1823-1839. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00823
- Lemaire, B., Pageot, A., Plancher, G., & Portrat, S. (2018). What is the time course of working memory attentional refreshing? *Psychonomic Bulletin & Review*, 25(1), 370-385. <https://doi.org/10.3758/s13423-017-1282-z>
- Luna, A. J. H. de O., Kruchten, P., Pedrosa, M. L. G. do E., de Almeida Neto, H. R., & de Moura, H. P. (2014). State of the Art of Agile Governance: A Systematic Review. *International Journal of Computer Science and Information Technology*, 6(5), 121-141. <https://doi.org/10.5121/ijcsit.2014.6510>
- Martínez-Briones, B., Fernández-Harmony, T., Garófalo Gómez, N., Biscay-Lirio, R., & Bosch-Bayard, J. (2020). Working Memory in Children with Learning Disorders: An EEG Power Spectrum Analysis. *Brain Sciences*, 10(11), 817. <https://doi.org/10.3390/brainsci10110817>
- Niso, G., Bruña, R., Pereda, E., Gutiérrez, R., Bajo, R., Maestú, F., & del-Pozo, F. (2013). HERMES: Towards an Integrated Toolbox to Characterize Functional and Effective Brain Connectivity. *Neuroinformatics*, 11(4), 405-434. <https://doi.org/10.1007/s12021-013-9186-1>
- Nyhus, E., & Curran, T. (2010). Functional role of gamma and theta oscillations in episodic memory. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(7), 1023-1035. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.12.014>
- Oberauer, K. (2019). Is Rehearsal an Effective Maintenance Strategy for Working Memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 23(9), 798-809. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.06.002>
- Oberauer, K., & Lewandowsky, S. (2013). Evidence against decay in verbal working memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(2), 380-411. <https://doi.org/10.1037/a0029588>
- Oberauer, K., Lewandowsky, S., Awh, E., Brown, G. D. A., Conway, A., Cowan, N., Donkin, C., Farrell, S., Hitch, G. J., Hurlstone, M. J., Ma, W. J., Morey, C. C., Nee, D. E., Schwenke, J., Vergauwe, E., & Ward, G. (2018). Benchmarks provide common ground for model development: Reply to Logie (2018) and Vandierendonck (2018). *Psychological Bulletin*, 144(9), 972-977. <https://doi.org/10.1037/bul0000165>
- Pavlov, Y. G., & Kotchoubey, B. (2022). Oscillatory brain activity and maintenance of verbal and visual working memory: A systematic review. *Psychophysiology*, 59(5), e13735. <https://doi.org/10.1111/psyp.13735>
- Pinnock-Branford, A., Leandro-Argüello, P., Sánchez-Burgos, M., Fernández-Castro, T., & Mora-Benambourg, J. M. (2021). La eficacia de la biorretroalimentación como tratamiento para el asma. Una revisión sistemática. *Wimb Lu*, 16(1), 29-50. <https://doi.org/10.15517/wl.v16i1.45971>
-

-
- Plaska, C. R., Ng, K., & Ellmore, T. M. (2021). Does rehearsal matter? Left anterior temporal alpha and theta band changes correlate with the beneficial effects of rehearsal on working memory. *Neuropsychologia*, 155, 107825. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.107825>
- Rasoulzadeh, V., Sahan, M. I., Van Dijck, J.-P., Abrahamse, E., Marzecova, A., Verguts, T., & Fias, W. (2021). Spatial Attention in Serial Order Working Memory: An EEG Study. *Cerebral Cortex*, 31(5), 2482-2493. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhaa368>
- Raye, C. L., Johnson, M. K., Mitchell, K. J., Greene, E. J., & Johnson, M. R. (2007). Refreshing: A Minimal Executive Function. *Cortex*, 43(1), 135-145. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70451-9](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70451-9)
- 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. <https://doi.org/10.1037/a0030883>
- Rutar Gorišek, V., Belič, A., Manouilidou, C., Koritnik, B., Repovš, G., Bon, J., Žibert, J., & Zidar, J. (2015). The electrophysiological correlates of the working memory subcomponents: Evidence from high-density EEG and coherence analysis. *Neurological Sciences*, 36(12), 2199-2207. <https://doi.org/10.1007/s10072-015-2337-4>
- Schneider, D., Zickerick, B., Thönes, S., & Wascher, E. (2020). Encoding, storage, and response preparation—Distinct EEG correlates of stimulus and action representations in working memory. *Psychophysiology*, 57(6), e13577. <https://doi.org/10.1111/psyp.13577>
- Sgarbossa, N., Ibáñez Cobaisse, M., González Cianciulli, G., Bracchiglione, J., & Franco, J. V. A. (2022). Systematic reviews: Key concepts for health professionals. *Medwave*, 22(09), e2622-e2622. <https://doi.org/10.5867/medwave.2022.09.2622>
- Spironelli, C., Penolazzi, B., Vio, C., & Angrilli, A. (2006). Inverted EEG theta lateralization in dyslexic children during phonological processing. *Neuropsychologia*, 44(14), 2814-2821. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.009>
- Spitzer, B., & Blankenburg, F. (2011). Stimulus-dependent EEG activity reflects internal updating of tactile working memory in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(20), 8444-8449. <https://doi.org/10.1073/pnas.1104189108>
- Stokić, M., Milovanović, D., Ljubisavljević, M. R., Nenadović, V., & Čukić, M. (2015). Memory load effect in auditory-verbal short-term memory task: EEG fractal and spectral analysis. *Experimental Brain Research*, 233(10), 3023-3038. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4372-z>

Recibido: 05 de julio de 2024

Revisión recibida: 12 de marzo de 2025

Aceptado: 24 de marzo de 2025

Sobre los autores:

Bradly Marín-Picado  es docente e investigador en la Escuela de Psicología y como técnico de laboratorio en el Centro de Investigación en Neurociencias de la Universidad de Costa Rica. Es máster en Ciencias Cognoscitivas y licenciado en Psicología por la Universidad de Costa Rica. Sus líneas de investigación se centran en el uso de metodologías de registro fisiológico (como la electroencefalografía) para el estudio de los procesos cognitivos y emocionales, así como el desarrollo de meta-análisis en Psicología de la Salud y Psicología Cognitiva. Además, participa en proyectos enfocados en memoria de trabajo, neurofeedback, y análisis estadístico de datos experimentales

Odir Antonio Rodríguez-Villagra  obtuvo su doctorado en la Universidad de Potsdam en Alemania. Actualmente, es director del Centro de Investigación en Neurociencias y fue director del Programa de Posgrado en Ciencias Cognoscitivas de la Universidad de Costa Rica. Además, es investigador del Instituto de Investigaciones Psicológicas y profesor de la Escuela de Psicología, el Posgrados en Ciencias Cognoscitivas y otras unidades académicas de la Universidad de Costa Rica. Actualmente, sus estudios se enfocan en comprender los factores que limitan la capacidad de la memoria de trabajo y los procesos que ayudan con el mantenimiento de la información. El estudio de estos aspectos los aborda, metodológicamente, por medio de la modelación estadística, la modelación matemática, estudios de electroencefalografía y mediante el registro de los movimientos oculares.

Luis Carlos González Flores  es bachiller en Psicología y en Estadística por la Universidad de Costa Rica. Sus intereses académicos y profesionales se centran en el análisis de datos, la estadística aplicada y el desarrollo de herramientas computacionales para la investigación en psicología y ciencias sociales.

Publicado en línea: 30 de junio de 2025