



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Programa de Maestría y Doctorado en Música

Facultad de Música
Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología
Instituto de Investigaciones Antropológicas

Capacidad de memoria y estrategias de instrumentistas y no músicos en pruebas auditivas de Sternberg modificadas con unidades significativas musicales y verbales

TESIS
QUE, PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN MÚSICA (Cognición Musical)

PRESENTA
Fátima Sofía Ávila Cascajares

TUTORES
Mtra. Gabriela Pérez Acosta (Facultad de Música, UNAM)
Dr. Miguel Ángel Porta García (Laboratorio de Neuroimagenología, Universidad Autónoma Metropolitana, campus Iztapalapa; Centro de Investigación e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación, CONACyT)

CIUDAD DE MÉXICO. Agosto 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Declaro conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, plasmado en la Legislación Universitaria. Con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí especificadas, aseguro mediante mi firma al calce que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría. Todas las citas de obras elaboradas por otros autores, o sus referencias, aparecen aquí debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante las convenciones editoriales correspondientes.

A México, mi tierra natal, y a quienes
en el marco de la pandemia de SARS-CoV-2
perdieron la vida o a un ser querido.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi casa académica a lo largo de 10 años y por su apoyo en esta etapa a través de la Coordinación General de Estudios de Posgrado. A la Facultad de Música y el Programa de Maestría y Doctorado en Música por permitirme desarrollarme en el campo de Cognición Musical.

A mi tutora, la Mtra. Gabriela Pérez Acosta cuyo trabajo me inspiró a entrar al posgrado. Por su espíritu siempre colaborativo y participativo dentro y fuera del posgrado. Por la oportunidad que me dio para aprender de ella como tutora, docente, músico e investigadora.

Al Dr. Miguel Ángel Porta García, por su apoyo, compromiso y visión crítica como tutor. Por su disciplina y claridad como docente, indispensable para el desarrollo metodológico de este trabajo y de gran valía para mi desarrollo profesional.

A los profesores que conforman el programa de posgrado, por transmitirme su pasión y dedicación por la ciencia y la música: Dr. Enrique Flores, Dr. Felipe Orduña, Dr. Darío Martínez y Dra. Coral Guerrero. Así como la Dra. Selene Cansino el Dr. José Luis Díaz de los programas de Neurobiología y Filosofía de la Ciencia.

A mis compañeros Sonia, Juan Carlos, Carlos Andrés, Lucero, Jorge, Emmanuel y Edith, por nuestras conversaciones dentro y fuera del aula, por su experiencia, curiosidad y musicalidad.

A los miembros administrativos del posgrado, con especial reconocimiento a Jasmin Ocampo y a Mónica Sandoval, cuya labor hace posible el funcionamiento del posgrado y que tuvieron un papel fundamental en la logística para las pruebas presenciales en la Facultad de Música y la Unidad de Posgrado de la UNAM.

Al Dr. Caleb Rascón, Martín García y Oscar Hernández, quienes en distintas formas y momentos contribuyeron a mi formación en programación y a la implementación técnica de éste trabajo.

A los miembros del jurado por su revisión y comentarios a la presente tesis:

- Dra. Coral Italú Guerrero Arenas
- Dr. Felipe Orduña Bustamante
- Dr. Luis Alonso Lemus Sandoval
- Dra. Carmen Selene Cansino Ortiz
- Dra. Alina María Signoret Dorcasberro

Agradecimientos

A mis papás, Diana y Luis Enrique por su fuerza, versatilidad y cariño. Por ser mis ejemplos y pilares. Por hacer un hogar donde aprender, crecer y convivir siempre en equipo.

A mi hermana Belén, por su disciplina, talento y liderazgo. Por ser a la vez compañera y ejemplo. Por sus ojitos chispeantes y su actitud brincolina.

A Helvita y Armando por su entusiasmo, iniciativa y su capacidad para irradiar luz en la vida de quienes los rodean.

A mi esposo, Alejandro Fábregas Tejeda, por construir conmigo un hogar y un proyecto de vida. Por escucharme, leerme, cuidarme y confiar en mí. Por soñar juntos y trabajar conmigo para escribir con esos sueños nuestra vida.

A los integrantes de la familia Ávila, por su personalidad escandalosa, diversa y su memoria musical.

A mi familia materna, diversa en apellidos pero estrecha en sentimiento, porque a pesar de estar lejos siempre estamos cerca.

A la familia León, por los momentos y lazos trazados con cada uno de ellos.

A las amistades que perduran a través del tiempo y la distancia, a Casandra, Gisselle, Marisol, Ricardo y Mario. Por compartir mutuamente historias, retos, logros, dudas, incertidumbres y risas.

A los coros hermanos Ars Iovialis, Alquimistas, Aliis vivere y Acordes, y la Academia de Música del Palacio de Minería, cuyo trabajo conjunto bajo la dirección del Maestro Óscar Herrera despertó mi curiosidad sobre lo que significa hacer música dentro y fuera del cerebro.

A quienes anónimamente participaron en este estudio por su tiempo y honestidad, así como quienes contribuyeron a su difusión y materialización.

Índice

Lista de tablas y figuras	1
Resumen	3
Summary	4
1. Introducción	1
2. Capacidad de memoria	1
2.1 Definición y modelos teóricos	1
2.2 Definición operacional	12
2.3 Debates teórico-metodológicos	14
3. Procesamiento estratégico	15
3.1 Tipos de estrategias	16
3.2 Uso y mecanismos compensatorios	17
4. Memoria verbal	19
5. Memoria musical	23
5.1 Percepción y memoria musical	24
5.2 Procesamiento especializado	25
5.2.1 La memoria experta como campo de estudio	25
5.2.2 Memoria experta y cognición musical	27
5.3 Estudios comparativos y tareas de memoria musical	28
6. Planteamiento del problema	35
6.1 Justificación	35
6.2 Preguntas de investigación	36
6.3 Hipótesis	36
6.4 Objetivos	37
7. Método	38
7.1 Diseño metodológico	38
7.2 Materiales y métodos	39
7.2.1 Cuestionarios y formularios	39
7.2.2 Prueba de Sternberg modificada	40
7.2.3 Procedimiento	46
7.2.4 Adaptación metodológica para el estudio remoto	47
7.3 Análisis de datos	48
8. Resultados	52
8.1 Estudios piloto	52
8.1.1 Desempeño en la prueba musical	53
8.1.2 Estrategias en la prueba musical	54
8.1.3 Desempeño en la prueba verbal	55
8.1.4 Estrategias en la prueba verbal	56
8.2 Estudios experimentales	59

8.2.1	Desempeño en la prueba musical	60
8.2.2	Estrategias en la prueba musical	62
8.2.3	Desempeño en la prueba verbal	63
8.2.4	Estrategias en la prueba verbal	66
9.	Discusión	70
9.1	Diseño e implementación de la prueba	70
9.2	Resultados cuantitativos	72
9.2.1	Capacidad, exactitud y sensibilidad d' musical	72
9.2.2	Diferencias grupales y limitaciones en la prueba musical	73
9.2.3	Individuos sin formación con alta capacidad musical	73
9.2.4	Capacidad y exactitud en la prueba verbal	74
9.3	Estrategias auto-reportadas	74
9.3.1	Procesamiento basal	75
9.3.2	Repaso mental	75
9.3.3	La estrategia basada en patrones	76
9.3.4	Estrategias en la prueba verbal	77
9.4	Debates teóricos	78
9.4.1	Memoria general o de dominio específico	78
9.4.2	Memoria experta y elusión de límites	78
10.	Conclusiones y perspectivas	80
11.	Referencias	84

Lista de tablas y figuras

Marco teórico

- Figura 1. Modelo multi-componente actualizado (Baddeley, 2003a).
Figura 2. Descripción gráfica del modelo de Cowan (Cowan, 2008).
Figura 3. Paradigma de reconocimiento de Sternberg (Sternberg, 1969).
Figura 4. Modelos hipotéticos de la relación entre la memoria de corto plazo y la memoria de trabajo (Aben *et al.*, 2012).
Figura 5. Propuesta crítica al modelo multi-componente (Berz, 1995).
Figura 6. Esquematación del paradigma empleado por Dowling (1973)

Método

- Figura 7. Composición de ensayos ejemplo.
Tabla 1. Resumen de los estudios piloto.
Figura 8. Unidades musicales significativas.
Tabla 2. Caracterización de la lista de palabras.
Figura 9. Pantalla de inicio de la interfaz gráfica diseñada para el estudio remoto.
Figura 10. Matriz de confusión y modelo de detección de señales
Tabla 3. Categorización de estrategias a partir de palabras clave. (Adaptado de Morrison *et al.*, 2016).

Resultados

- Tabla 4. Características de las muestras piloto.
Figura 11. Capacidad y exactitud musical en los estudios piloto.
Tabla 5. Relación entre estrategias, capacidad, exactitud y desempeño ponderado musical en los estudios piloto.
Figura 12. Capacidad y exactitud verbal en los estudios piloto.
Tabla 6. Relación entre estrategias, capacidad, exactitud y sensibilidad d' verbal en los estudios piloto.
Figura 13. Índice de sensibilidad d' en las pruebas piloto.
Tabla 7. Características de las muestras experimentales.
Tabla 8. Características específicas de los instrumentistas.
Figura 14. Capacidad, exactitud y sensibilidad d' musical en los estudios experimentales.
Tabla 9. Uso de estrategias auto reportadas en la prueba musical categorizadas *a posteriori*.
Figura 15. Uso de estrategias por capacidad y por puntaje d' musical.

- Figura 16. Capacidad, exactitud y sensibilidad d' verbal en los estudios experimentales.
- Tabla 10. Uso de estrategias auto reportadas en la prueba verbal categorizadas *a posteriori*.
- Figura 17. Capacidad, exactitud y sensibilidad d' verbal según las estrategias reportadas.
- Figura 18. Índice de sensibilidad d' en las pruebas experimentales.

Resumen

La memoria de trabajo y de corto plazo son sistemas de capacidad limitada (7 ± 2 ítems) que funcionan como intermediarios entre la percepción, la memoria de largo plazo y la acción. Se ha propuesto que la capacidad de almacenamiento se puede optimizar haciendo uso de estrategias y conocimiento almacenados en la memoria a largo plazo, y que esta optimización será más alta para expertos (*p.ej.* deportistas, músicos, ajedrecistas) al procesar estímulos que pertenecen a su dominio de experiencia. Estudios previos en músicos reportan que la capacidad de memoria está entre tres y ocho notas musicales. Dichos estudios se han limitado a usar notas individuales o incluso estímulos no musicales. Una de nuestras hipótesis es que más información (número de notas) podrá retenerse si se ocupan pequeñas secuencias tonales en lugar de notas individuales, de la misma forma en que cantidades equivalentes de letras, palabras y pares de palabras son recordados. Además, el estudio de la capacidad de memoria debe incluir a sujetos sin formación musical en protocolos que no dependan del conocimiento o capacidad de reproducción musical, para elucidar el papel de la experiencia en la memoria de corto plazo.

El objetivo de este trabajo es comparar, en instrumentistas y no músicos, la capacidad de memoria de trabajo para unidades musicales significativas (UMS) y comparar su desempeño con el de la retención de palabras, como un estímulo auditivo familiar para ambos grupos. Desarrollamos dos pruebas Sternberg auditivas de dificultad adaptativa con sustantivos trisilábicos en español y secuencias musicales isócronas de 3 notas con composición interválica frecuente en el contexto tonal. Las listas presentadas fueron de 3 hasta 23 elementos dependiendo del desempeño de cada sujeto. Las tareas desarrolladas fueron probadas en tres estudios piloto descritos en este trabajo. La investigación se dividió en dos estudios: uno presencial (31 sujetos sanos; 20-55 años) y uno remoto (31 sujetos sanos; 20-55 años) debido a la contingencia sanitaria ocasionada por la pandemia de SARS-CoV-2. La participación remota se realizó vía videoconferencia con versiones instalables de la prueba.

En ambas configuraciones, la capacidad y sensibilidad d' de los instrumentistas fue mayor que la de los no músicos en la prueba musical. Las estrategias auto-reportadas fueron relevantes para el desempeño en la prueba musical tanto en músicos como en no músicos. El desempeño en la prueba verbal no tuvo relación con la formación musical ni las estrategias reportadas, pero sí con la frecuencia lectora. Nuestra hipótesis se confirmó ya que la capacidad musical promedio en nuestro estudio (6 ítems) contiene 18 notas, y por lo tanto es mayor de la reportada por otras tareas. Interpretamos esto como una confirmación de la consistencia intra-ítem de las UMS, es decir, las unidades cognitivas de la prueba. Las pruebas de Sternberg modificadas desarrolladas en este trabajo proveen una herramienta para evaluar la capacidad musical sin conocimientos teóricos o prácticos en la materia, disminuyendo sesgos metodológicos entre expertos y participantes no entrenados. Este equilibrio permite hacer una mejor distinción del papel de la experiencia, las estrategias y la variabilidad individual.

Palabras clave: Memoria de corto plazo, percepción musical, lenguaje, prueba computarizada

Summary

Short term and working memory are systems with limited capacity (7 ± 2 items) and fulfil an intermediate role between perception and long term memory. It has been proposed that memory capacity can be optimized by strategic processing and long term knowledge, most notably in experts (e.g. athletes, musicians and chess players) when stimuli to be remembered belong to their field of expertise. Previous studies have found that in musicians working memory lies between three and eight notes. Such studies have primarily used single tones or even non-musical stimuli to evaluate working memory capacity. We hypothesized that a larger amount of information (namely notes) could be retained if, instead of individual notes, small tonal sequences were to be remembered, just as equivalent numbers of letters, words and word-pairs can be recollected. Even more, musical memory capacity is to be studied subjects without musical training to disentangle the role of experience with protocols that do not rely on theoretical or performance musical skills.

The aim of this work is to assess how many short tonal sequences musicians and non-musicians could retain, and then compare their performance with words as an auditory stimulus, assumed to be familiar to both groups. We developed two adaptive staircase musical and verbal auditory Sternberg tasks with Three-note Tonal Sequences (TTS) and trisyllabic spanish nouns, respectively. Lists length ranged from three to 23 items depending on each individual's performance. Tasks were tested in three pilot studies reported herein. Research was conducted in two cohorts: an *in situ* study (31 healthy subjects; 20-55 years old) and a remote study (31 healthy subjects; 20-55 years old) because of the SARS-CoV-2 pandemic. Remote participation was facilitated with installable versions of the test.

In both settings, musicians outperformed non-musicians in the musical tasks both in terms of capacity and d prime index, although not in the verbal task. Reported strategies proved to be relevant in the musical task for both musicians and non-musicians. Regarding verbal performance, no statistical differences were found based on musical training nor reported strategies, while self-reported reading frequency did. Our hypothesis was confirmed since the average musical capacity seen in this study (6 items) contains 18 notes, and is therefore higher than those reported by other tests. We interpret this as a confirmation of TTS intra-item consistency, since we hold that TTS are the cognitive units of this test. The modified musical Sternberg task developed in this study proved itself as a useful tool to measure musical short term memory without requiring previous knowledge. The compatibility of this test with both trained and untrained participants allows for a better distinction between the role of experience, strategies and personal variability in memory research.

Keywords: short term memory, music perception, language, computer-based task

1. Introducción

La ejecución musical es una de las actividades más complejas que realiza el ser humano. Para quien la realiza, involucra alta carga cognitiva por las demandas de memoria, atención, planeación motora y percepción, cuya coordinación permite la ejecución con alta exactitud y precisión. A través de su interacción con varios procesos, la memoria es indispensable para la actividad musical dado que participa en la percepción (Patel *et al.*, 1998), el reconocimiento (Dowling, 1973), los dictados musicales (Berz, 1995), la adquisición de habilidades musicales (Williamson *et al.*, 2010) y la ejecución a primera vista (Meinz & Hambrick, 2010).

Décadas de investigación han buscado explicar cómo y en qué medida influyen las propiedades específicas de la música, tales como el contorno melódico (Dowling 1978; 1994; Trainor *et al.*, 1999) y la tonalidad (Miller & Cuddy, 1972; Schulze *et al.*, 2011), en su memorización. Los resultados apuntan a que la experiencia tiene un papel fundamental que permite a los músicos memorizar mejor los estímulos musicales que los no músicos.

Para establecer el papel del dominio de experiencia en la memorización de estímulos se ha comparado al lenguaje con la música. Dichos estudios conductuales (Deutsch, 1970) y neurofisiológicos (Schulze *et al.*, 2011) han sugerido que existe especialización neuroanatómica diferente para música y lenguaje en los músicos profesionales. En este sentido, la comparación ha sido dispar, ya que, además de que resulta difícil establecer condiciones equivalentes entre estímulos musicales y verbales, se han usado comúnmente estímulos no significativos que no se encuentran en la práctica, tales como letras, sílabas o tonos en lugar de palabras y motivos musicales.

El potencial de un estímulo para ser recordado depende, entre otras cosas, de la relevancia, significado y familiaridad que el sujeto le asigna. Por ejemplo, comparaciones entre palabras y pseudo-palabras¹ han demostrado que la memoria es menor para pseudo-palabras que para palabras (Benassi-Werke *et al.*, 2012), indicando que el significado y la familiaridad de los estímulos afectan su

¹ Las pseudo-palabras son secuencias de fonemas propios de un lenguaje pero carentes de significado en ese lenguaje.

memorización. Lo mismo ha sido probado en el campo musical al usar secuencias tonales y atonales. Schulze y colaboradores (2010) mostraron que los músicos profesionales recuerdan mejor las secuencias tonales que las atonales y, a su vez, recuerdan ambas secuencias mejor que los sujetos sin formación musical.

En este punto es importante plantearse, ¿cuál sería un estímulo significativo y familiar adecuado para evaluar la memoria musical? Si bien la música se puede dividir en estructuras jerárquicas tales como movimientos, temas, frases y compases, los lineamientos para considerar a una secuencia musical en un tipo de categoría no son tan lineales.

Esta tesis pretende comparar la retención de estímulos auditivos de tipo verbal y musical en instrumentistas e individuos sin formación musical. Para ello, desarrollamos pruebas con unidades de estudio más cercanas a los estímulos naturales que los oyentes frecuentan respecto a unidades abstractas, como las letras o tonos aislados, que han sido ampliamente utilizados en estudios previos. El desarrollo de las pruebas modificadas de Sternberg, en especial el banco de estímulos, se vio informado por estudios previos de procesamiento estratégico, y de las características perceptuales que influyen en la memoria y por las observaciones realizadas en tres estudios piloto. En las siguientes secciones se desarrolla el contexto teórico de la capacidad de memoria (sección 2), las estrategias comúnmente aplicadas en tareas de memoria de corto plazo (sección 3) y las características propias del material verbal (sección 4) y musical (sección 5) que influyen sobre la memoria de corto plazo y las distintas aproximaciones al estudio comparado de memoria para música y lenguaje, que orientaron el planteamiento de esta tesis. Posteriormente, se incluyen en los métodos las modificaciones implementadas en el protocolo a lo largo de los estudios piloto (sección 7.2.2), y sus respectivos resultados (sección 8.1), seguidos de los resultados en los estudios experimentales (sección 8.2). Como se observa más adelante, las pruebas modificadas desarrolladas para este trabajo derivaron resultados congruentes con la literatura previa y a la vez aportan observaciones que no serían posibles con técnicas previas, incluyendo el efecto de las estrategias sobre la memoria musical y su interacción con la experiencia.

2. Capacidad de memoria

La memoria es una de las facultades más estudiadas por la psicología y la neurociencia y tiene gran relevancia en la adaptación humana. De acuerdo con su temporalidad y contenido se clasifica de diversas maneras y a cada categoría se le atribuyen distintas características, sustratos neurobiológicos y preguntas de investigación. A continuación se define el tipo de memoria que se aborda en este trabajo y el contexto teórico-metodológico en que se ha desarrollado el concepto de capacidad de memoria, explorado en este trabajo. Esta sección también pretende evidenciar el hecho de que la definición teórica irá de la mano con la implementación experimental y la ulterior interpretación de los resultados.

2.1 Definición y modelos teóricos

La memoria humana se puede definir como la habilidad de acceder a información del pasado para su uso en el presente (Werning and Cheng, 2017). Se puede clasificar de acuerdo con distintos criterios. El criterio temporal la divide en memoria de largo plazo y de corto plazo (Atkinson & Schiffrin, 1968). La primera se refiere a la información o procedimientos que han sido consolidados en la memoria y de los cuales el sujeto puede hacer uso meses o años después de su adquisición. No hay un tiempo o número determinado de elementos que se pueda contener a largo plazo. Por el contrario, la memoria a corto plazo está limitada en tiempo y capacidad. En ese sentido, corresponde a la información que se percibe y utiliza en el lapso de segundos o minutos pero que no es transferida al almacenamiento permanente.

Capacidad de memoria

Desde 1956, Miller propuso que la capacidad de retención de información a corto plazo estaba limitada a un cierto número de elementos a la vez (7 ± 2), dependiendo del sujeto, su entrenamiento y el tipo de estímulo (Miller, 1956). Posteriormente se ha dicho que, en general, es de 3 ó 4 elementos para cualquier sujeto o tarea cuando se controlan estrategias adicionales de procesamiento (Cowan, 2001). Su

medición depende del tipo de tarea empleada y del marco teórico con el cual se aborda y evalúa la memoria de trabajo o memoria de corto plazo.

En 1960 Miller usó por primera vez el término memoria de trabajo para referirse a la memoria que se utiliza para planear y llevar a cabo una acción, sin señalar diferencias con la memoria a corto plazo (Cowan, 2008). Desde entonces se han propuesto numerosos modelos que pretenden explicar sus componentes y establecer límites y diferencias entre la memoria de corto plazo y la memoria de trabajo. En cualquier caso, ambos son reconocidos como sistemas de capacidad limitada en tiempo y número de elementos. Además, de acuerdo al modelo de Atkinson y Schiffrin (1968), son un paso intermedio entre la percepción y la memoria de largo plazo, de forma que todo lo que llega a la memoria de largo plazo tuvo que ser codificado primero por la memoria de corto plazo. A continuación se exponen los dos modelos principales de memoria de trabajo que han sido más influyentes en la literatura.

Modelo multicomponente

Baddeley y Hitch conciben a la memoria de trabajo como un sistema que, en oposición a la memoria de corto plazo, además de almacenar información la procesa o manipula. Para ello propusieron tres componentes: (i) el ejecutivo central, encargado del procesamiento de información y la dirección de la atención que se apoya en dos subcomponentes de almacenamiento: (ii) la agenda visoespacial y (iii) el lazo fonológico (Baddeley & Hitch, 1974; véase Figura 1).

Este modelo pretendía explicar los mecanismos detrás de las deficiencias lingüísticas observadas por Shallice y Warrington (1970) en pacientes con afasia² conductiva, que tienen apropiado manejo del lenguaje, pero son incapaces de repetir o ensayar palabras. El lazo fonológico sería precisamente el subcomponente encargado de almacenar y hacer posible el ensayo del material verbal (Baddeley, 2003b).

² Se conoce como afasia a los trastornos del lenguaje que afectan su comprensión y/o producción. Las causas, así como el tipo y severidad de los síntomas, son variables.

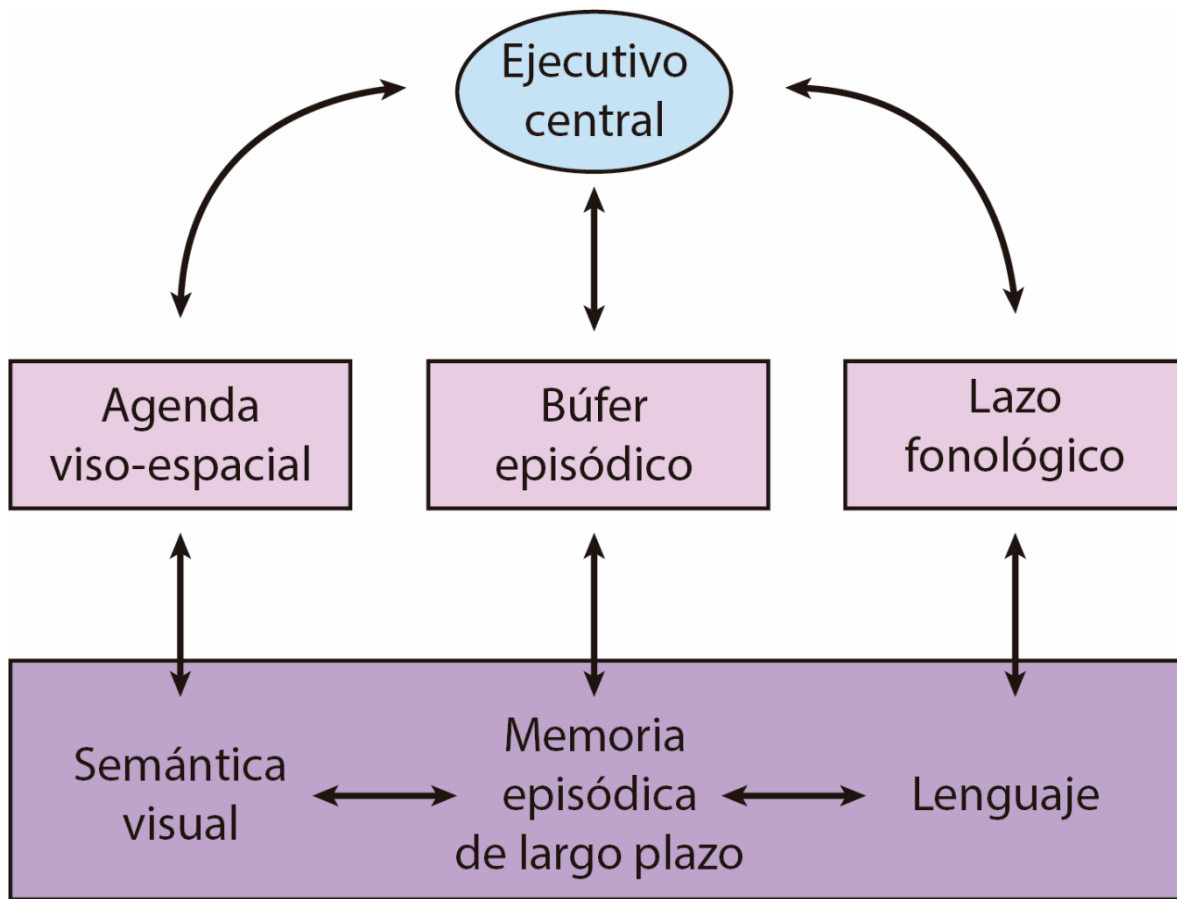


Figura 1. Modelo multicomponente actualizado. Traducido de Baddeley, 2003a.

Hasta el día de hoy, el modelo multicomponente es empleado como sustento teórico en un gran número de trabajos, incluyendo los estudios de memoria musical (ver sección 5.2), aunque también ha sido sujeto de diversas críticas, especialmente sobre la composición del ejecutivo central. En respuesta a varias de ellas, los defensores del modelo agregaron el cuarto componente conocido como búfer episódico (Figura 1). Este funcionaría como almacén del ejecutivo central, donde sería posible descargar temporalmente información de la memoria a largo plazo para su uso por la memoria de trabajo.

Modelo embebido

Por su parte, Cowan define a la capacidad de memoria como aquella que queda cuando no se puede o permite aplicar ninguna estrategia (Cowan, 2010) y a la memoria de trabajo como el conjunto de la memoria a corto plazo y aquellos mecanismos de procesamiento que permiten hacer uso de esa memoria (Cowan, 2008). En su modelo, como se observa en la Figura 2, la memoria de corto plazo deriva de un subconjunto de información de la memoria de largo plazo activado temporalmente y cuya activación decae en función del tiempo a menos que sea renovada (Cowan, 2008). Un subconjunto de la información activa está en el foco de atención que parece estar limitado por la capacidad de agrupación. Este concepto es más claro en su libro *Working Memory Capacity*, donde cita el trabajo de Jevons, quien investigó en 1871 cuántos elementos pueden ser contados en un solo vistazo y que Cowan toma como el número de elementos que pueden estar en el foco de atención a la vez (Cowan, 2005).

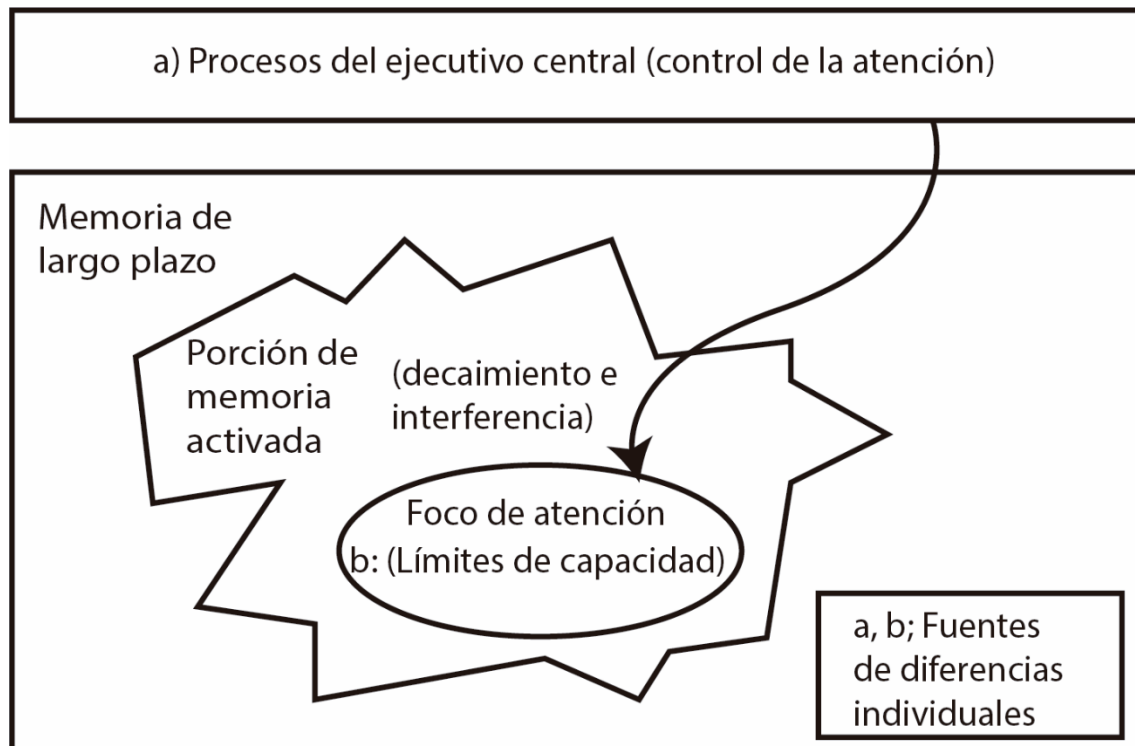


Figura 2. Descripción gráfica del modelo teórico de Cowan. Traducido de Cowan, 2008.

Respecto al modelo de Baddeley y Hitch, Cowan afirma que el búfer episódico podría ser equivalente, o al menos muy cercano, al foco de atención, mientras que el lazo fonológico y la agenda viso-espacial corresponden a sólo dos de los múltiples aspectos de la memoria activada que son susceptibles de interferencia, dependiendo del grado de similitud entre las características de la información activada y la interferente (Cowan, 2008).

Por décadas se ha formado el concepto de capacidad de memoria como una característica de la memoria de corto plazo o memoria de trabajo. Los modelos más influyentes son el modelo multicomponente de Baddeley y Hitch y el modelo embebido de Cowan. Si bien ambos modelos tienen similitudes o supuestas equivalencias, también representan dos lados de una dicotomía relevante en el estudio de la memoria sensorial. El modelo multicomponente de Baddeley y Hitch es un ejemplo de memoria de dominio específico donde hay sistemas dedicados al almacenamiento de información de modalidad específica (viso-espacial y fonológica). Mientras que Cowan es uno de los principales expositores del concepto de 'memoria de dominio general' (Cowan, 2008) que propone que la memoria de cualquier tipo de información depende de la activación de una porción de la memoria de largo plazo, pero que el almacenamiento y procesamiento es igual para todas. La memoria de dominio específico es retomada por la cognición musical e incluso se realizaron críticas al modelo multicomponente partiendo de dicho principio (sección 5.2.2). El desarrollo teórico se dio a la par de las tareas diseñadas para el estudio de la capacidad de memoria y también a través de la relación entre la teoría y la práctica se enfatizó la distinción entre memoria de corto plazo y memoria de trabajo como se muestra en la siguiente sección.

2.2 Definición operacional

La memoria de corto plazo y la memoria de trabajo se definen teóricamente como sistemas de memoria de corto plazo de capacidad limitada. En términos metodológicos se postula que la memoria de trabajo se distingue por procesamiento y control de atención (Daneman y Carpenter, 1980; Engel et al, 1999). Dichas demandas de almacenamiento, procesamiento y control de la atención varían de una tarea a otra como se expone a continuación.

Las pruebas simples de amplitud de memoria³ consisten en la presentación de una serie de estímulos y en la enumeración inmediata por parte del sujeto. La más común es la amplitud de dígitos (0 al 9). En algunos casos se contrasta la amplitud normal con la amplitud reversa, enumerando los elementos en el orden inverso a su presentación. Es común que la amplitud simple sea categorizada como prueba de memoria de corto plazo, y la de amplitud reversa se considere como memoria de trabajo, aunque esta distinción no es consistente en la literatura.

Las pruebas de amplitud complejas consisten en la realización de dos tareas simultáneas que pueden o no corresponder al mismo tipo de información. Una de las más socorridas es la ‘amplitud operacional’, donde cada ensayo requiere juzgar si una afirmación matemática es correcta y después se lee una palabra en voz alta. Tras un cierto número de ensayos de este tipo, el sujeto debe reenumerar las palabras que fueron presentadas. Otra prueba muy similar es la de ‘amplitud de lectura’. En ella, el sujeto debe leer enunciados en voz alta y, después de cierto número de enunciados, se le pide que repita la última palabra de cada enunciado en el orden correcto. Ambas pruebas son consideradas tareas de memoria de trabajo.

Una prueba introducida por Cowan y colaboradores, llamada *running memory span task*, consiste en la presentación de una lista rápida (2 elementos por segundo) de longitud variable (Cowan *et al.*, 2010). Se postula que la rapidez de la

³ Este término se refiere al llamado *memory span* en inglés y corresponde al número de elementos retenidos inmediatamente después de ser presentados una sola vez. APA Dictionary of Psychology. <https://dictionary.apa.org/memory-span>

presentación y la incertidumbre sobre la longitud de la lista imposibilitan el ensayo, agrupamiento y uso de otras estrategias. También se ha reportado que los participantes tienden a tener una estrategia de “escucha pasiva” (Botto *et al.*, 2014) o intentan “concentrarse” de forma exclusiva en los elementos durante la codificación, en comparación con otras tareas estandarizadas de recuperación (Morrison *et al.*, 2016).

La tarea *n-back*, por otro lado, presenta listas de estímulos a gran velocidad y el sujeto debe juzgar si entre los elementos presentados en un plazo reciente (1, 2, 3 ó *n* elementos) ocurrió una repetición. El sujeto debe ser informado en cada prueba del número de elementos entre los que debe revisar y debe actualizar constantemente los elementos activos.

La tarea de Sternberg consiste en la presentación de una lista de elementos, seguida de un elemento prueba (Sternberg, 1966). La tarea del sujeto es indicar si el estímulo prueba estuvo presente en la lista o no, como se esquematiza en la Figura 3. Esta tarea se concibe como una prueba de reconocimiento, memoria de corto plazo o de trabajo (Golob & Star, 2000) dependiendo de los autores y la implementación (Corbin y Marquer 2013) en cada estudio.

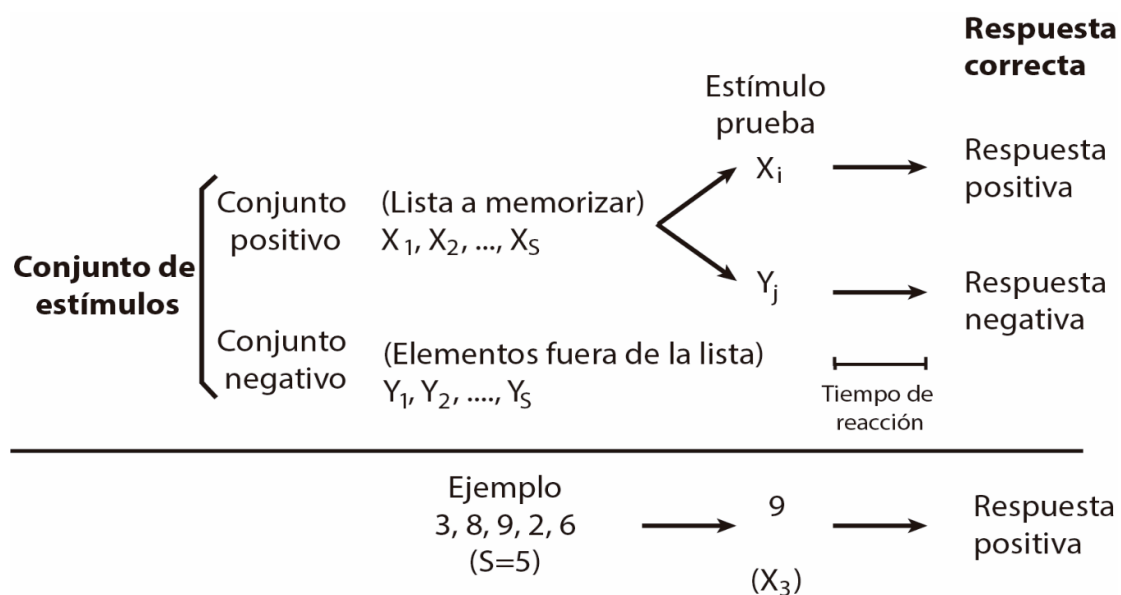


Figura 3. Paradigma de reconocimiento de Sternberg. *S* se refiere al número de elementos en una lista. Traducido de Sternberg, 1969.

2.3 Debates teórico-metodológicos

Durante la elaboración de este trabajo, especialmente en la investigación bibliográfica, saltó a la vista que distintos términos se usan a veces como sinónimos, como entidades auto-excluyentes, o que en lugar de usar uno u otro concepto se limitaba a una definición operacional de la variable a observar, es decir, a la tarea ocupada.

Si bien, la ambigüedad en la literatura incluye varios términos, la relación entre los términos memoria de trabajo y memoria de corto plazo es quizá la de mayores implicaciones y la que ha sido abordada *per se* (e.g. Cowan, 2008). En una ilustrativa revisión, Aben y colaboradores (2012) identifican siete formas en que se describe la relación entre la memoria de trabajo y la memoria de corto plazo (figura 4) y discuten a detalle las implicaciones teóricas y metodológicas de suscribir una u otra perspectiva.

A lo largo de su revisión evidencian que existen inconsistencias no solo entre estudios sino a veces dentro de un mismo trabajo y concluyen que la ambigüedad es resultado del traslape de ambos procesos en términos conductuales y fisiológicos (Aben et al, 2012). Dicho traslape resulta contradictorio a las dicotomías defendidas en el planteamiento metodológico en la mayor parte de la literatura y para nuestra sorpresa no es el primer trabajo en llegar a este tipo de conclusiones. En su trabajo *What are the differences between long-term, short-term, and working memory?* Cowan incluye entre sus conclusiones que el uso de uno u otro término podría considerarse una cuestión de gusto.

El traslape *de facto* que existe en el uso de ambos términos en la literatura llevó a dos resoluciones en este trabajo: 1) incluir en el planteamiento de este trabajo los estudios que se refieren a la memoria de corto plazo, memoria de trabajo o a tareas específicas (*i.e.* Sternberg, amplitud de memoria) en el dominio verbal y musical, y 2) optar por una definición operacional de los resultados de este trabajo, sin adscribirlos a memoria de trabajo o de corto plazo, si no a la cuantificación de elementos retenidos en un sistema de almacenamiento limitado.

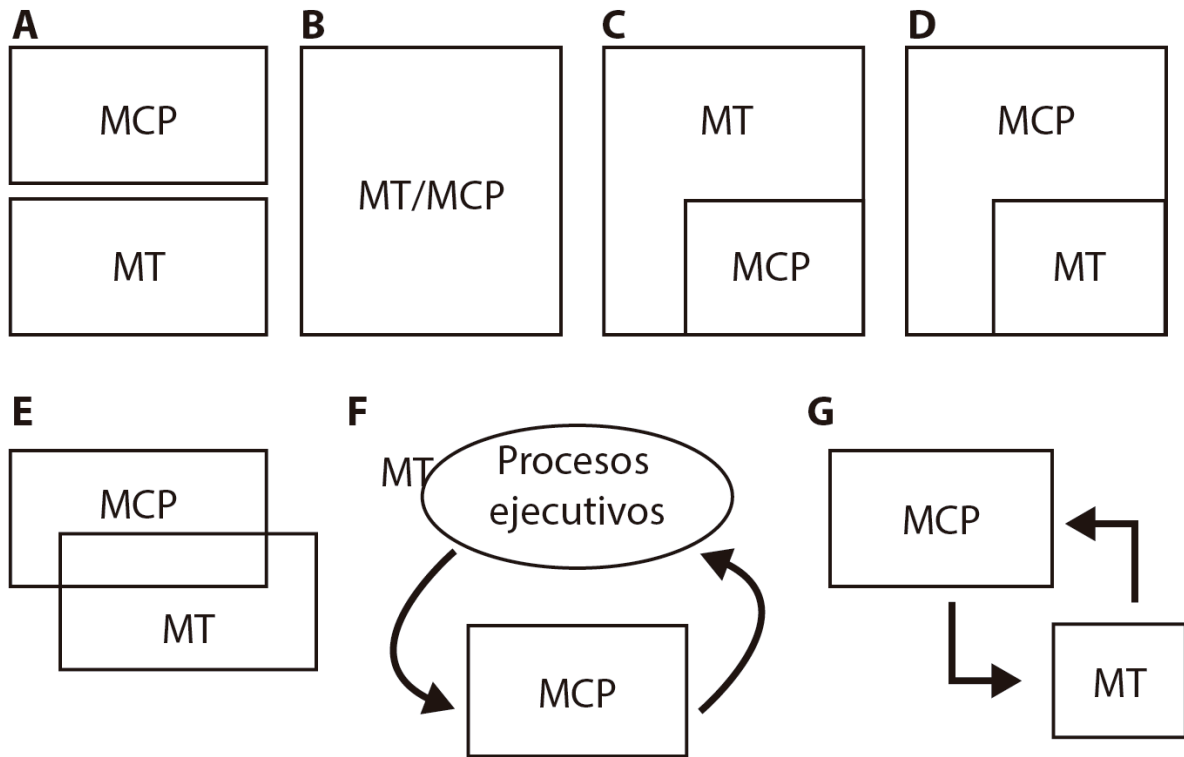


Figura 4. Modelos hipotéticos de la relación entre la memoria de corto plazo (MCP) y la memoria de trabajo (MT). Se les puede considerar entidades independientes (A) o idénticas (B). En los modelos C y D se asume que la MCP es parte de la MT y viceversa, implicando que no hay transferencia de información entre ellos, sino que una parte de la información de un sistema está contenida en el otro. El modelo E tampoco asume transferencia de información. El modelo F propone que la MT se compone de la MCP más procesos adicionales, representando abstractamente los modelos de Baddeley y de Cowan. En el modelo G la información almacenada en la MCP se transfiere a la MT y vuelve a la MCP. Traducido de Aben *et al.*, 2012.

3. Procesamiento estratégico

Hasta ahora hemos abordado la capacidad de memoria desde la perspectiva del investigador: cómo la define teóricamente y que herramientas escoge para medirla. Del otro lado tenemos al sujeto, que hará uso del procesamiento estratégico y su experiencia para resolver la prueba, ambos factores son objeto de estudio de este trabajo. En la presente sección mencionaremos las estrategias más estudiadas, sus condiciones de uso y las medidas de control usadas comúnmente en investigación.

3.1 Tipos de estrategias

El procesamiento estratégico incluye procedimientos que ayudan a reducir la carga cognitiva de una tarea, e incluso pueden implicar distintos tipos de memoria (Aben et al, 2012). A continuación se describen cinco de las estrategias incluidas en el análisis de este trabajo (véase sección 7.3) en orden creciente de complejidad. Nótese que los requisitos para ocupar ciertas estrategias contribuirán a su uso bajo ciertas condiciones como el tiempo de presentación de los estímulos y las características de los mismos (con o sin significado) y que estas condiciones son explotadas más adelante en el diseño de las tareas (sección 3.2).

Imaginación visual o visualización. Es una de las estrategias más recurridas y eficientes. Se ha mostrado que al imaginar una palabra se activa más información asociada al referente de la palabra que la simple retención de la palabra (Bellezza, 1981). La imaginación visual también permite fusionar dos conceptos en una sola imagen, facilitando su recuperación en la memoria (Bower & Reitman, 1972). Este proceso es deficiente en niños y se calcula que toma alrededor de 4 segundos aún en adultos, por lo que la velocidad de presentación de los estímulos es relevante (Bellezza, 1981).

Ensayo encubierto. También llamado repaso o repetición, consiste en la reproducción mental de palabras de una lista sin pronunciarlas en voz alta. El repaso no ocurre de manera espontánea en tareas de aprendizaje verbal en niños pequeños y un estudio en Marruecos mostró que el ensayo espontáneo únicamente era aprovechado por individuos con estudios formales o que hubieran vivido en un contexto urbano (Bellezza, 1981). Con la edad y la práctica, este proceso se vuelve fácil de realizar y no requiere mucha atención (Guttentag, 1984).

Elaboración semántica. Se refiere a concentrarse en el significado de las palabras por encima de su sonido u otras características (Kowialiewski & Majerus, 2018). Esta estrategia se ve afectada cuando las palabras en una lista tienen significados similares o son parte de un mismo conjunto semántico (Campoy y Baddeley, 2008).

Los métodos de historias y enlaces. Son estrategias de cadena en las que un elemento sirve como clave de recuperación para el siguiente. En el caso de los enlaces se forman imágenes mentales que unen a dos elementos entre sí, mientras que en el caso de la historia se forma una narrativa mental donde los elementos interactúan. Las estrategias de enlaces e historias no requieren de un entrenamiento previo y no se dan siempre de la misma manera, por lo que los sujetos harán uso espontáneo de estos recursos con relativamente poco esfuerzo (Bellezza, 1981).

Codificación. Cuando el material a recordar es abstracto o poco imaginable los sujetos pueden recurrir a transformarlo en una forma de contenido más manejable. Por ejemplo, largas secuencias de números pueden ser transformadas en palabras con un sistema de equivalencia entre dígitos y fonemas (Bellezza, 1981). La codificación también puede incluir el uso de imágenes mentales distintas a la modalidad de percepción, como representar una secuencia musical en términos de movimientos de los dedos necesarios para producir esa secuencia en un instrumento musical (Zatorre y Becket, 1989).

3.2 Uso y mecanismos compensatorios

El uso de estrategias es visto por algunos autores como fuente de contaminación en la medición de la capacidad de memoria, por lo cual elaboran mecanismos que las eviten. Para suprimir el ensayo encubierto, se usa la articulación supresora, esto es, pedir al sujeto repetir una palabra (comúnmente el artículo *the* en inglés) en voz alta mientras realiza la tarea de memoria, o una tarea que compita por su atención (Cowan, 2008).

La velocidad con que se presentan los estímulos también pretende evitar el uso de estrategias Campoy y colaboradores (2015) observaron que las palabras concretas se benefician de tiempos de presentación lenta (0.5 palabras/segundo) comparados con la presentación rápida (1 palabra/segundo). De esta manera, la velocidad de presentación puede influir en la posibilidad de generar y relacionar imágenes mentales o historias (véase también Kowialiewski & Majerus, 2018).

En ausencia de mecanismos supresores, las estrategias empleadas por los sujetos de un estudio pueden variar incluso cuando las condiciones de la tarea sean las mismas. Aben y colaboradores (2012) proponen que “no es la tarea *per se* la decisiva para el tipo de memoria utilizada, si no el tipo de procesos aplicados por el sujeto”.

En este sentido, Morrison y colaboradores compararon las estrategias reportadas para resolver 6 de las tareas más comunes en el estudio de la memoria de corto plazo: memoria inmediata serial, memoria retrasada serial, amplitud de memoria compleja, memoria de reconocimiento, recuerdo libre y *running memory span*. No hubo correspondencia entre una tarea y una estrategia predominante a pesar de que algunas de las estrategias evaluadas suelen ser asociadas a tareas específicas (*i.e.* familiaridad en pruebas de reconocimiento). Únicamente aquellos que reportaron simplemente concentrarse estarían realizando la tarea sin mecanismos adicionales y esta no fue la estrategia dominante en ningún caso (Morrison *et al.*, 2016).

El uso de diversas estrategias no es trivial en el resultado de las pruebas de memoria verbal. Campoy y Baddeley (2008) observaron que, en aquellos participantes que hacían uso de una estrategia semántica, tenía menos efecto la similitud fonológica. Por lo tanto, no se puede asumir que la misma tarea será resuelta por diversos sujetos mediante la misma estrategia y estas sólo pueden aproximarse mediante el auto-reporte de los sujetos.

4. Memoria verbal

El estudio psicológico de la memoria está ligado desde sus orígenes a la relación entre el lenguaje y la memoria. Si bien la mayor parte de la literatura en psicología se refiere simplemente a lenguaje, vale la pena hacer una distinción entre a qué se refieren los términos lengua, lenguaje y habla desde la lingüística. Lengua o idioma se refiere al sistema de símbolos convencionales que le permiten la comunicación entre un grupo de individuos (p.ej. inglés, español, francés). El lenguaje se refiere a la capacidad de dichos individuos para participar en dicho ejercicio comunicativo (Da Silva y Signoret, 2005). En este sentido lenguaje abarca diversas prácticas sociales como el lenguaje corporal, la danza, entre otros. Mientras que el habla se refiere al ejercicio individual del lenguaje y a la selección de signos que se escogen de una lengua para un ejercicio comunicativo (Da Silva y Signoret, 2005). Para nuestro estudio se ocuparon palabras en una sola lengua (español), que además fueran frecuentes en el habla con el fin de analizar la relación entre la memoria y el lenguaje. Éstas y otras características del material lingüístico han sido analizadas a través de los años y fueron tomadas en cuenta para la construcción del banco de estímulos verbales en nuestro trabajo.

Características del dominio verbal

Lengua. Como ya mencionamos, uno de los factores más evidentes al presentar una prueba de memoria de material lingüístico es si el material proviene de una lengua que los participantes dominan. Sin embargo, el efecto de la lengua es más amplio que el mero dominio que los participantes tengan. Una de las pruebas de memoria más utilizada e interpretada como prueba de memoria verbal es la prueba de amplitud de dígitos. Se ha demostrado que la amplitud máxima difiere entre lenguas en un rango de 5 a 10 elementos, donde el máximo corresponde al chino (Ardila, 2003). Estas diferencias de amplitud se observan aun al comparar dos lenguas en individuos bilingües (Chincotta *et al.*, 1997; Ardila *et al.*, 2000; Ardila, 2003).

Lexicalidad. En 1885, Hermann Ebbinghaus, considerado el padre de la psicología experimental, comenzó usándose a sí mismo como sujeto para entender

cómo memorizamos y olvidamos. Para ello empleó las llamadas por él *nonsense words* (o palabras sin sentido) para medir su capacidad de memorización y no su capacidad lingüística (Baddeley, 2004). En investigación, las pseudopalabras generalmente están formadas por fonemas o combinaciones de fonemas comunes en la lengua conocida pero no tienen un significado. La memoria para palabras es más alta que para las pseudo-palabras (Benassi-Werke *et al.*, 2012) debido al efecto de lexicalidad. Esto es el conocimiento léxico-semántico que une los fonemas que constituyen una palabra en unidades coherentes, aumentando la estabilidad de las palabras en comparación con las no palabras (Kowialiewski & Majerus, 2018).

Una vez que se elige a palabras en lugar de pseudopalabras como unidades de una prueba hay otras características a considerar; entre estas se encuentran su longitud, similitud fonológica, significado, grado de abstracción o visualización, forma gramatical, frecuencia de uso y contexto.

Longitud de palabra. El efecto de la longitud de palabra es uno de los más controversiales. Entre 1990 y 2000 fue muy popular la idea de que, a mayor longitud de palabra, menor era la memoria. El efecto de longitud de la palabra está directamente relacionado con la capacidad articuladora o de ensayo fonológico (Baddeley, 2003). La longitud de palabra, la velocidad y facilidad de articulación se han utilizado para explicar, por ejemplo, las diferencias en la prueba de amplitud de dígitos entre lenguas en individuos bilingües (Ellis, 1992; Chincotta *et al.*, 1997; Ardila *et al.*, 2000).

Similitud fonológica. El efecto de similitud fonológica se refiere al decremento en la memoria de una lista de sonidos cuando estos son muy similares (p.ej., B, V, G vs. F, K, R) y es difícil diferenciarlos. Se asume que, sin importar la forma de presentación (visual o auditiva), el material es ensayado por el lazo fonológico (Williamson *et al.*, 2020). Experimentos donde se suprime la articulación (Baddeley, 2003b), o se instruye a los sujetos para que empleen estrategias orientadas al significado (Campoy & Baddeley, 2005), han resaltado que el efecto de la similitud fonológica desaparece.

Semántica. El significado y la categoría semántica a la que pertenece una palabra a menudo se pueden considerar como provenientes de la memoria de largo plazo. Sin embargo, Potter (1976) mostró que el conocimiento conceptual puede estar disponible a los 13 ms de la presentación de un estímulo visual en una tarea de reconocimiento (Kowialiewski & Majerus 2018) y se ha visto que la memoria inmediata es sensible a la similitud semántica (Ardila, 2003).

Se asume que, cuando se presentan los miembros de una lista, se descubre su naturaleza categórica (Cohen, 1966) o que, cuando la estructura de la lista no es obvia, el sujeto impone su propia organización sobre ella (Tulving, 1962). Light y Carter-Sobell (1970) demostraron que el contexto semántico en que se codifique una palabra en una lista será relevante para su recuperación y que forzar a los sujetos a usar una referencia semántica distinta a aquella de la codificación o de su asociación inmediata tiene efectos perjudiciales sobre la memoria. Adicionalmente, Campoy y Baddeley (2008) observaron que la similitud fonológica tenía menos efecto en los participantes que se valían de una estrategia semántica.

Abstracción y visualización. Gorman (1961) puso a prueba el papel del grado de abstracción en la memoria usando sustantivos de 2 grados diferentes de concreción y abstracción. La memoria fue inversamente proporcional al grado de abstracción de las palabras. El grado de abstracción y su relación con el potencial de una palabra para codificarse como una imagen mental son dos de las propiedades más comunes para explicar las diferencias entre la memorización de palabras, entre ellas, la diferencia entre verbos y sustantivos (Earles & Kersten, 2000). Campoy y colaboradores (2015) manipularon el grado de concreción y la velocidad de presentación de las palabras: lenta (0.5 palabras/segundo) y rápida (1 palabra/segundo). Observaron que las palabras concretas se beneficiaron de los tiempos de presentación lenta, y propusieron que, a mayor tiempo, mayor posibilidad de generar y relacionar imágenes mentales (véase también Kowialiewski & Majerus, 2018).

Frecuencia de uso. La frecuencia de uso se obtiene a través de conteos de palabras en grandes *corpora* de textos de distintos géneros literarios que

representan a una comunidad en un periodo de tiempo (*p.ej.*, el Corpus del Español Mexicano Contemporáneo). Estos reflejan el habla de una comunidad en contraposición a la lengua o lenguaje ya que se analizan textos que emplean la lengua y no, por ejemplo, un diccionario. En tareas de decisión lexical se ha observado una correlación significativa entre el tiempo de reacción y el efecto de frecuencia (Ardila, 2003). Se entiende también que aquellas palabras de significado desconocido o de una lengua no nativa serán más difíciles de memorizar y que, a mayor frecuencia de uso, es mayor la probabilidad de que la palabra sea de significado conocido (Ardila, 2003).

Con base en la revisión de estas características se decidió ocupar palabras en español, que tuvieran la misma longitud (número de sílabas) que fueran sustantivos (más concretos e imaginables que verbos y otras palabras) frecuentes en el habla y que todas las palabras en una lista pertenecieran al mismo campo semántico. El mismo procedimiento se ocupó para construir el banco de estímulos musicales como se describe a continuación.

5. Memoria musical

Una de las razones de interés para estudiar la memoria de corto plazo y no la memoria de largo plazo en este trabajo fue la función intermedia que juega entre la percepción y la memoria de largo plazo. Por ello es fundamental tomar en cuenta cómo se perciben los estímulos musicales antes de poner a prueba su retención. Los siguientes párrafos pretenden responder a qué nos referimos cuando hablamos de música en el contexto tonal occidental y a los conceptos de teoría musical elementales para llevar a cabo una investigación sistemática en este ámbito.

Los sonidos que percibe el oído humano van de los 20 a los 20,000 Hz (Tan *et al.*, 2010). Sin embargo, únicamente los sonidos entre los 30 y 5,000 Hz producen la percepción de un tono que puede ser llamado musical (Roederer, 2008). Este rango coincide con el de los pianos, donde la frecuencia más baja es 27.5 Hz y la más alta 4186 Hz (Oxenham, 2013). Este rango se encuentra a su vez dividido en octavas, es decir, la distancia entre dos tonos de distintas frecuencias son perceptualmente que son reconocidos como el mismo *chroma*⁴ o la misma nota (Tan *et al.*, 2010). La octava es dividida en otros intervalos de diferentes formas dependiendo del sistema de afinación. El más usado en occidente es el sistema de ‘temperamento igual’ que divide la octava en 12 semitonos con relación de frecuencia igual entre tonos (Roederer, 2008).

Los 12 semitonos constituyen las unidades mínimas con que se puede construir una pieza musical bajo este sistema de afinación. Comúnmente al construir una pieza se tomará solo un conjunto de esas notas llamado escala. En el sistema tonal occidental, se ocupa la escala diatónica que organiza las notas en grados continuos ascendentes o descendentes del I al VII. Entre estos grados se establece una relación jerárquica respecto al grado I conocido como ‘tónica’ (Peretz y Coltheart, 2003). Esto se conoce como tonalidad. La escala y tonalidad proveen un marco psicológico dentro del cual la música puede ser percibida, organizada, comunicada y recordada porque enfatizan un conjunto discreto de tonos,

⁴ Por ejemplo, las frecuencias de 220 Hz y 440 Hz son percibidas como la nota La.

reduciendo las frecuencias audibles de un continuo a una cantidad manejable de elementos perceptuales (Thompson, 2013).

El conjunto de la escala musical, los acordes, el uso convencional de secuencias de acordes en cadencias, y la tendencia de ciertos tonos y acordes de parecer más resolutivos que otros, son componentes de lo que se conoce como ‘música tonal’ (Krumhansl & Toiviainen, 2003). Varios estudios han argumentado que los estímulos tonales son más fáciles de recordar que los atonales (*p. ej.*, Miller & Cuddy, 1972; Schulze *et al.*, 2010; Ding *et al.*, 2018) y que dicho incremento en la capacidad de memoria es mayor en músicos que en no músicos.

5.1 Percepción y memoria musical

Una de las características más prominentes de la música es el contorno melódico, que alude a la forma que trazan las relaciones consecutivas de sonidos de mayor o menor altura tonal. Diversos estudios han señalado que el contorno melódico es altamente notorio y memorable para niños y público no entrenado (Dowling, 1973; 1994; Trainor *et al.*, 1999). Uno de dichos estudios mostró que el contorno melódico y la discriminación de altura tonal contribuyen al reconocimiento tanto de piezas familiares como no familiares (Massaro *et al.*, 1980). De hecho, en los primeros años de infancia, los niños pueden distinguir entre dos melodías que difieran en una sola nota si esta altera el contorno (Trehub *et al.*, 1985). La diferencia entre ambas notas puede ser tan pequeña como un semitono y la escala favorece el reconocimiento en niños de 4 a 6 años en contraste con los infantes. Por lo tanto, se sugiere que la estructura diatónica se adquiere entre los 4 y 6 años. Dicha adquisición depende del contexto cultural de desarrollo y no de un sesgo psicológico presente desde el nacimiento (Trehub *et al.*, 1986).

Además de los componentes melódicos y armónicos, la memoria musical depende de la percepción de sus componentes rítmicos y temporales. La distinción entre ambas contribuciones está relacionada con distintos procesos neurofisiológicos subyacentes (Jerde *et al.*, 2011). El patrón rítmico permite guiar la agrupación de notas de acuerdo con su duración y mejora su reconocimiento

(Dowling, 1973). Infantes de entre 7 y 9 meses de edad son capaces de diferenciar secuencias musicales de 3 ó 4 notas con base en su ritmo y *tempo*⁵ (Trehub & Thorpe, 1989). Otro componente temporal altamente representado en la memoria es la métrica (Schaefer *et al.*, 2009), que resalta periodos recurrentes que marcan la estructura musical mediante la alternancia de pulsos fuertes y débiles (Tan *et al.*, 2010).

El uso de patrones rítmicos no familiares incrementa la dificultad para su identificación, incluso en músicos profesionales (Báez-Ávila, 2015), y se ve influido por factores culturales como el lenguaje (Patel *et al.*, 2006; Han *et al.*, 2011; ver también Purves, 2017, capítulo 8). Numerosos estudios han encontrado diferencias en el procesamiento rítmico musical entre músicos y no músicos, y además se han encontrado ventajas de un instrumento a otro respecto a tareas específicas, como procesamiento rítmico en percusionistas, procesamiento espacial y memoria en directores y altura tonal en instrumentistas de cuerdas (Krumhansl, 2003).

En conclusión, perceptos⁶ como el contorno, el patrón rítmico y la métrica son más salientes y aportan más a la memoria de corto plazo que las secuencias interválicas. La exposición a un sistema musical es relevante para internalizar las reglas implícitas del sistema y facilita su memoria, tal como se observa en la comparación de estímulos tonales y atonales. Los beneficios son aún mayores en músicos profesionales y se pueden encontrar diferencias entre el papel de variables específicas de acuerdo al instrumento de formación.

5.2 Procesamiento especializado

5.2.1 La memoria experta como campo de estudio

Existe correlación entre la cantidad de experiencia en un dominio o actividad determinada y el desempeño en tareas de memoria con estímulos de ese dominio (para una revisión, véase Ericsson, 2018). Entre las décadas de 1960 y 1970, el campo de investigación del desempeño experto se amplió al estudio de atletas,

⁵ El *tempo* se refiere a la velocidad a la que se toca una pieza (Tan *et al.*, 2010) y se puede expresar cuantitativamente en pulsos por minuto (ppm).

⁶ Un percepto se define como: “Objeto tal cual lo percibe el sujeto”. <https://dle.rae.es/percepto>

calculadores mentales, intérpretes simultáneos, bailarines y músicos, entre otros. En todos los casos se confirmó que la memoria experta presenta ventajas para el manejo de información propia del dominio de los expertos, pero esta ventaja no se extiende a otros dominios ni implica una mayor capacidad de memoria en general (Ericsson, 2018). Algunos de los sustentos teóricos que podrían explicar la ventaja de los expertos al procesar material familiar se exponen a continuación:

*Chunking*⁷. Miller (1956) propuso que es posible almacenar más bits en el mismo número de elementos a través de una estrategia de agrupación, conocida como *chunking* en inglés, donde el sujeto almacena unidades complejas y significativas (p.ej. palabras) que contienen, a su vez, un gran número de unidades elementales (letras). Según Shiffrin y Nosovsky (1994), sujetos entrenados eran capaces de recordar ocho oraciones, en lugar de ocho palabras u ocho letras, por lo que el agrupamiento se puede dar a varios niveles en los que, a través de estructuras jerárquicas, se almacenará una gran cantidad de información mientras ésta sea interpretable.

Teoría de la memoria hábil. En 1982, Chase y Ericsson propusieron que los expertos usan estructuras de conocimiento en la memoria semántica para almacenar información durante la ejecución de una tarea de su dominio. La información es organizada en una estructura de evocación (plantillas, de acuerdo con Gobet y Simon, 1996), con claves estratégicas que facilitan la codificación y evocación de memoria de largo plazo. De esta manera, el tiempo de codificación y evocación se optimiza con la práctica experta (Ericsson, 2003).

Como continuación del trabajo de Ericsson, Hambrick ha propuesto la teoría de la *elusión de límites* en los expertos, para resaltar el papel de la experiencia materializada como práctica deliberada. En esta teoría, la práctica deliberada explica que los expertos tengan mayor capacidad de memoria exclusivamente para material de su dominio de experiencia (Hambrick & Meinz, 2011). Otro de sus puntos centrales es que, al comienzo del entrenamiento, las habilidades cognitivas

⁷ Se conserva a lo largo de la tesis el término *chunking* para evitar confusión con el término *grouping*, ya que ambos se traducen al español como agrupamiento, pero sus mecanismos e implicaciones son diferentes.

generales tienen un papel importante que es reemplazado por la información y habilidad específica del dominio conforme aumenta la experiencia (Hambrick *et al.*, 2017).

5.2.2 Memoria experta y cognición musical

A partir de las teorías generales de memoria experta, se han planteado adaptaciones específicas al campo de cognición musical. Por ejemplo, la teoría de los esquemas⁸, introducida por Jean Piaget, fue retomada por Dowling (1978) quien propone la existencia de esquemas tonales que almacenan información del contexto tonal y que son evocados durante la escucha musical, aportando a la interpretación de sonidos entrantes (Krumhansl & Toiviainen, 2003). Estos esquemas o plantillas permiten optimizar la codificación y evocación de memorias al almacenarlas en estructuras específicas previamente establecidas (Benassi-Werke *et al.*, 2012; Peretz & Coltheart, 2003).

Lazo tonal. Una serie de experimentos en la década de 1970 por Diana Deutsch mostró que presentar material musical durante la consolidación de material verbal y viceversa no afectaba su memorización, sugiriendo que ambos estímulos eran procesados y/o almacenados en subsistemas diferentes (véase, por ejemplo, Deutsch, 1970; 1972). Con dichos experimentos en cuenta, Berz (1995) propuso que el modelo multi-componente debería incluir sistemas de almacenamiento de otros sentidos y almacenamiento auditivo no verbal, al menos un sistema musical al que llamó 'lazo tonal' (Berz, 1995).

⁸ Se refiere a estructuras cognoscitivas que almacenan contenido de un tema específico. Cuando la información de entrada es similar a su contenido, los esquemas se activan y aportan un contexto mental propio a la información de entrada (Bellezza, 1987).

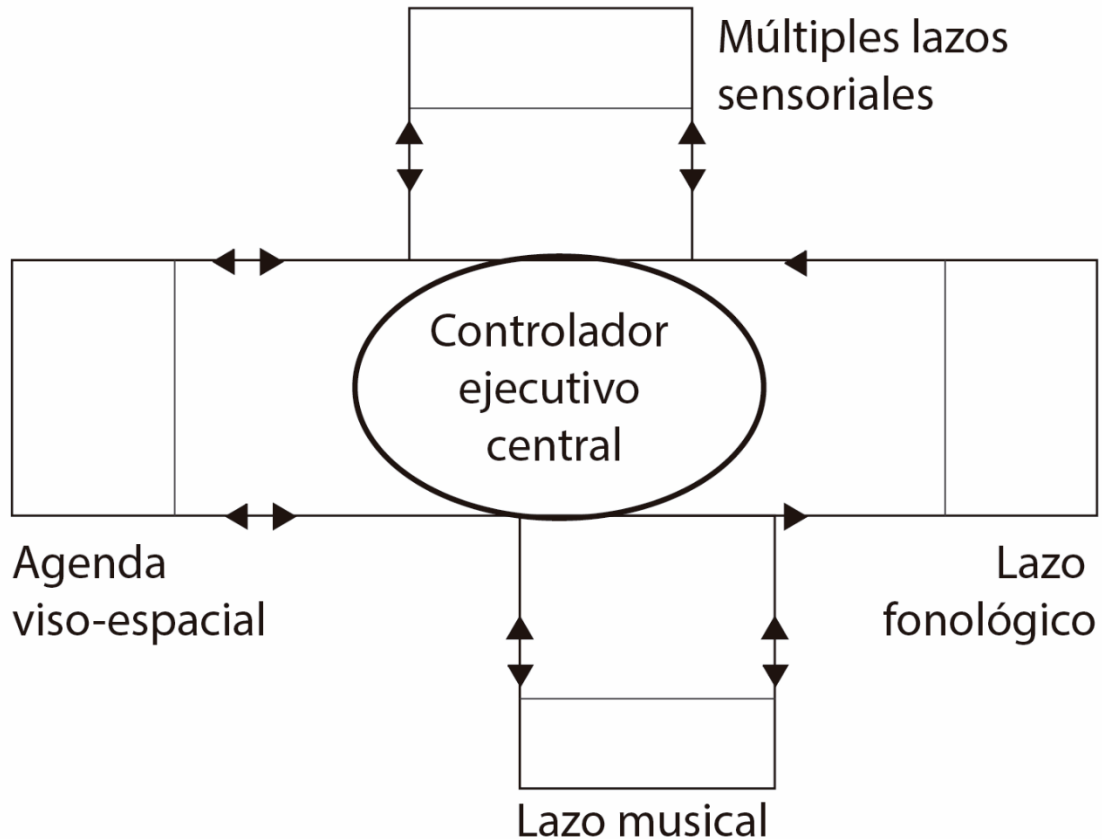


Figura 5. Propuesta crítica al modelo multi-componente. Traducido de Berz, 1995.

La propuesta de añadir lazos adicionales al fonológico no fue acogida por los autores del modelo multi-componente. Sin embargo, el concepto del lazo tonal como un subsistema encargado de mantener el registro sensorial de la información musical independiente del lazo fonológico, perduró en el campo de cognición musical. Estudios con resonancia magnética funcional (fMRI) han mostrado el uso de recursos compartidos en la memoria de trabajo para sílabas y tonos, así como áreas exclusivas de la memoria musical en músicos profesionales (Schulze *et al*, 2011a).

5.3 Estudios comparativos y tareas de memoria musical

El estudio de la memoria musical ha ocupado dos variables de contraste con regularidad: el contraste dado por la experiencia musical de los sujetos (músicos *vs.* no músicos; estudiantes *vs.* expertos; aficionados *vs.* profesionales) y el

contraste entre material musical y verbal. Las tareas más comunes en este campo son (1) pruebas de reconocimiento y (2) pruebas de amplitud de memoria simples o complejas. Las tareas de reconocimiento, a su vez, pueden seguir dos procedimientos: pedir al sujeto comparar dos secuencias de la misma longitud que pueden ser idénticas o diferentes en su composición; o presentar una secuencia, seguida de un elemento que estuvo o no contenido en la secuencia (paradigma de Sternberg). Ambas modalidades han sido utilizadas en el estudio de la memoria de trabajo musical y los estudios que las emplean se exponen a continuación.

Tareas de reconocimiento igual/diferente. En 1978 Dowling puso a prueba la diferencia entre la memoria a corto plazo y largo plazo con un paradigma de reconocimiento. Los participantes debían comparar dos secuencias de 5 notas. La secuencia a comparar podía ser (1) idéntica, (2) una versión transpuesta que conservaba el contorno, (3) una secuencia atonal con el mismo contorno, o (4) una secuencia aleatoria. El autor concluyó que en el corto plazo únicamente se almacena el contorno melódico y la escala, y que a largo plazo se incluyen, además, las secuencias interválicas de la pieza. Es decir, las distancias precisas entre los grados y no sólo la desviación ascendente o descendente del contorno.

Los autores del modelo multicomponente, junto con Victoria Williamson, pusieron a prueba el efecto de la similitud fonológica (letras con sonidos similares como b y d) y la similitud tonal (notas separadas por un semitono) en una tarea de reconocimiento con letras y tonos en individuos sin formación musical. En cada ensayo sólo se presentaba un tono o letra a ser comparado con un segundo tono o letra que podía ser igual o diferente. En las condiciones de similitud fonológica y tonal el índice de sensibilidad d' fue menor que en aquellas en las que los estímulos eran disímiles⁹.

Schulze y colaboradores (2011b) evaluaron el reconocimiento de secuencias tonales y atonales de 3 hasta 7 tonos en músicos y no músicos. La tarea consistía en determinar si dos secuencias eran iguales o si el orden de las notas había cambiado.

⁹ El índice d' es una medida no sesgada de la sensibilidad o discriminación de un individuo, derivada de la teoría de detección de señales. Puntajes cercanos a cero indican un desempeño igual al azar. APA Dictionary of Psychology. <https://dictionary.apa.org/d-prime>.

El índice d' fue mayor en todos los casos para los músicos respecto a los no músicos. Para ambas poblaciones el desempeño fue mejor en el caso de las secuencias tonales respecto a las atonales y el desempeño se vio afectado por la longitud de las secuencias.

Tareas de reconocimiento tipo Sternberg. Dowling (1973) delineó un paradigma muy similar al de Sternberg (Figura 6), presentando listas compuestas de 4 frases musicales, seguidas de una frase que los sujetos debían juzgar como presente o ausente en la lista (Figura 6). Las frases constaban de 5 notas en todos los casos, con un patrón rítmico de 4 notas cortas seguidas de una larga (..._). Las frases prueba podían presentar el patrón rítmico correspondiente al interior de las frases (..._) o a la frontera entre frases (._..).

Aquellas frases que coincidían con el patrón rítmico interno fueron reconocidas con más precisión que aquellos con el patrón “fronterizo”. La conclusión de este trabajo fue que el patrón rítmico guía el *chunking* y, por lo tanto, la memoria a corto plazo de las listas musicales (Dowling, 1973).

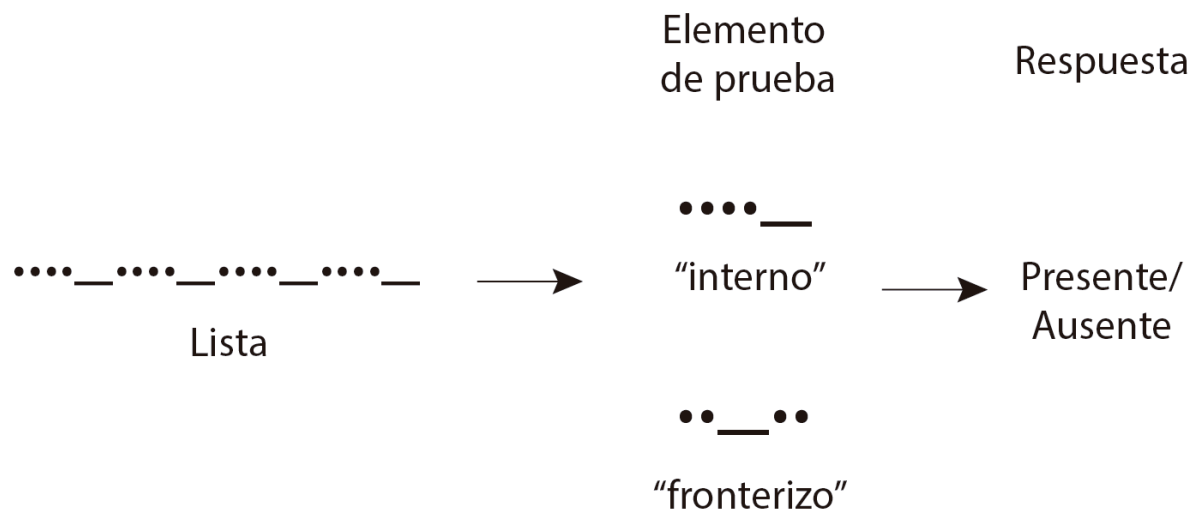


Figura 6. Esquemmatización del paradigma empleado por Dowling (1973)

Posteriormente, Schulze y colaboradores (2010) usaron un procedimiento similar para poner a prueba el papel de las estructuras tonales en la memoria musical. Presentaron secuencias tonales o atonales de 5 notas, seguidas de una sola nota que se había presentado o no en la secuencia. Tanto músicos profesionales como participantes sin formación musical tuvieron mayor porcentaje de aciertos en la condición tonal (72.50% en músicos, 57.87% en no músicos) que en la condición atonal (66.56% y 54.70%, respectivamente).

Para incorporar la variable verbal, el mismo grupo realizó un estudio presentando simultáneamente secuencias de cinco notas y sílabas de forma auditiva, seguidas de una sílaba/nota que pudo estar presente o no en la secuencia anterior. Al comienzo de cada ensayo, una clave visual indicaba si la pregunta sería sobre la sílaba o la nota musical. Las secuencias musicales eran formadas al azar por 13 notas de la escala cromática¹⁰. En este caso el porcentaje de respuestas correctas para el material verbal fue alto tanto en músicos (88.13%, σ 1.98%) como en no músicos (84.49%, σ 2.09%), mientras que el porcentaje de respuestas correctas para las secuencias musicales apenas rebasó el esperado por azar en los no músicos (56.28, σ 1.76%) y fue de 69.53% (σ 2.64%) para los músicos (Schulze *et al.*, 2011a). En dicho estudio se instruyó a los participantes que repasaran mentalmente la secuencia auditiva antes de declarar su respuesta.

Los estudios de Schulze y colaboradores son un ejemplo de que los estímulos verbales son más memorizables que los musicales, incluso para músicos profesionales, y que, a su vez, los estímulos tonales son más memorizables que los estímulos atonales. Probablemente por el distinto grado de familiaridad de los sujetos con los estímulos y porque los mecanismos de aprendizaje (sean esquemas, plantillas, u otros) están optimizados para ciertos estímulos por sobre otros. El paradigma utilizado implicaba alto procesamiento ya que preguntaba por notas aisladas, de forma que los sujetos tendrían que abstraer la altura tonal de las secuencias.

¹⁰ La escala cromática incluye todas las notas en el rango de una escala. A diferencia de la escala diatónica, no tiene jerarquía o centro tonal y es empleada para formar estímulos atonales (Tan *et al.*, 2010).

Como se describió en la sección previa, la altura tonal *per se* es un percepto menos prominente que el contorno melódico y las relaciones entre las notas (Dowling, 1978; Trehub, 1985; 1986), por lo que el paradigma utilizado era de alta dificultad. Por otro lado, el paradigma preparado por Dowling en 1973 aporta una aproximación con mayor riqueza de información en los estímulos prueba (ritmo, contorno e intervalos), pero no ha sido retomado desde entonces en el estudio de la cognición musical.

Tareas de amplitud simple y reversa. Las tareas de amplitud piden a los sujetos reproducir ordenadamente una secuencia de elementos. A diferencia de la reproducción de palabras que no presenta mayor reto para la mayoría de los participantes, la reproducción del material musical es compleja y existen tres opciones: que los sujetos reenumeren las notas por su nombre, que las escriban en algún sistema de notación o que las reproduzcan mediante el canto o algún instrumento musical. Todas las anteriores, con excepción quizá del canto, requieren conocimientos y entrenamiento musical y conllevan dificultad incluso para individuos entrenados.

En un estudio con músicos con oído absoluto¹¹, Zatorre y Beckett (1989) presentaron secuencias de tres notas o de tres letras y pidieron a los participantes reenumerar el nombre de las tres notas o letras después de hacer una tarea de interferencia verbal o tonal. La tarea con letras se vio altamente afectada por la interferencia verbal, pero la tarea tonal no fue disminuida por la interferencia. Los participantes reportaron que, además del sonido y el nombre de las notas, se apoyaban de imágenes mentales visuales y motrices para recordar las notas.

En un intento por incluir a no músicos en este tipo de estudio se propuso un protocolo donde el participante indicaba el orden de aparición de 4 notas específicas en secuencias de 3 a 7 notas. Los participantes habían sido entrenados para identificar los tonos, de acuerdo a su altura tonal, como agudos, graves o intermedios. El objetivo fue comparar el efecto de la similitud fonológica (*i.e.*, las

¹¹ El oído absoluto se caracteriza como la habilidad para reconocer o producir una altura tonal específica sin una referencia tonal (Tan et al., 2010).

letras ‘m’, ‘n’ y ‘l’ son más similares entre sí que las letras ‘j’, ‘k’ y ‘x’) con la similitud tonal (*i.e.*, notas cercanas o lejanas en una escala). Encontraron que, en ambos grupos, la similitud fonológica disminuye la capacidad de memoria pero la similitud tonal sólo disminuyó la memoria musical en aquellos participantes sin formación musical (Williamson *et al.*, 2010).

Un estudio con cantantes profesionales y aficionados (véase Benassi-Werke *et al.*, 2012) hizo uso de la prueba de amplitud de dígitos junto con dos versiones modificadas: una con pseudo-palabras y otra con melodías atonales de 2 a 8 notas. La tarea de los participantes fue reproducir las secuencias en su orden original o inverso. En todos los casos la memoria para palabras fue mayor. Cuando la memoria musical se cuantificó como notas precisas fue menor que la memoria para pseudo-palabras, pero cuando se tomó en cuenta que el contorno melódico fuera correcto, es decir, que la dirección ascendente o descendente entre una nota y otra fuera correcta (aunque el tamaño del intervalo no fuera el correcto), resultó que la memoria para pseudo-palabras no era mayor que para el contorno melódico. Cuando se incluyó a cantantes profesionales con oído absoluto, éstos superaron a aquellos que no lo tenían en amplitud de memoria. Los cantantes aficionados tuvieron menor amplitud de memoria que los cantantes profesionales con oído absoluto para las secuencias tonales, pero la memoria para dígitos y pseudo-palabras no fue diferente entre los grupos.

Tareas de amplitud compleja. Un estudio por Wöllner y Halpern (2016) adaptó la prueba de amplitud de lectura a una prueba musical donde se mostraban secuencias musicales que los sujetos debían clasificar con bases de teoría musical y recordar la última nota de cada secuencia y, transcurrido cierto número de secuencias, debían enumerar las últimas notas. El estudio comparó el desempeño de estudiantes y expertos en piano y dirección de ensambles musicales, pero en todos los grupos la capacidad estuvo entre 3 y 4 elementos.

A manera de cierre de esta revisión teórica, podríamos decir que la memoria de corto plazo o memoria de trabajo tienen un papel intermedio entre la percepción y la memoria de largo plazo. Está limitada temporal y espacialmente, pero la cantidad precisa de información que se puede retener cambia de acuerdo con el material presentado, la relación del sujeto con el material y los mecanismos de control que se ejerzan sobre las estrategias de memorización.

El conocimiento y las habilidades propias de un dominio o actividad aportan a la población altamente entrenada en dicho dominio ventajas sobre la memorización y manipulación mental de estímulos procedentes de dicho dominio (Ericsson, 2018). Los estudios en diversos campos de experiencia han demostrado que la ventaja que los expertos tienen sobre los novatos es exclusiva al campo de dominio, no representa una mayor capacidad de memoria y emplea sistemas o procesos especializados para dicho tipo de información (Hambrick *et al.*, 2019).

Las tareas que se utilizan en el estudio de la memoria musical presentan la desventaja general de que se requiere de conocimiento teórico musical (Wöllner y Halpern, 2016) o la habilidad para reconocer (Schulze *et al.*, 2010;2011;2011) y reproducir (Benassi-Werke *et al.*, 2012) correctamente una altura tonal (Zatorre & Becket, 1989).

6. Planteamiento del problema

Al día de hoy, son escasos los estudios que incluyan individuos sin formación musical en el estudio de la memoria musical, y aún más escasos aquellos que ocupen protocolos compatibles con la falta de entrenamiento. Este sesgo poblacional junto con el uso de elementos no significativos, como notas individuales obstaculiza la distinción del papel de la experiencia para memorizar el material musical y la capacidad para responder pruebas de alta complejidad perceptual.

Este trabajo pretende evaluar y comparar retención de palabras y UMS en instrumentistas profesionales y participantes voluntarios sin formación musical, resolviendo los sesgos anteriormente mencionados. Como consecuencia, el trabajo aporta una tarea que permite comparar el procesamiento de unidades musicales significativas (UMS) con estímulos verbales.

6.1 Justificación

Los procesos cognitivos que subyacen a la escucha musical son de gran interés para el campo de la neurociencia cognitiva, por ser procesos cognitivos complejos. Hasta ahora en la literatura no se ha definido la capacidad de memoria para UMS en ninguna población. Este trabajo presenta una medida de referencia al comparar la memoria musical con la verbal. Los resultados de este trabajo son relevantes para dos debates teórico-prácticos que continúan vigentes.

El primero, que se refiere a la capacidad de la memoria de trabajo, señala, por un lado, que la capacidad de memoria de trabajo está limitada a 4-8 elementos, pero también que dicho número puede ser incrementado a través de la práctica experta en dicho dominio (Meinz & Hambrick, 2010). Mientras que la evidencia acumulada apunta a que, si bien hay un desempeño superior al de aquellas personas no expertas, no hay un desempeño extraordinario superior a los límites conocidos para diversas tareas (Benassi-Werke *et al.*, 2012; Wöllner & Halpern, 2015).

El segundo debate se refiere a la capacidad de los sujetos para emplear unidades de procesamiento complejas, en este caso palabras y UMS en lugar de notas, sílabas o letras. El uso de unidades de trabajo complejas en este estudio permite una aproximación más cercana al quehacer cotidiano que implica estrategias propias de la memoria a largo plazo, poniendo a prueba la comunicación entre ambos sistemas. El diseño de los estímulos auditivos, la compatibilidad con participantes de diversa formación y el contraste entre materiales auditivos del presente estudio proveen las bases para evaluar el papel que juegan la experiencia y el procesamiento estratégico en la retención de secuencias musicales.

6.2 Preguntas de investigación

¿Cuál es la capacidad de memoria de instrumentistas profesionales y no músicos en una tarea con UMS y cómo se diferencia de una con estímulos verbales?

¿Cuáles son las estrategias que proveen mejor rendimiento en las pruebas musicales y verbales?

6.3 Hipótesis

1. El desempeño de los instrumentistas profesionales en la prueba musical será más alto que el de los sujetos sin formación musical.
2. El desempeño entre instrumentistas y no músicos no será diferente en la prueba verbal.
3. Si los participantes son capaces de agrupar las notas en unidades significativas, su capacidad será similar a la reportada previamente para palabras y notas aisladas (de 4 a 8 elementos).

6.4 Objetivos

Objetivo general

Determinar el papel de la experiencia en la memoria musical de corto plazo.

Objetivos particulares

1. Desarrollar e implementar una versión modificada de la prueba de Sternberg que permita evaluar la memoria musical de corto plazo en instrumentistas e individuos sin formación musical.
2. Determinar la capacidad de memoria para una tarea con UMS en instrumentistas y no músicos y compararla con estímulos verbales.
3. Comparar la capacidad de memoria musical y verbal entre instrumentistas y no músicos.
4. Determinar los perfiles de desempeño para cada participante y los factores relacionados con dicho desempeño.
5. Describir y comparar las estrategias reportadas por los participantes e investigar su relación con el desempeño observado.

7. Método

7.1 Diseño metodológico

Tipo de estudio: Se realizó un estudio comparativo prolectivo (transversal, cuantitativo y descriptivo) en instrumentistas actualmente activos con instrucción formal y al menos 10 años de experiencia musical e individuos sin formación musical. Se analizó su desempeño en dos tareas de Sternberg modificadas, con unidades musicales significativas (UMS) y palabras. Todos los participantes fueron informados de los procedimientos a realizar y los objetivos del estudio, y autorizaron el uso de su información con fines académicos y científicos.

La recopilación de datos se vio interrumpida por el cierre de actividades públicas como medida contra la pandemia de SARS-CoV-2¹². Para continuar con el estudio de forma segura para los participantes, se adaptó el procedimiento para que la participación remota fuera posible. En adelante nos referiremos al estudio previo a la pandemia como *estudio presencial* y al realizado con ayuda de videoconferencia como *estudio remoto*. En ambos casos, el reclutamiento se realizó vía digital. En el estudio presencial los sujetos acudieron a instalaciones universitarias (en la Facultad de Música y la Unidad de Posgrado de la UNAM) para realizar las pruebas de memoria y cuestionarios de estrategias. En el estudio remoto los participantes instalaron el programa en sus computadoras y respondieron las pruebas y cuestionarios durante videoconferencia con la investigadora.

Tipo de población:

Instrumentistas. Instrumentistas (n=15) entre 20 y 55 años de edad, actualmente activos y con al menos 10 años de instrucción formal.

¹² El planteamiento original del proyecto contemplaba el registro de actividad cerebral mediante electroencefalografía (EEG). Las medidas sanitarias instauradas en respuesta a la pandemia causaron que se modificara la modalidad de recolección de datos conductuales y se cancelara la fase de registros de EEG. La pertinencia de esta metodología se aborda en la sección de discusión de esta tesis.

Participantes sin formación musical. Individuos sin formación musical (n=47) entre 20 y 55 años de edad.

Criterios de inclusión. Que los participantes fueran hablantes nativos de español.

Criterios de exclusión. Que los participantes reportaran problemas de audición o desórdenes neurológicos. Los cantantes profesionales también fueron excluidos debido a que el contenido verbal forma parte de su práctica musical y las estrategias para su procesamiento podrían diferir de aquellas de los instrumentistas.

Limitaciones adicionales

En el estudio presencial únicamente pudieron participar individuos que residieran o pudieran trasladarse a la Ciudad de México para hacer la prueba.

En el estudio remoto la participación se amplió sin importar el lugar de residencia y se flexibilizaron los horarios de participación. A diferencia del estudio presencial, la participación estuvo limitada por la compatibilidad tecnológica (computadora de escritorio con Mac OS o Windows de 64 bits).

7.2 Materiales y métodos

7.2.1 Cuestionarios y formularios

Se aplicaron 5 cuestionarios en línea a través de la plataforma Google Forms a todos los participantes (cuatro de ellos el mismo día de la sesión experimental). Cada participante respondía los primeros dos cuestionarios antes de llevar a cabo la sesión experimental, lo que permitió recabar su consentimiento informado, así como información personal básica que sirviera para evaluar los criterios de inclusión y exclusión. A lo largo de la sesión experimental se aplicaron tres cuestionarios donde los participantes reportaron sus estrategias y se validaron aspectos como la claridad y familiaridad de los estímulos.

7.2.2 Prueba de Sternberg modificada

La prueba de Sternberg consiste en presentar una lista de estímulos seguida de un estímulo prueba que proviene o no de la misma lista (Sternberg, 1966; 1969). La tarea del participante es indicar si el estímulo prueba estaba presente en la lista o no. Al proceso que consta de la presentación de la lista, estímulo prueba y respuesta del participante nos referiremos como *ensayo*, esquematizado en la Figura 7. La longitud de la lista es proporcional a la dificultad, por lo que nos referimos a este como *nivel*. Por ejemplo, nivel 3 significa que la lista consta de tres estímulos, seguidos del estímulo prueba.

La prueba modificada fue programada en Matlab 2016 ® por la sustentante de esta tesis, quien posteriormente generó una aplicación instalable para Windows y Mac OS en AppDesigner ® (véase sección 7.2.4). Los bancos de palabras y UMS ocupados en este trabajo también fueron diseñados, grabados y editados por la sustentante y se describen a detalle en secciones subsecuentes. El programa desarrollado presenta los estímulos, recibe las respuestas de los participantes y las contrasta con la presencia o ausencia del estímulo de prueba en la lista.

Cada ensayo consiste en la presentación de una lista auditiva seguida del estímulo prueba y la respuesta del participante. Los estímulos de la lista y el estímulo prueba siempre provinieron de la misma tonalidad o campo semántico respectivamente. Las pruebas tuvieron respectivamente 7 tonalidades con 24 USM y 7 campos semánticos con 24 palabras. Las tonalidades y campos semánticos se presentaron al azar y nunca se repitieron en ensayos consecutivos. En cada ensayo se genera una lista concatenando aleatoriamente elementos de un conjunto y, después de una pausa, se presenta el estímulo de prueba. Cada ensayo tenía probabilidad de 50% de ser positivo o negativo, es decir, que el estímulo prueba estuviera presente en la lista, y nunca sería el primero ni el último para evitar los efectos de primacía y recencia¹³. El nivel inicial en todos los casos fue 3 y el máximo 23 (ya que sólo había 24 estímulos disponibles por ensayo).

¹³ Los efectos de primacía y recencia se refieren a la facilidad con la que son recordados los estímulos presentados al inicio y final de una lista (Atkinson & Shiffrin, 1968).

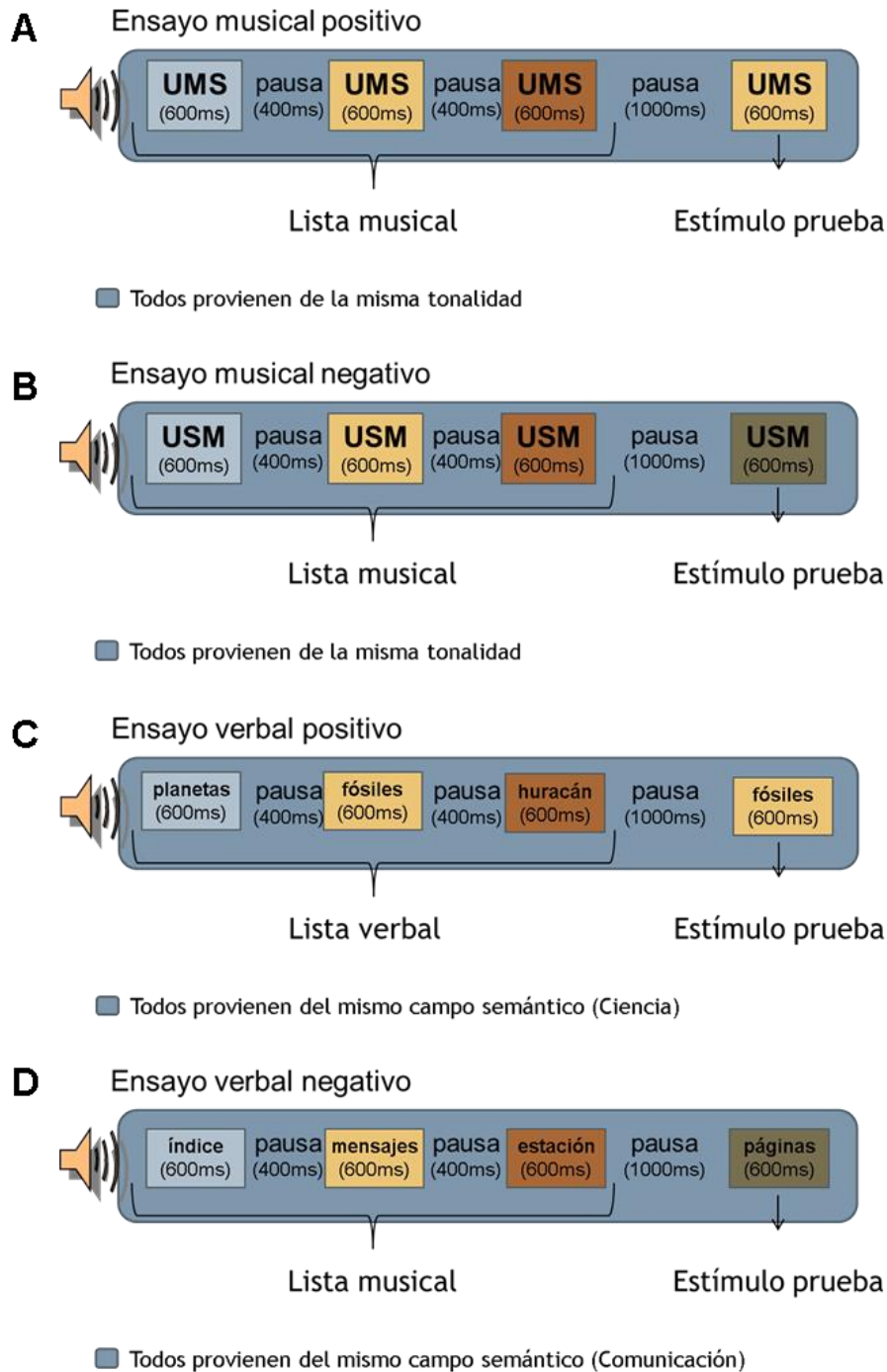


Figura 7. Composición de ensayos ejemplo. Se muestran ejemplos de composición de ensayos en el nivel básico (3) para estímulos musicales (A y B) y verbales (C y D). En todos los casos los estímulos presentes en cada ensayo provienen de la misma tonalidad o campo semántico. Si el estímulo prueba está en la lista de ese ensayo la respuesta correcta es positiva, de lo contrario es un ensayo negativo. Entre cada estímulo de la lista hay una pausa de 400 ms y, entre la lista y el estímulo prueba, la pausa es de 1000 ms. UMS, Unidad Musical Significativa.

La prueba fue de dificultad adaptativa, de manera que cada vez que el participante respondía correctamente dos veces pasaba al siguiente nivel, es decir, la lista se volvía más larga por un estímulo adicional. La prueba tuvo una modalidad de práctica con número fijo de ensayos para que los participantes pudieran familiarizarse con su funcionamiento y una modalidad dependiente de error que terminaba si una de dos condiciones se cumplía: que el participante acumulara dos errores consecutivos o que aprobara el nivel 23, como limitación técnica de la prueba. El orden de aplicación de las pruebas, el tamaño de la pausa que separaba los estímulos, el uso de campos semánticos y otros aspectos metodológicos fueron definidos a partir de estudios piloto que se resumen en la Tabla 1.

Estímulos auditivos. Los estímulos fueron equiparados en sus condiciones físicas: misma duración (600 ms), misma intensidad sonora (-6 dB)¹⁴ y mismo número de subcomponentes (3 notas y 3 sílabas). En ambas pruebas, los estímulos de una lista estuvieron separados entre sí por pausas de 400 ms y una pausa de 1000 ms separó la lista del estímulo prueba. Las demás características son propias de cada dominio y no se pretende establecer analogías entre las características de los estímulos musicales y verbales, más bien, se busca evaluar la validez interna de los estímulos para cada dominio (música y lenguaje). En cada prueba hubo 7 conjuntos con 24 elementos cada uno, a partir de los cuales se elaboraron las combinaciones de listas.

¹⁴ Esta equiparación se refiere a que todos los audios de palabras fueron ajustados a la misma intensidad sonora que no había segmentos en una palabra que excedieran dicho umbral. Sin embargo, la intensidad sonora de presentación no se determinó cuantitativamente, sino que cada sujeto la definió cualitativamente como un volumen de escucha cómodo durante los ensayos de entrenamiento y se mantuvo constante para los ensayos de prueba.

Tabla 1. Resumen de los estudios piloto

	Piloto 1	Piloto 2	Piloto 3
Participantes	5 músicos profesionales	12 estudiantes nivel propedéutico	6 músicos profesionales, 8 participantes sin formación musical
Edad	25-40 años	16-30 años	Músicos (24-50 años) No músicos (22-41 años)
Sexo	3 mujeres, 2 hombres	3 mujeres, 9 hombres	2 mujeres, 4 hombres
Objetivos	Poner a prueba la claridad y funcionamiento de la prueba.	Comparar dos tamaños de pausa entre UMS manteniendo la duración total del estímulo en 1/segundo.	Poner a prueba el protocolo final, con la modificación de las palabras agrupadas en campos semánticos y el criterio 2,2 en lugar de 3,3.
Características de la prueba	Pruebas de Sternberg musical y verbal aplicadas en dos días diferentes en orden contrabalanceado. El criterio para pasar de nivel fue de 3 aciertos consecutivos y para terminar la prueba fue de tres errores consecutivos. Tanto las palabras como los estímulos musicales duraban 600 ms y no había pausas que los separaran dentro de la lista.	Pruebas musicales limitadas a 10 ó 15 ensayos. La condición A tenía estímulos de 600 ms y pausa de 400 ms y la condición B tenía estímulos de 1000 ms y pausa de 300 ms. La aplicación de ambas modalidades fue contrabalanceada. El criterio para pasar de nivel fue de 2 aciertos consecutivos.	Se conservó el criterio de dos aciertos para pasar y dos errores para terminar. Las listas de palabras estaban divididas en campos semánticos. Ambas pruebas se aplicaron en una sola sesión en orden contrabalanceado entre sujetos.
Resultados y conclusiones	Los participantes reportaron que en los estímulos musicales no era posible fragmentar la lista de manera regular, a diferencia de los estímulos verbales.	Se observó mejor desempeño en la condición A en 5 de 9 participantes y desempeño igual entre condiciones en 2 de 9 participantes. El efecto no se debía al orden de aplicación de las pruebas.	No se encontró efecto en el orden de aplicación de las pruebas. En todos los casos la prueba verbal fue más larga que la musical. Los campos semánticos no resultaron tan consistentes pero ayudan a reducir la saliencia de los estímulos.
Implicaciones metodológicas	Se decidió agregar una pausa entre cada estímulo en ambas pruebas.	Se mantuvo la duración de los estímulos en 600 ms con pausa de 400 ms.	Se decidió hacer siempre la prueba musical antes que la verbal para evitar agotamiento en la segunda prueba y no hacer evidente el procedimiento del estudio.

Se describen los participantes, objetivos, características de las pruebas aplicadas, los resultados conductuales y auto-reportes de los participantes y sus implicaciones metodológicas.

Estímulos musicales. Los estímulos musicales fueron secuencias de tres notas diferentes, pero de la misma duración¹⁵ (200 ms cada nota), tomadas de tonalidades mayores de la octava ubicada entre el do₅ y do₆ según el índice Labor-Riemann (261-523 Hz, respectivamente). Las notas fueron sintetizadas en el programa Reason 5® en la modalidad de piano. Por cada tonalidad, se generaron 24 estímulos musicales que presentaban de forma equiprobable uno de los cuatro contornos melódicos posibles sin repetir notas: contornos (i) ascendente y (ii) descendente, en los que el contorno se mueve en una misma dirección, y (iii) arco ascendente y (iv) arco descendente, en los que la relación entre la primera y la segunda nota es positiva o negativa y la relación entre la segunda y la tercera es la contraria. En la Figura 8 los compases 1 a 6 corresponden al contorno ascendente, 7 a 12 al descendente, 13 a 18 al arco ascendente y 19 a 24 al arco descendente. Los estímulos fueron contruidos a partir de combinaciones de las relaciones tonales comunes entre los grados de la tonalidad mayor en el sistema tonal occidental. Sin embargo, se descartaron combinaciones que tuvieran dos de tres notas iguales y se limitó la aparición de grados en la misma posición a través de estímulos (*i.e.*, tener muchos estímulos que resolvieran al V).



Figura 8. Unidades musicales significativas. La partitura muestra las UMS contruidas en la tonalidad de do mayor. Se presentan primero 6 de contorno ascendente, 6 descendentes, 6 de arco ascendente y 6 de arco descendente. La partitura refleja los criterios de síntesis usados en Reason 5 para generar los audios en un compás de 3/8 y 150 ppm, correspondiente a un *allegro* (110-168 ppm). Aunque sólo se muestra la partitura en do mayor, estos motivos fueron transpuestos a las tonalidades de re, mi, fa, sol, la y si mayores.

¹⁵Nos referimos también en el texto a esta característica como isocronía.

Estímulos verbales. Los estímulos verbales fueron palabras trisílabas en español sin repetición de sílabas, grabadas por una voz humana femenina, cuya duración e intensidad sonora fue ajustada de manera digital a 600 ms y -6 dBs en el Software Adobe Audition ® 2016. Las palabras fueron seleccionadas de entre las 10,000 formas más usadas publicadas por la RAE¹⁶, recuperando 640 sustantivos trisilábicos, de los cuales 79 eran palabras agudas, 485 graves y 76 esdrújulas. Posteriormente, se categorizaron en 7 campos semánticos de 24 palabras donde se controló la frecuencia de género, número y sílaba tónica. De manera que había 50% de probabilidad de que una palabra fuera singular o plural, femenina o masculina y un tercio de que fuera aguda, grave o esdrújula. Los campos semánticos se formaron a partir de las palabras recuperadas y no *a priori*, y quedaron definidos como: salud, empleo, ciencia, emociones, descripción, comunicación y sociedad. La lista final se presenta en la Tabla 2.

¹⁶ <http://corpus.rae.es/lfrecuencias.html>

Tabla 2. Caracterización de la lista de palabras.

Salud	Empleo	Ciencia	Emociones	Descripción	Comunicación	Sociedad
cáscaras	crédito	cálculos	ánimos	vínculos	índice	trámites
lámparas	métodos	lógica	lástima	ángulos	márgenes	cómplices
músculos	fábricas	cátedras	pánico	líneas	páginas	hábitos
órganos	máquinas	fórmulas	vértigo	códigos	párrafos	símbolos
párpados	técnicas	fósiles	críticas	épocas	prólogo	méritos
sábanas	módulos	búsquedas	vínculos	décadas	título	prácticas
síntomas	éxito	números	diálogos	límites	tónica	tránsito
células	público	química	tácticas	gráficos	géneros	tráfico
abrigo	negocios	conejos	tragedias	silueta	revistas	legados
lesiones	pensiones	planetas	secretos	tamaño	vocales	lenguajes
mejillas	permisos	recursos	valores	trazado	libreros	licencia
miradas	recibos	semillas	respeto	volumen	relatos	gobierno
paciente	renuncia	reflejo	romances	medidas	portadas	naciones
pastilla	salarios	tormentas	rumores	modelos	mensajes	reformas
recetas	seguros	manuales	tristezas	niveles	palabras	riquezas
tejido	servicios	paisaje	temores	procesos	papeles	senado
cinturón	novedad	animal	ambición	magnitud	edición	comisión
corazón	calidad	ecuación	amistad	amplitud	editor	comités
pantalón	inversión	huracán	caridad	cantidad	oración	fundación
hospital	almacén	solución	actitud	potencial	escritor	libertad
algodón	condición	invención	emoción	relación	difusión	rebelión
juventud	concesión	profesor	malestar	rapidez	emisión	sociedad
nutrición	variedad	validez	ilusión	unidad	estación	votación
madurez	profesión	precisión	negación	longitud	impresión	invasión

Nota. Cada columna contiene las palabras agrupadas en ese campo semántico. Las palabras en todos los casos se presentan agrupadas en esdrújulas, graves y agudas. En cada campo semántico el número, género y sílaba tónica estuvieron balanceados.

7.2.3 Procedimiento

La sesión experimental (45 min) consistió en la aplicación de las pruebas musical y verbal, seguidas de sus respectivos cuestionarios de estrategias. En el caso del estudio presencial, las pruebas se realizaron en la ventana de comando de Matlab, sin interfaz gráfica tecleando “s enter” o “n enter” para indicar la presencia o ausencia del estímulo prueba en la lista escuchada, respectivamente. En el estudio remoto se utilizó la aplicación instalable descrita a continuación.

7.2.4 Adaptación metodológica para el estudio remoto

Para el estudio remoto se desarrolló una interfaz gráfica en AppDesigner de Matlab y se generaron versiones instalables compatibles con Mac OS y Windows, para evitar que los participantes tuvieran que instalar Matlab con el fin de hacer la prueba. Los participantes que contaban con Matlab 2016 o versiones posteriores instalaron la aplicación directamente en la barra de Apps de Matlab. La interfaz gráfica permitía al usuario escoger el sitio de almacenamiento en la computadora, verificar la instalación del programa, ingresar su número de usuario, seleccionar la modalidad correspondiente con apoyo de la investigadora durante la conferencia y presentaba por escrito las instrucciones de cada prueba como se muestra en la Figura 9.

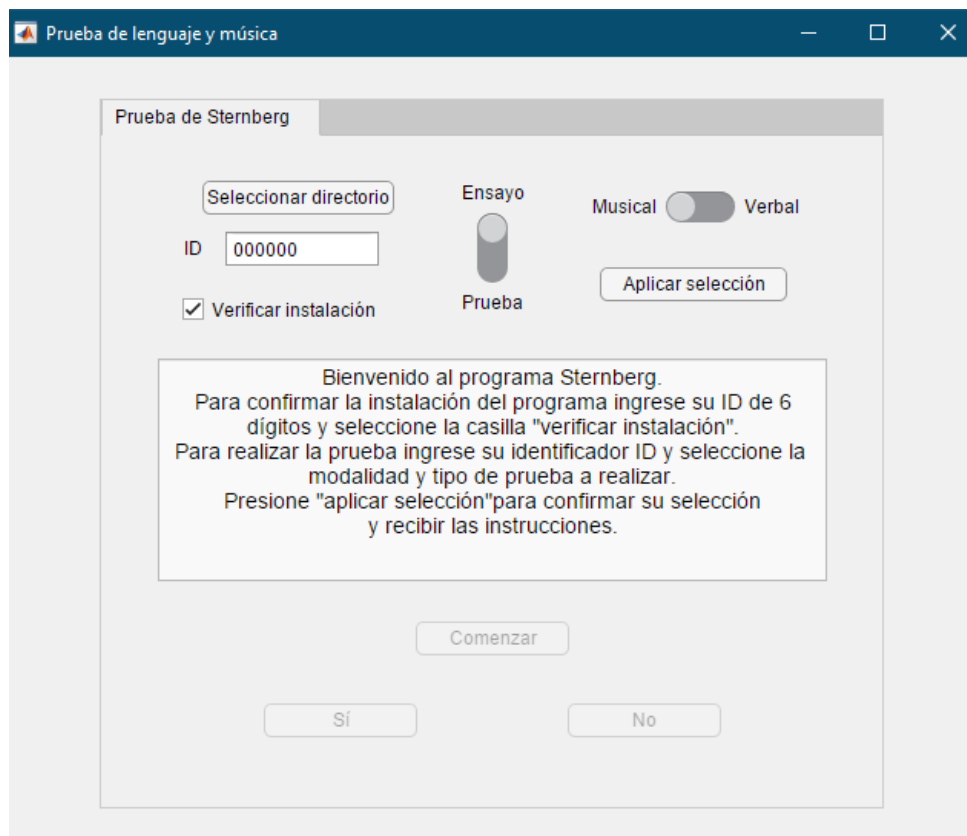


Figura 9. Pantalla de inicio de la interfaz gráfica diseñada para el estudio remoto. Se observan los componentes que permiten seleccionar el directorio donde se almacenarán los archivos generados, ingresar el identificador del usuario, verificar la instalación y elegir el tipo de prueba. Los botones ‘comenzar’, ‘sí’ y ‘no’ se encuentran inhabilitados hasta que el usuario seleccione el tipo de prueba.

7.3 Análisis de datos

La información recaudada en los cuestionarios fue descargada y vaciada en hojas de cálculo manteniendo el anonimato de los participantes. El programa, tanto en Matlab como en la versión instalable, generó archivos tipo CSV que especificaban para cada ensayo: el nivel, tonalidad o campo semántico, acierto, condición de la prueba (verdadero positivo o negativo), el número identificador del estímulo prueba y de la secuencia de estímulos presentados.

Análisis cuantitativo. A partir de estos archivos CSV se obtuvo la *capacidad* como el nivel más alto en que los participantes hubieran respondido, es decir, aquel en el que la prueba terminó. Se calculó la *exactitud* como el número de aciertos dividido entre el número de ensayos (Figura 1, panel A) desde el nivel mínimo (3) hasta el último nivel en que se hubieran acumulado aciertos consecutivos.

Para cada sujeto y prueba se calculó el *índice de sensibilidad d'* . Este índice se considera una medida no sesgada de la habilidad del sujeto para detectar una señal y es incorporado especialmente en estudios psicofísicos (*d prime*, APA Dictionary of Psychology, n.d.). La teoría de detección de señales plantea que existe un umbral por encima del cual un sistema es capaz de detectar una señal por encima del ruido y que tanto el ruido como la señal tienen distribución gaussiana (Figura 10, panel B; Harvey, 2014). Se calcula como la diferencia de las transformadas Z^{17} de la tasa de aciertos y la tasa de falsa alarma (Figura 1, panel A). Para tasas de acierto o falsa alarma iguales a uno o cero es necesario calcular valores aproximados ya que no es posible calcular su transformada Z . Empleamos la corrección $1/(2n)$ para valores iguales a cero y la corrección $1 - 1/(2n)$ para valores iguales a uno. n es el número de falsas alarmas o aciertos, según corresponda (Haatveit *et al.*, 2010). Este proceso se realizó en ciego respecto a la categoría de los participantes como instrumentistas o no músicos.

¹⁷ Z es una variable compleja de la distribución normal o Gaussiana, equivale a cero cuando la probabilidad es del 50% y para probabilidades muy pequeñas su valor tiende a -3 o 3. La transformada Z parte de un valor mayor a cero y menor a uno y devuelve su respectivo valor de Z . Se puede calcular en Microsoft Excel con la fórmula NORMSINV. Para calcular en otros programas, consúltese Haatveit *et al* (2010).

A

Matriz de confusión		Respuesta del sujeto		
		Negativo	Positivo	
Realidad	Negativo	Verdadero Negativo (VN)	Falso Positivo (FP)	Tasa de falsa alarma $\frac{FP}{(FP+VN)}$
	Positivo	Falso Negativo (FN)	Verdadero Positivo (VP)	Tasa de aciertos $\frac{VP}{(VP+FN)}$
				Exactitud $\frac{(VP+VN)}{(VP+VN+FP+FN)}$

B

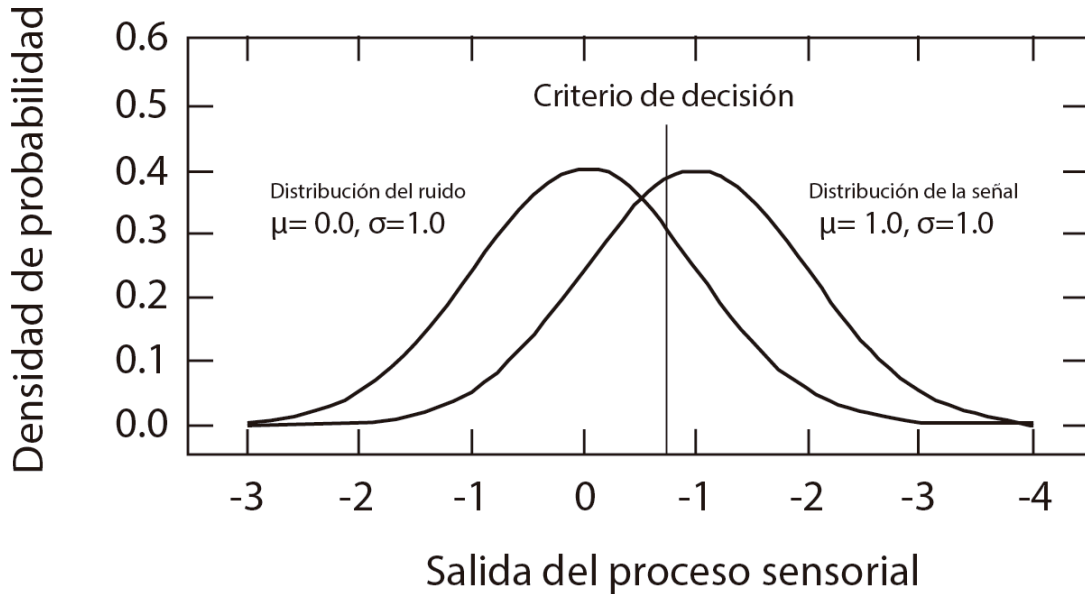


Figura 10. Matriz de confusión (A) y modelo de detección de señales (B). El panel A presenta la categorización de respuestas (columnas) de acuerdo al criterio de verdad (filas). A partir de los falsos y verdaderos positivos y negativos se calculan distintos parámetros. En este caso, se destacan la tasa de falsa alarma, la tasa de aciertos y la exactitud, que equivale a la proporción de aciertos. El panel B presenta el modelo de detección de señales en que se basa el índice de sensibilidad d' . Se propone que el índice de discriminación es la diferencia entre la gaussiana del ruido que entra al sistema y la gaussiana que contiene al ruido más la señal (Traducido de Harvey, 2014).

Análisis de estrategias auto reportadas. Las estrategias se clasificaron de acuerdo con las descripciones libres de los participantes *a posteriori*, tomando como base la división en 9 categorías realizada por Morrison y colaboradores (2016). Esta categorización utilizó palabras clave para distinguir las estrategias reportadas por los sujetos y, con ello, hacer una equivalencia teórica (Tabla 3).

Tabla 3. Categorización de estrategias a partir de palabras clave.

Palabra clave	Estrategia
Repetición	Repaso (<i>rehearsal</i>)
Grupos	Agrupar (<i>grouping</i>)
Significado	Semántico
Relación con otras palabras	Asociación
Apariencia	Visual
Sonido	Sonora
Imagen creada	Visualización
Concentración	Concentración (<i>default</i>)
Recientes o familiares	Familiaridad

Nota. Se muestran en itálicas entre paréntesis las categorías originales para evitar ambigüedad con sus equivalentes en español. (Adaptado de Morrison *et al.*, 2016).

Además de estas 9 categorías, se consideraron categorías de dominio específico donde los participantes reportaron usar características de los estímulos exclusivas de su dominio. Por ejemplo, contorno melódico, registro, tonalidad o intervalos en el caso musical. Ejemplos del caso verbal son el género, número o iniciales de las palabras.

Nos referiremos como basal a la categoría nombrada *default* por Morrison y colaboradores, ya que hace referencia a un procesamiento base o falta de procesamiento estratégico. Fueron agrupados bajo esta categoría los reportes que incluyeran los términos atención, concentración, cerrar los ojos o que resultaban en paráfrasis de las instrucciones de la prueba (*i.e.* escuchar la lista y pensar si la última palabra estaba o no). Cuando la estrategia reportada por los sujetos incluía términos propios de la estrategia basal, pero además descripciones que correspondían a otra categoría (*i.e.* repetir lista en la mente), simplemente fueron

incluidos en dicha categoría (*i.e.* repaso), puesto que la definición de categoría basal es sinónimo de ausencia de estrategias.

Estadística. La capacidad, exactitud y el índice d' se obtuvieron para ambas pruebas en cada participante y se analizaron junto con datos básicos de los cuestionarios en el programa jamovi ® 2019. Al comparar la distribución de ambas muestras, la capacidad verbal y musical fueron distintas a la normal de acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilk ($p < 0.05$) y la varianza fue desigual tanto para d' verbal como para d' musical de acuerdo con la prueba de Levene. Dado el incumplimiento de supuestos, la desigualdad del tamaño de muestras y la distribución no simétrica de variables como la edad se usaron pruebas no paramétricas. Para comparar las variables entre los instrumentistas y los no músicos se usó la prueba de U de Mann-Whitney (equivalente a T de Student para muestras independientes). Para comparar el desempeño entre la prueba verbal y musical dentro de cada grupo se usó la prueba de rangos de Wilcoxon, el equivalente no paramétrico de la T de student pareada. Para comparaciones múltiples se ocupó la prueba de Kruskal-Wallis, equivalente no paramétrico de la prueba de análisis de varianza (ANOVA). Las pruebas de correlación se realizaron con el coeficiente rho de Spearman, contraparte no paramétrica del coeficiente de Pearson. En todos los casos se indican los valores p y los índices correspondientes.

8. Resultados

8.1 Estudios piloto

Tres estudios piloto se llevaron a cabo para poner a prueba la funcionalidad del programa elaborado en Matlab. Los resultados obtenidos en dichos pilotos contribuyeron al diseño final del programa y aportaron información preliminar sobre los resultados. Este apartado de resultados incluye los resultados conductuales adquiridos en las pruebas de Sternberg, el auto-reporte de los participantes y su relación con variables reportadas por los usuarios. Los hallazgos que influyeron en el diseño metodológico se resumen en la Tabla 1 (sección 5.2.2).

Para este análisis sólo se incluyeron los datos de participantes que hubieran completado la prueba musical en la modalidad de 600 ms/estímulo y se descartaron los sujetos del piloto 3 que habían participado en el piloto 1. También se descartaron los participantes del piloto 2 que hubieran realizado la prueba limitada a 10 ensayos en lugar de 15, para evitar un artefacto de efecto techo en la capacidad musical.

Características de la muestra

Una vez depurada la muestra, se incluyeron 5 músicos del piloto 1, 5 músicos del piloto 2, y 5 músicos y 8 no músicos del piloto 3. Las características básicas de cada muestra se despliegan en la tabla 4.

Tabla 4. Características de las muestras piloto

	Piloto 1	Piloto 2	Piloto 3 (I)	Piloto 3 (NM)	Instrumentistas total	Total
N	5	5	5	8	15	23
mujeres: hombres	3:2	2:3	1:4	5:3	6:9	11:12
Años cumplidos media (d.e)	34.6 (5.0)	NA	33.4 (9.8)	32.2 (7.6)	34 (7.4)	33.2 (7.3)

I, instrumentistas; NM, no músicos

8.1.1 Desempeño en la prueba musical

En los tres estudios piloto los músicos mostraron una capacidad musical¹⁸ en el rango de 6 a 10 elementos, como se observa en la Figura 11, panel A. La primera aproximación con no músicos arrojó valores, en lo general, por debajo de 6 (con una excepción, cuyas implicaciones se desarrollan en la discusión). Se observa menor exactitud en el piloto 1 que en los estudios posteriores. Esto se debe, presumiblemente, al cambio de 3 a sólo 2 errores acumulados para terminar la prueba y al límite de 5 ensayos en los que las respuestas fueran alternadamente errores y aciertos. El rango de exactitud se encuentra en la mayoría de los sujetos, tanto para instrumentistas como para no músicos, entre 0.7 y 1.0. Tres sujetos sin formación musical no lograron acumular aciertos en el nivel mínimo y su exactitud se muestra con asteriscos en la figura 11, panel B. La edad y sexo no resultaron correlacionados con la capacidad musical ni verbal. La única variable relacionada con la capacidad musical de manera significativa fue la formación musical (Kruskal-Wallis, $p < 0.001$).

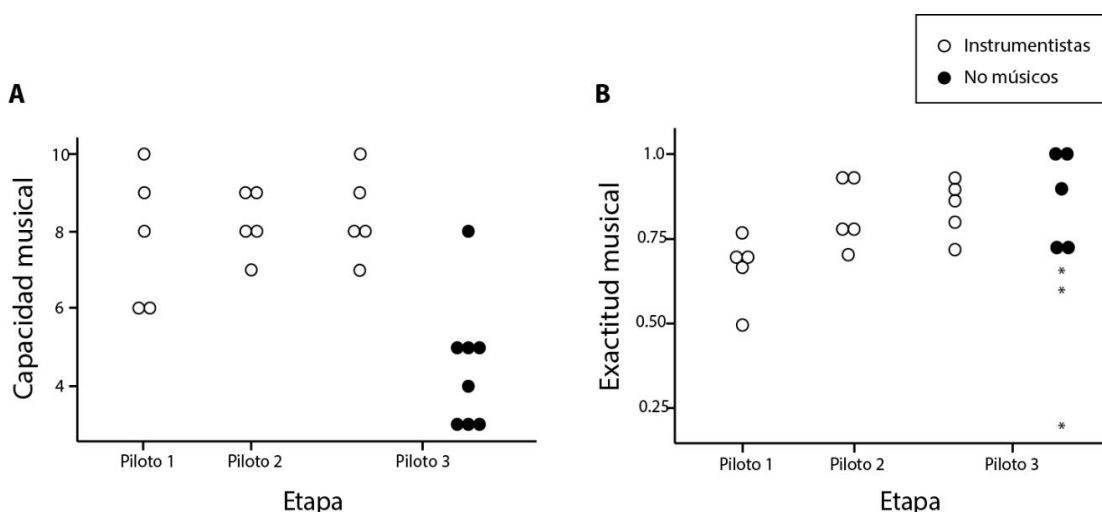


Figura 11. Capacidad y exactitud musical en los estudios piloto. Se muestra la capacidad (A) y exactitud (B) alcanzadas en la prueba musical en los tres estudios piloto. Los puntos vacíos corresponden a los instrumentistas y los puntos rellenos corresponden a los participantes sin formación musical. Los asteriscos señalan los puntajes de exactitud de los sujetos cuya capacidad máxima fue 3, es decir, que no acumularon aciertos consecutivos en el nivel mínimo.

¹⁸ La capacidad de memoria en este estudio se refiere al último nivel que los participantes respondieron, mientras que la exactitud se refiere al porcentaje de aciertos obtenidos hasta el nivel previo a su capacidad.

8.1.2 Estrategias en la prueba musical

Dentro de los objetivos del piloto 2 no estuvo conocer las estrategias empleadas al responder, por lo que únicamente se cuenta con estos datos en el caso de los pilotos 1 y 3. Tres individuos del piloto 3 no completaron los cuestionarios de estrategias, por lo que carecemos de esa información. Con dichas limitaciones en cuenta, se extrajeron los datos de 9 músicos (5 del piloto 1 y 4 del piloto 2) y 6 sujetos sin formación del piloto 3. Se encontró un patrón de correspondencia entre estrategias reportadas y capacidad musical (Tabla 5).

Tabla 5. Relación entre estrategias, capacidad, exactitud y sensibilidad d' musical en los estudios piloto.

Etapa	Capacidad musical	Exactitud musical	Índice d'	Edad	Sexo	Instrumento	Estrategias reportadas
Piloto 3	10	0.72	1.2	32	M	Guitarra	Musical
Piloto 1	10	0.7	1.5	26	F	Guitarra	Repaso + Musical
Piloto 1	9	0.7	0.4	36	M	Guitarra	Musical
Piloto 3	8	0.9	2.1	35	M	NA	Basal
Piloto 1	8	0.77	0.7	35	F	Violonchelo	Agrupación + Musical
Piloto 3	8	0.86	2.0	29	M	Guitarra	Musical
Piloto 3	8	0.9	1.9	24	M	Percusiones	Musical
Piloto 3	7	0.8	1.5	32	M	Piano	Basal
Piloto 1	6	0.5	0.3	39	M	Percusiones	Basal
Piloto 1	6	0.67	0.7	37	F	Guitarra	Basal
Piloto 3	5	0.72	1.0	41	F	NA	Basal
Piloto 3	5	0.71	1.0	39	M	NA	Basal
Piloto 3	5	1	1.2	24	F	NA	Basal
Piloto 3	4	1	0.0	39	F	NA	Basal
Piloto 3	3	0.5	0.7	22	F	NA	Basal

Nota. Se señalan en gris las estrategias de procesamiento basal.

Aquellos sujetos con capacidad musical menor a ocho no reportaron usar ninguna estrategia. Esto es, que a pesar de que algunos contaban con formación musical, ésta no se concretó en una estrategia mnemónica. Los sujetos con capacidad igual o mayor a ocho reportaron usar al menos una estrategia relacionada con conocimiento musical, refiriéndose a contornos, tonalidad e intervalos o a una estrategia canónica de memoria como repaso o agrupación. El único sujeto que no reportó estrategia alguna en este grupo fue el individuo sin formación musical que resultó dentro de este grupo. Esto sugiere que su alto desempeño no se debe a conocimientos musicales o incluso a una estrategia mnemónica.

8.1.3 Desempeño en la prueba verbal

Como se mencionó anteriormente, el estudio piloto 2 no contempló la memoria verbal y en tres casos del piloto 3 no se llenaron los respectivos cuestionarios de estrategias. Se observa un amplio rango en la capacidad musical a partir de los 8 elementos y se alcanza el máximo técnico de la prueba (24 elementos) tanto en el grupo de músicos como en el de no músicos (Figura 12).

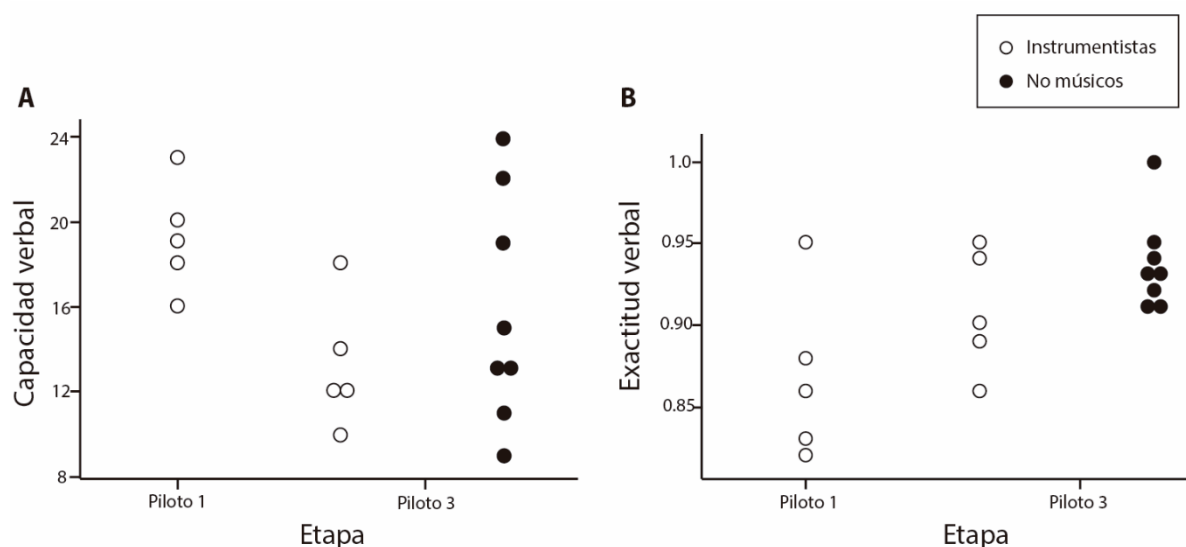


Figura 12. Capacidad y exactitud verbal en los estudios piloto. Se muestra la capacidad máxima (A) y exactitud (B) alcanzadas en la prueba verbal en los estudios piloto los estudios piloto 1 y 3. Los puntos vacíos corresponden a los instrumentistas y los puntos rellenos corresponden a los participantes sin formación musical.

En el caso de la memoria verbal, la exactitud fue mayor a 0.8 y en muchos casos incluso se encontró entre 0.9 y 1.0. De nuevo, la exactitud fue mayor en el piloto 3 que el piloto 1, reflejando probablemente las diferencias metodológicas subyacentes. Nótese que capacidad de 24 significa que se consiguieron aciertos consecutivos en el nivel 23 y la prueba terminó debido a sus limitaciones técnicas, mientras que capacidad de 23 significa que se consiguieron aciertos consecutivos en el nivel 22, mas no en el nivel 23, y la prueba terminó, pero no por su limitación técnica. En comparación con la capacidad musical, se observa mayor dispersión en la capacidad verbal independientemente de la formación musical. La gran mayoría de los puntajes en la prueba verbal son mayores a 10, mientras que en la prueba musical son menores a 10.

8.1.4 Estrategias en la prueba verbal

La relación entre el desempeño y las estrategias verbales es más compleja (Tabla 6). Con frecuencia se reportó asociación, visualización, semántica y repaso. También se reportaron combinaciones de estrategias en tres casos. Sin embargo, las estrategias reportadas no tuvieron relación con la capacidad, la exactitud ni el índice de sensibilidad d' .

Tabla 6. Relación entre estrategias, capacidad, exactitud y sensibilidad d' verbal en los estudios piloto.

Etapa	Capacidad verbal	Exactitud verbal	Índice d'	Edad	Sexo	Instrumento	Estrategia verbal
Piloto 3	13	1	3.3	24	M	NA	Agrupación
Piloto 3	22	0.95	3.3	39	M	NA	Basal
Piloto 3	19	0.92	2.9	39	H	NA	Asociación
Piloto 3	12	0.95	2.9	28	H	Guitarra	Basal
Piloto 3	15	0.93	2.9	25	M	NA	-
Piloto 3	24	0.91	2.7	22	M	NA	Visualización
Piloto 3	10	0.94	2.7	24	H	Percusiones	Semántica
Piloto 3	13	0.91	2.7	35	H	NA	Repaso
Piloto 3	11	0.94	2.6	41	M	NA	Visualización + Semántica
Piloto 3	12	0.9	2.6	32	H	Guitarra	Asociación
Piloto 3	14	0.89	2.5	32	H	Piano	Basal
Piloto 3	9	0.93	2.5	33	H	NA	-
Piloto 1	16	0.95	2.4	26	M	Guitarra	Repaso + Semántica
Piloto 3	18	0.86	2.3	50	M	Piano	-
Piloto 1	23	0.83	2.3	36	H	Guitarra	Asociación
Piloto 1	20	0.88	2.1	35	M	Violonchelo	Visualización + Repaso
Piloto 1	18	0.82	1.9	37	M	Guitarra	Visualización
Piloto 1	19	0.86	1.7	39	H	Percusiones	Fonológica

Cuando se compara el índice de sensibilidad d' entre instrumentistas y no músicos para ambas pruebas se encuentran diferencias significativas en la prueba musical, pero no en la prueba verbal (Figura 13). A su vez, el índice d' en la prueba verbal es mayor que el musical en ambas poblaciones (Wilcoxon, $p < 0.001$).

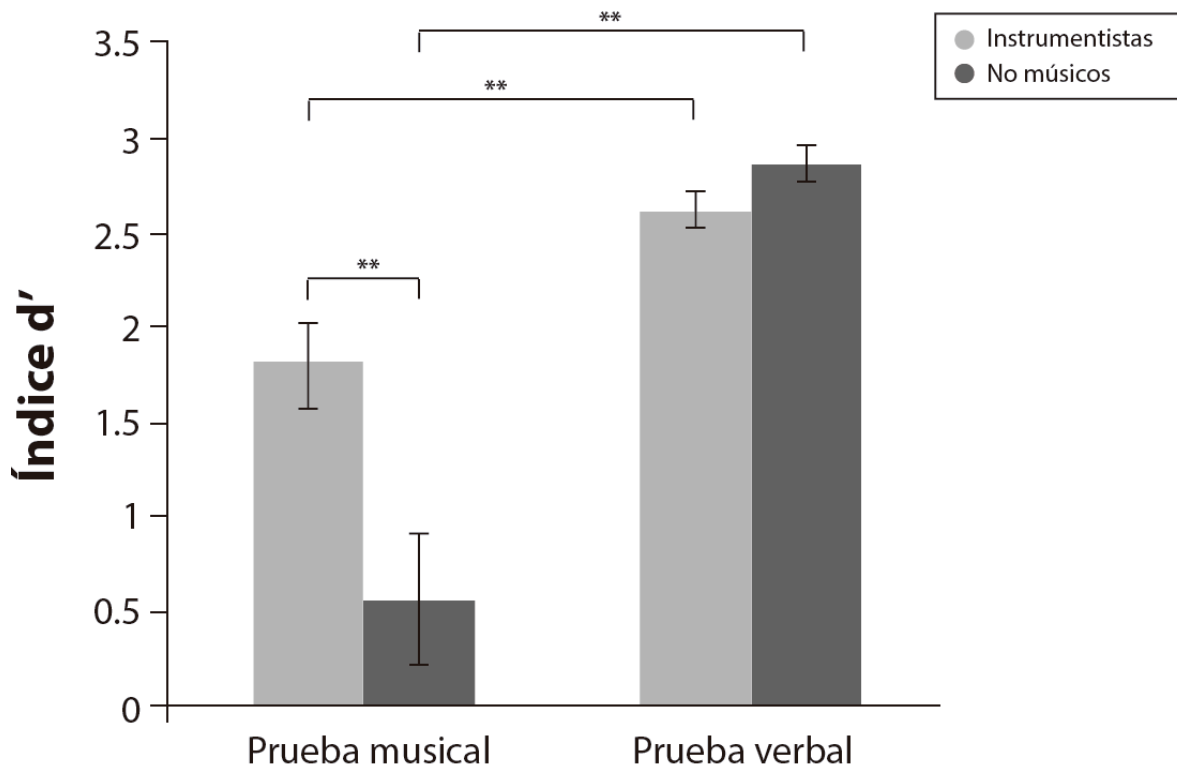


Figura 13. Índice de sensibilidad d' en las pruebas piloto. Se muestran las medias grupales y el error estándar. Se distinguen en gris claro a los instrumentistas y en gris oscuro a los no músicos. $**p < 0.001$.

Estos pilotos nos permitieron esperar en las pruebas experimentales un valor de capacidad musical cercano al reportado en otros estudios (entre 3 y 8 elementos), pero un valor de capacidad verbal mayor a los evaluados con este paradigma en la literatura. La capacidad musical reportada por la prueba refleja la formación o carencia de formación musical. Aun así, uno de los participantes sin formación musical mostró una capacidad máxima musical dentro del promedio de los músicos (8) con un porcentaje de aciertos muy por encima del azar (0.9) y alto índice d' musical (2.1). En la prueba musical con instrumentistas, la diferencia entre alta y baja capacidad estuvo relacionada con la presencia o ausencia de estrategias de procesamiento, pero las estrategias reportadas no tuvieron relación con el desempeño en la prueba verbal. Con estos resultados en mente, abordamos el estudio presencial buscando rangos de valor grupales (instrumentistas *vs.* no músicos) y, por otro lado, la relación entre estrategias y desempeño.

8.2 Resultados de los estudios experimentales

Participantes

Los estudios experimentales contaron con 31 participantes en cada modalidad y sus características se resumen en la Tabla 7. Desafortunadamente, la muestra de instrumentistas resultó más pequeña que la de los participantes sin formación musical en ambos estudios, y estuvo compuesta predominantemente por hombres, tanto en el estudio presencial (4:1) como en el remoto (9:1). En el caso de los participantes sin formación musical, la relación entre hombres y mujeres estuvo más balanceada en el estudio presencial (15:11) que en el remoto (10:21). La edad no tuvo distribución normal ni simétrica, aunque en ambas muestras la media se ubicó en 29 años y el 90% de los individuos se encontraron en el rango entre 26 y 32 años de edad. No hubo diferencias estadísticas entre la distribución de edades entre ambas muestras (U de Mann-Whitney, $p=0.37$). En ambos grupos el nivel de escolaridad más representado fue licenciatura (60% en músicos y 58% en no músicos), seguido de posgrado (20% en músicos y 31% en no músicos) y educación media superior (20% en músicos y 10% en no músicos). Aunque hay una ligera tendencia a la alta, con más individuos que reportan nivel posgrado que educación media superior en la muestra de no músicos que en la de instrumentistas, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos en términos de escolaridad (U de Mann-Whitney, $p=0.26$).

Tabla 7. Características de las muestras experimentales

	Presencial (I)	Presencial (NM)	Presencial	Remoto (I)	Remoto (NM)	Remoto	Total
N	5	26	31	10	21	31	62
Mujeres: Hombres	1:4	15:11	16:15	1:9	9:12	10:21	26:36
Años cumplidos media (d.e.)	25.6 (2.5)	29.6 (8.2)	29 (7.7)	29 (9)	30 (5.6)	29.7 (6.6)	29.3 (7.1)

I, instrumentistas; NM, no músicos; d.e., desviación estándar

Aunado a la pequeña muestra de instrumentistas, la representación de distintos instrumentos tampoco fue equitativa, limitando el papel que se pueda

atribuir al instrumento de formación sobre los resultados del estudio. El instrumento, edad de inicio y años de formación musical se detallan en la Tabla 8 para cada muestra, así como las horas de práctica semanal reportadas por los instrumentistas.

Tabla 8. Características específicas de los instrumentistas

	Instrumentistas presencial	Instrumentistas remoto	Instrumentistas total
N	5	10	15
Instrumento			
Bajo	1	0	1
Percusiones	0	2	2
Guitarra	1	1	2
Piano	0	3	3
Saxofón	1	0	1
Violín	2	3	5
Violonchelo	0	1	1
Edad de inicio	11(3.8)	10.4(3.9)	10.6 (3.7)
Años de formación musical	14.6(4)	18.6 (7.2)	17.2(6.75)
Práctica semanal	1-13 horas	1-18 horas	1-18 horas

Nota. La edad de inicio y años de práctica se expresan como promedio, seguido de la desviación estándar entre paréntesis.

8.2.1 Desempeño musical en los estudios experimentales

En la prueba musical los instrumentistas tuvieron en promedio mayor capacidad (9, $\sigma=0.88$), exactitud (0.88, $\sigma=0.02$) y puntajes de índice d' (1.85, $\sigma=0.1$) respecto a los no músicos (capacidad=4, $\sigma=0.28$; exactitud= 0.78, $\sigma=0.05$; $d'=0.67$, $\sigma=0.13$), tal como se muestra en la Figura 14. La diferencia entre ambos grupos fue estadísticamente significativa en ambos estudios (U de Mann-Whitney, $p<0.001$). Los puntajes d' en los instrumentistas indican que respondieron muy por encima del azar (menor o igual a cero), aunque se mantuvieron lejos de tener puntajes perfectos (cerca de 3). Destacan en esta prueba un sujeto sin formación musical que alcanzó capacidad de 13, así como cuatro sujetos sin formación musical cuyo puntaje d' superó el promedio de los músicos (1.85).

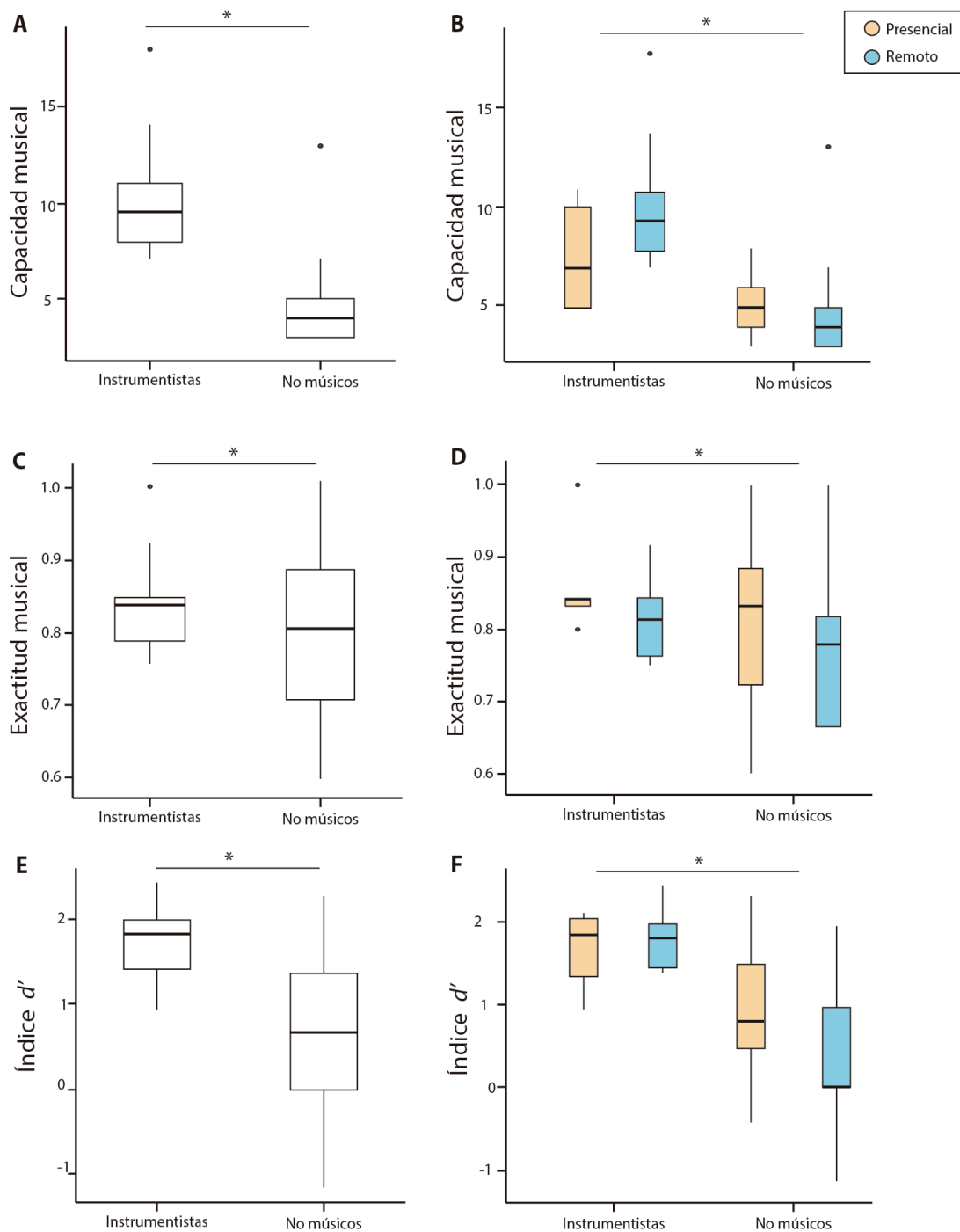


Figura 14. Capacidad, exactitud y sensibilidad d' musical en los estudios experimentales. **Se muestra la capacidad (A y B), exactitud (C y D) y el índice d' en la prueba musical (E y F), de acuerdo con la formación (A, C y E) y el tipo de estudio (B, D y F). Se distingue en naranja el estudio presencial y en azul el remoto. * $p < 0.01$.**

La formación musical resultó significativa para la capacidad musical (Kruskall-Wallis, $p < 0.001$) y el índice de sensibilidad d' (Kruskall-Wallis, $p < 0.001$), pero otras condiciones, como tipo de estudio o escolaridad, no resultaron significativas. Entre los instrumentistas se evaluó el papel de la experiencia, edad de inicio y horas de práctica reportadas, pero ninguna de ellas resultó tener un efecto estadísticamente significativo sobre el desempeño en la prueba musical (rho de Spearman, $p > 0.05$ en todos los casos).

8.2.2 Estrategias en la prueba musical

Las estrategias fueron clasificadas *a posteriori* como se explica en el método (sección 5.2.4). Entre ellas, las estrategias de codificación se refieren a la transformación del material sonoro en cualquier otra representación mental (*viz.* colores, movimientos, sílabas). La categoría musical abarca la mención de propiedades musicales como el contorno, intervalos o registro. El uso de estrategias exclusivamente musicales o en combinación con otras estrategias se agrupó en la categoría musical. Durante la clasificación de las estrategias seis sujetos mencionaron el término *patrones* que quedó definido como una categoría independiente (ver Tabla 9) y cuya relevancia se discute más adelante.

Tabla 9. Uso de estrategias auto reportadas en la prueba musical categorizadas *a posteriori*

	N	Basal	Repaso	Codificación	Patrones	Musical
Total	62	50.0%	12.9%	8.1%	9.7%	19.4%
Presencial	31	51.6%	19.4%	6.5%	9.7%	12.9%
Remoto	31	48.4%	6.5%	9.7%	9.7%	25.8%
Músicos total	15	13.3%	6.7%	13.3%	26.7%	40.0%
Músicos presencial	5	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%
Músicos remoto	10	10.0%	0.0%	10.0%	30.0%	50.0%
No músicos total	47	61.7%	14.9%	6.4%	4.3%	12.8%
No músicos presencial	26	57.7%	19.2%	3.8%	7.7%	11.5%
No músicos remoto	21	66.7%	9.5%	9.5%	0.0%	14.3%

Las estrategias más reportadas por los participantes sin formación musical fueron basal y repaso, sumando alrededor del 75%. En menor medida se reportó el uso de codificación, estrategias basadas en patrones y propiedades musicales. En la muestra total de músicos se observa un patrón inverso, donde las estrategias basadas en patrones y propiedades musicales representan más del 60% de los casos y el reporte de estrategias basal o repaso no excede al 20%.

Estrategias y desempeño en la prueba musical

Al estudiar la relación entre las estrategias reportadas y el desempeño musical se observa que, en los niveles de menor capacidad y de índice d' , las estrategias más reportadas son basal y repaso. A partir de la capacidad 9 se observa un uso prioritario de estrategias musicales, basadas en patrones y codificación (Figura 15). La única excepción en este rango es un individuo sin formación musical que reportó procesamiento basal y, sin embargo, alcanzó alta capacidad, exactitud y sensibilidad d' . La estrategia de patrones resultó significativamente diferente de la estrategia basal y de repaso tanto en términos de capacidad como de índice d' ($p < 0.02$ en todas las comparaciones; Kruskal-Wallis con comparaciones pareadas de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner).

8.2.3 Desempeño en la prueba verbal

La capacidad verbal mostró mayor varianza que la capacidad musical en ambos estudios y poblaciones (Figura 16). La capacidad mínima fue de 8 elementos y, a diferencia de la capacidad musical, se alcanzó 24, el máximo técnico de la prueba. No se encontraron diferencias entre estudios. La exactitud fue significativamente menor en instrumentistas (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$) y también tuvieron tendencia a menores puntajes d' (U de Mann-Whitney, $p = 0.1$). Esto podría deberse a que los instrumentistas reportaron significativamente menor frecuencia de lectura (U de Mann-Whitney, $p < 0.05$) y esta variable estuvo correlacionada positivamente con el índice d' verbal (rho de Spearman 0.27, $p < 0.05$).

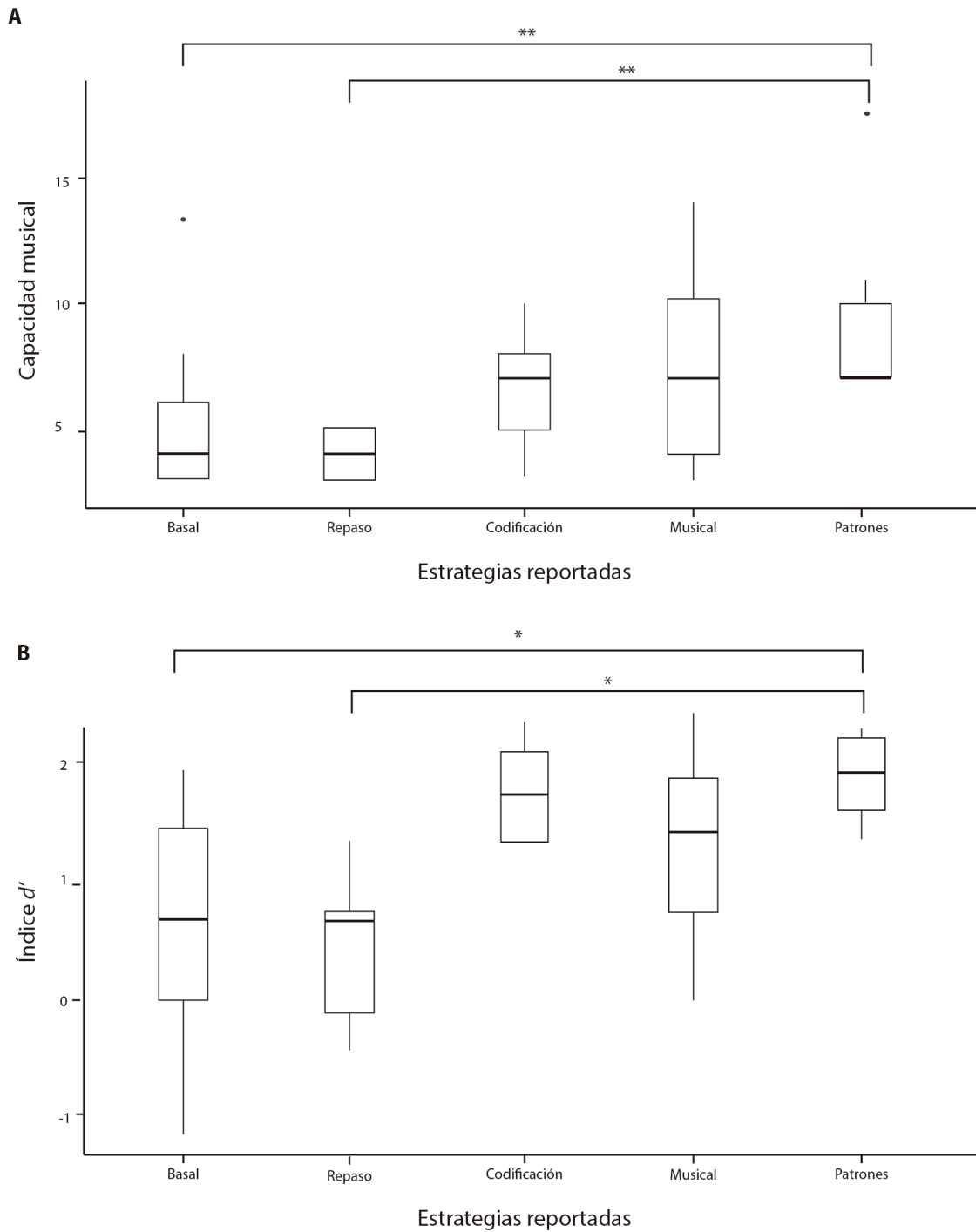


Figura 15. Uso de estrategias por capacidad y por puntaje d' musical. Se muestra la relación entre el uso de estrategias y la capacidad (A) y el índice de desempeño d' (B) musical, independientemente de la formación musical y el tipo de estudio. * $p < 0.05$; ** $p < 0.005$.

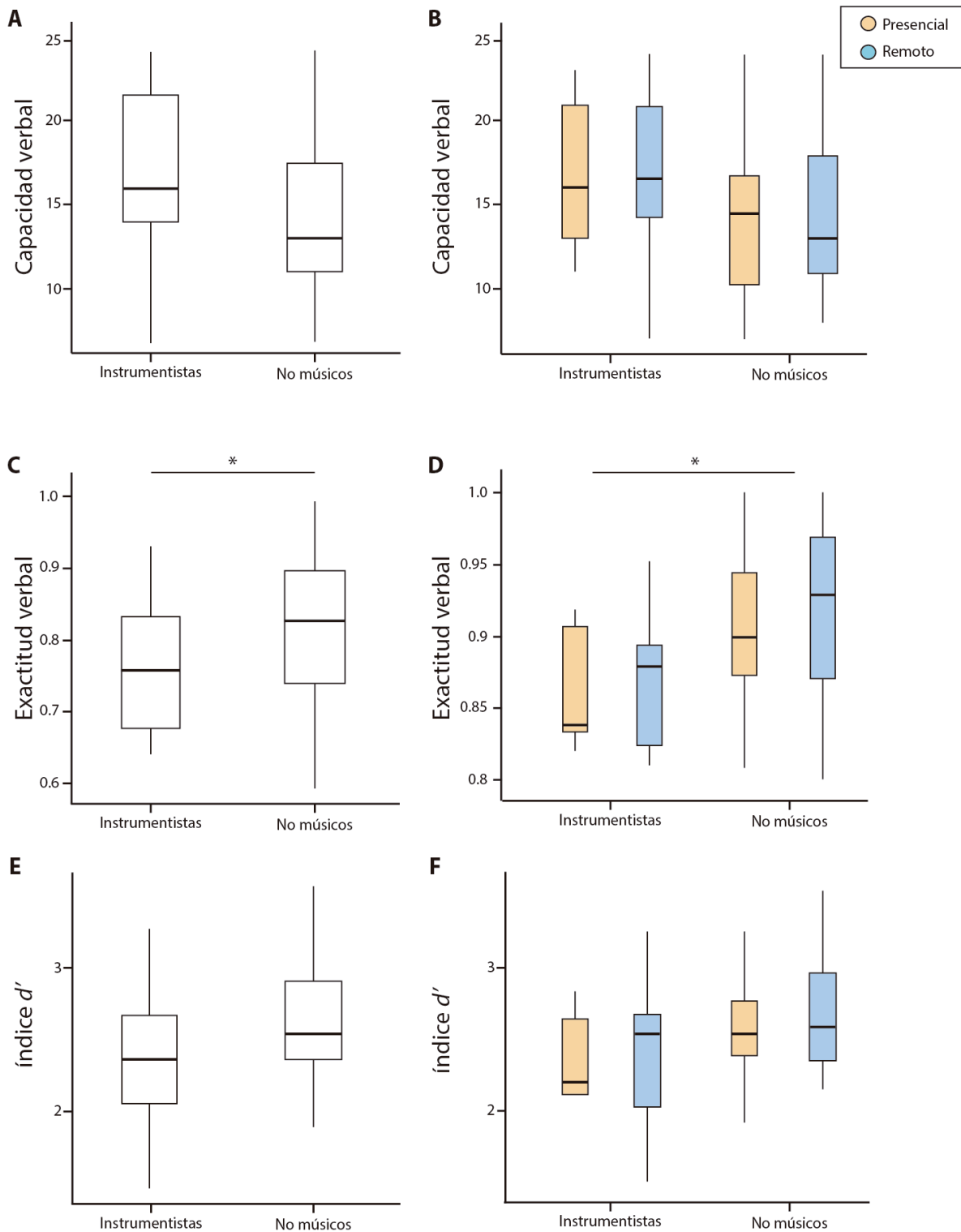


Figura 16. Capacidad, exactitud y sensibilidad d' verbal en los estudios experimentales. Se muestra la capacidad (A y B), exactitud (C y D) y puntaje d' (E y F) en la prueba verbal, de acuerdo con la formación (A, C y E) y el tipo de estudio (B, D y F). En los paneles B, D y F se distinguen los datos del estudio presencial en naranja y los del estudio remoto en azul. * $p < 0.02$.

8.2.4 Estrategias en la prueba verbal

Las estrategias verbales fueron categorizadas de igual forma que las estrategias musicales, partiendo de una lista de 10 estrategias. En la prueba verbal se registraron con frecuencia combinaciones o cambios de estrategias a lo largo de la prueba. 42 sujetos reportaron usar una única estrategia, 14 reportaron la combinación de dos estrategias y 6 reportaron la combinación de tres estrategias. Debido a la diversidad de combinaciones, se agrupó a los 20 sujetos bajo la categoría de uso combinado de estrategias. En la Tabla 10 se muestra el uso reportado para cada estudio y grupo. Dentro de las estrategias combinadas se mencionó el uso de codificación táctil (n=2) y de estrategias basadas en el inicio o terminación de las palabras (n=6). Estas estrategias sólo fueron mencionadas en combinación con otras y nunca como estrategias independientes. La estrategia más reportada en combinación fue la agrupación (n=13), seguida de repaso, asociación, partes y sonido (n=6 cada una) e imagen (n=5). No se encontraron diferencias de desempeño relacionadas con el número de estrategias empleadas por los participantes.

Tabla 10. Uso de estrategias auto reportadas en la prueba verbal categorizadas *a posteriori*

	Presencial (I)	Presencial (NM)	Presencial	Remoto (I)	Remoto (NM)	Remoto	Total
N	5	26	31	10	21	31	62
Agrupación	0%	8%	6%	20%	14%	16%	11%
Asociación	0%	8%	6%	0%	5%	3%	5%
Basal	0%	19%	16%	10%	19%	16%	16%
Fonológica	0%	8%	6%	20%	19%	19%	13%
Historias	0%	8%	6%	0%	10%	6%	6%
Visualización	0%	12%	10%	0%	0%	0%	5%
Repaso	20%	12%	13%	10%	10%	10%	11%
Combinadas	80%	27%	35%	40%	24%	29%	32%

Las estrategias independientes con mayor frecuencia fueron basal, fonológica, agrupación y repaso. Existen diferencias entre el uso en instrumentistas

y no músicos, principalmente porque los instrumentistas reportaron alto uso de estrategias combinadas y baja frecuencia de la estrategia basal.

En cuanto a la relación entre estrategias y capacidad en la prueba verbal, no se observó una distribución tan diferenciada como en el caso de la prueba musical (Figura 17, panel A). Las estrategias fonológica, repaso, combinaciones y la condición basal mostraron gran dispersión. La agrupación, asociación y visualización coincidieron con rangos intermedio-altos de capacidad verbal. La estrategia que mostró consistentemente capacidad menor al promedio fue la de historias, tanto en su condición independiente como en conjunto con otras estrategias.

La exactitud y el índice d' mostraron un patrón muy similar a la capacidad en términos de dispersión y rangos de valores de acuerdo a las estrategias. Destaca la baja dispersión de exactitud y de índice d' para las estrategias de asociación y visualización respecto a la dispersión en términos de capacidad para estas estrategias. No hubo diferencias significativas relacionadas con las estrategias verbales en relación con la capacidad, exactitud y sensibilidad d' .

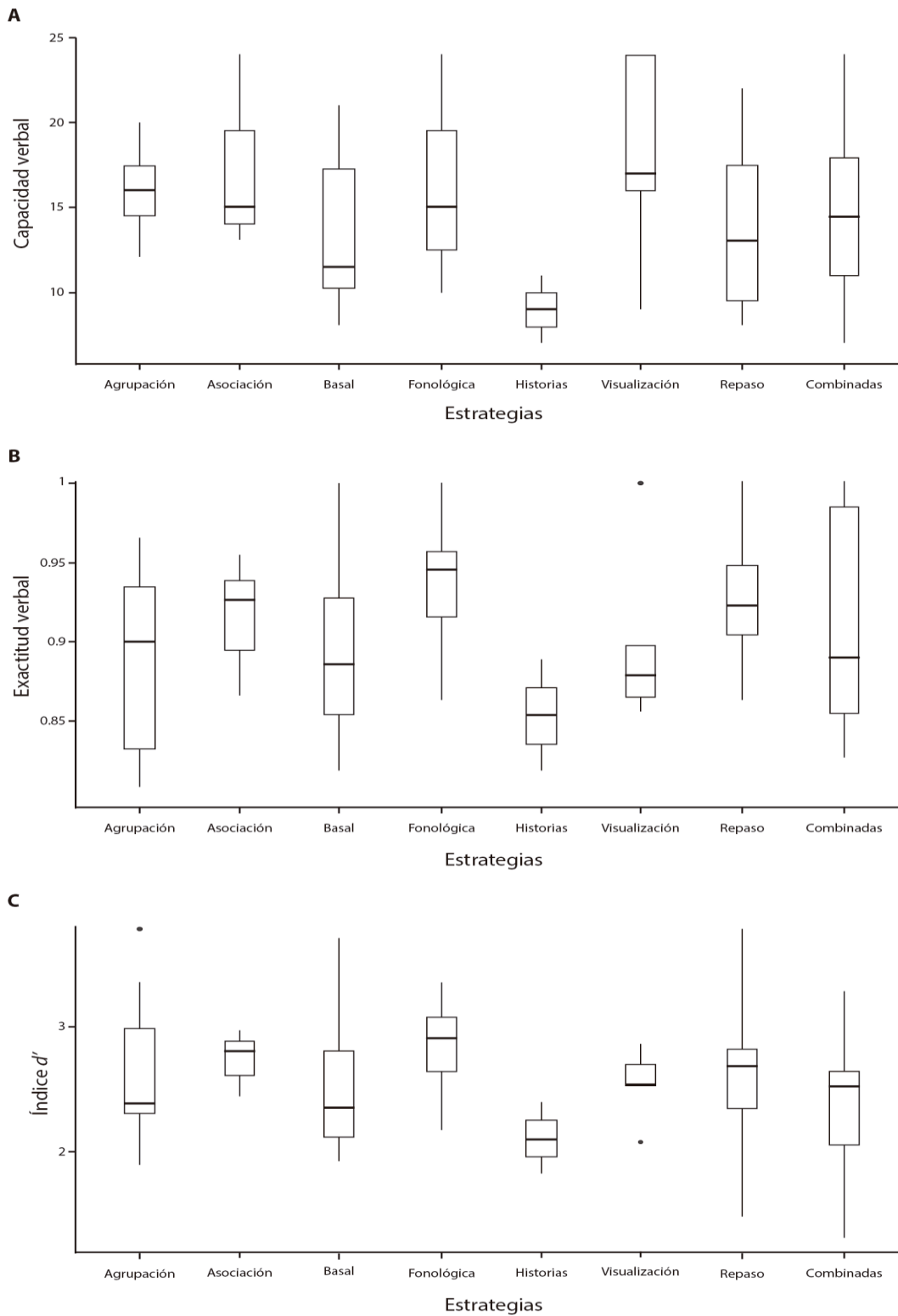


Figura 17. Capacidad, exactitud y sensibilidad d' verbal según las estrategias reportadas. Se muestra la relación entre capacidad (A) y exactitud (B) en la prueba verbal de acuerdo con las estrategias reportadas y categorizadas *a posteriori*.

Las diferencias entre ambos grupos y estímulos se pueden resumir mediante el índice de sensibilidad d' como se muestra en la Figura 18. El patrón coincide con el observado en la muestra piloto. El índice d' es mayor en instrumentistas que en no músicos en la prueba musical (Kruskal-Wallis, $p < 0.001$) y es mayor en la prueba verbal que en la musical para instrumentistas (Wilcoxon, $p < 0.01$) y no músicos (Wilcoxon, $p < 0.001$).

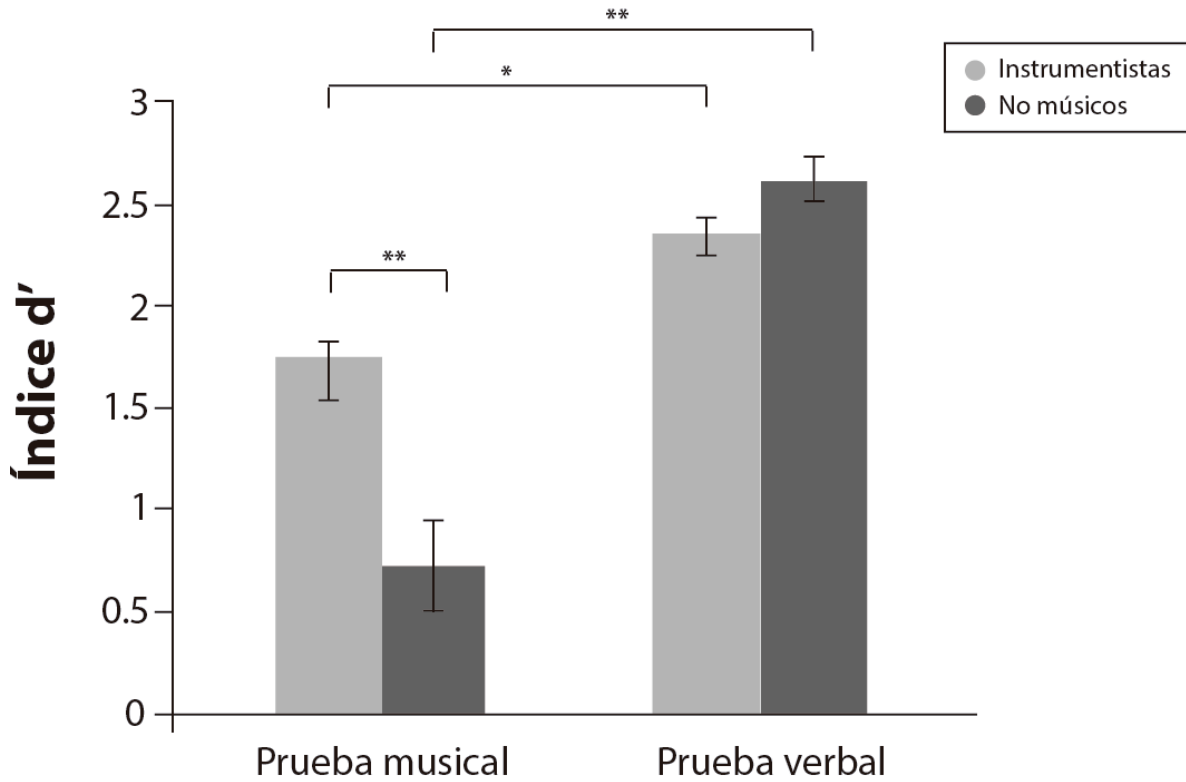


Figura 18. Índice de sensibilidad d' en las pruebas experimentales. * $p < 0.01$; ** $p < 0.001$

9. Discusión

9.1 Diseño e implementación de la prueba

El estudio de la memoria de corto plazo o memoria de trabajo supone el uso de pruebas que evidencien la capacidad de los individuos para retener cierta información de forma relevante para una tarea. Por otro lado, el estudio de la memoria musical representa retos adicionales debido a la dificultad para reproducir fielmente material desconocido o para emitir juicios con base en fundamentos de teoría musical. En este estudio se priorizó (1) que la prueba pudiera ser respondida por individuos con y sin formación musical sin necesidad de entrenamiento adicional y (2) que las unidades mínimas a retener tuvieran una complejidad y constitución cercana al material frecuentemente encontrado en la experiencia cotidiana.

Los participantes pudieron responder la prueba sin necesidad de entrenamiento adicional y de 5 a 10 ensayos de entrenamiento fueron suficientes para que el procedimiento quedara claro para todos los sujetos. La capacidad y el índice d' obtenidos con esta metodología son sensibles a la formación musical y al mismo tiempo permiten detectar individuos con alta retención musical sin formación musical (Figura 11 y 14). Las listas tenían una longitud mínima de 3 y máxima de 23. Estos mínimos y máximos fueron responsables de un efecto suelo en la capacidad musical ($n=14$) y de un efecto techo en la capacidad verbal ($n=7$).

La capacidad musical estuvo por lo general dentro de los niveles reportados en la literatura (3 a 10 elementos), pero, a diferencia de estudios previos, nuestras unidades constan de 3 notas agrupadas en lugar de notas aisladas (véase Williamson *et al.*, 2010; Benassi-Werke *et al.*, 2012; Schulze *et al.*, 2012). Lo anterior sugiere que, efectivamente, la constitución de UMS (la composición interválica y la agrupación rítmica isócrona) permitió su procesamiento como unidades de almacenamiento en lugar de las notas aisladas. Esto es congruente con la literatura en el estudio de la memoria de trabajo donde el límite de las unidades no coincide con la cantidad de información sino con la cantidad de paquetes de

información (Cowan, 2008), incluso a pesar del tamaño de dichos paquetes (*chunks*).

Características de los estímulos

Una de las premisas fundamentales del trabajo fue emplear unidades complejas en lugar de unidades mínimas aisladas. Los estímulos fueron diseñados de forma que, a pesar de ser una prueba donde se determina la ausencia o presencia de un estímulo, los sujetos fueran orillados a recordar los elementos exactos y donde responder por familiaridad fuera poco efectivo.

En la construcción de las UMS (véase Figura 8), características prominentes como el timbre, escala o duración de las notas no eran informativas sobre la ausencia o presencia del estímulo. Si bien el contorno melódico podría ser una base para agrupar los estímulos o una referencia para identificarlos, la ocurrencia de cada uno de los 4 contornos era equiprobable y no era información suficiente para responder correctamente. De esta manera, sería necesario recordar los grados o intervalos precisos para identificar como presente la UMS. Se evitó la similitud tonal (véase Williamson *et al.*, 2010) al descartar constituciones interválicas que tuvieran el mismo intervalo o grado en la misma posición (*p. ej.* dos estímulos que terminaran con la misma cadencia V-I).

En el caso de los estímulos verbales, la forma gramatical, número de sílabas o campo semántico no eran informativos de la ausencia o presencia del estímulo (véase Tabla 8). Variables como número, género y sílaba tónica también estuvieron equitativamente representados de forma que los sujetos debieran recordar si la palabra exacta había estado presente en la lista.

En cuanto a sesgos intrínsecos del material, la síntesis de los estímulos musicales con sonido de piano pudo favorecer a los pianistas sobre otros instrumentistas. Además se dejaron fuera los patrones rítmicos al presentar secuencias isócronas. En la prueba verbal algunos sujetos (n=5) reportaron que el timbre de los estímulos verbales no siempre fue percibido de la misma manera y que las características sonoras de algunas palabras las hizo más prominentes que

otras. Esto fue más notorio para individuos que se dedican cotidianamente al procesamiento de audio en su quehacer profesional ($n=2$). Como parte de la validación del material era necesario saber si había inconsistencias en los conjuntos semánticos o si alguna palabra atraía la atención significativamente más que las demás. La hipótesis fue que si alguna palabra no pertenecía al campo semántico al que fue asignada esta resultaría especialmente llamativa para la mayoría de los participantes. No hubo consistencia sobre las palabras que los participantes reportaron como llamativas y, en varios casos, se observó que las palabras conspicuas tenían que ver con el ejercicio profesional o contexto actual de los participantes. El campo semántico de salud resultó más llamativo para los participantes del estudio remoto que para los del estudio presencial.

9.2 Resultados cuantitativos

9.2.1 Capacidad, exactitud y sensibilidad d' musical

La capacidad musical en general estuvo en el rango de capacidad reportada por estudios previos en el ámbito musical (Benassi-Werke *et al.*, 2012; Wöllner & Halpern, 2016) y en el rango clásico de 7 ± 2 , con contadas excepciones. La exactitud obtenida en los estudios experimentales fue más alta que la reportada en otros estudios que emplearon paradigmas de reconocimiento de tonos (58% en no músicos y 72 % músicos; Schulze *et al.*, 2010). La exactitud alcanzada por los participantes, tanto en instrumentistas (0.75-1) como en no músicos (0.6-1), como en el 75-100% en músicos, refuerza la confianza en los datos obtenidos (Figura 14, panel B).

El índice de sensibilidad d' aportó una medida alternativa a la exactitud, que permite comparar el desempeño de los sujetos en este estudio con otros paradigmas que hayan usado una cuantificación similar. Este índice fue significativamente más alto en instrumentistas que en individuos sin formación musical y, al mismo tiempo, reporta que ambas poblaciones detectaron con mayor eficacia los estímulos verbales que los musicales (Figura 18).

9.2.2 Diferencias grupales y limitaciones en la prueba musical

Existieron tres factores de sesgo musical que limitaron el análisis sobre la varianza de capacidad musical en la muestra de instrumentistas: (1) el timbre de los UMS; (2) la representación inequitativa de instrumentos; y (3) la representación inequitativa de género. El primero es un sesgo propio del diseño experimental que pudo favorecer a los pianistas por encima de otros instrumentistas al tratarse del timbre de su instrumento principal. Lo anterior debido a que estudios de resonancia magnética funcional (fMRI) y electroencefalografía (EEG) han mostrado que la actividad cerebral de los instrumentistas es más sensible a estímulos que presenten el mismo timbre que su instrumento principal que a estímulos cuyo timbre no coincide con su instrumento (Shahin *et al.*, 2008; Pantev *et al.*, 2001). Los dos sesgos posteriores fueron producto de la muestra poblacional que respondió a la convocatoria y que estuvieron fuera del control de la investigadora.

Se analizó la relación entre desempeño y variables musicales como horas de estudio reportadas, edad de inicio y años de formación. Únicamente se encontró correlación entre la exactitud y la experiencia profesional. La relación entre las horas de práctica y la capacidad de memoria es más elusiva y, de acuerdo con los autores principales en la materia (Meinz & Hambrick, 2010; Ericsson, 2018), no sólo depende de las horas de práctica sino también del tipo de práctica que se realice. La descripción detallada de la práctica no estuvo contemplada en los cuestionarios de este estudio. Tampoco se encontraron relaciones entre el tipo de repertorio reportado y el desempeño en la prueba musical.

9.2.3 Individuos sin formación con alta capacidad musical

El índice de sensibilidad d' también resalta que, de 47 sujetos sin formación musical, sólo 4 tuvieron valores iguales o mayores al promedio en instrumentistas (1.85). Tres de ellos, que tuvieron capacidad musical de 7 con exactitud perfecta, reportaron estrategias musicales o de patrones. Únicamente el sujeto con capacidad musical de 13 y exactitud de 0.8 reportó la estrategia basal. Estos resultados podrían ameritar estudios posteriores que profundicen en la relación

entre esta prueba con otras tareas de memoria, atención y habilidades musicales. El potencial para detectar individuos con buena memoria musical, aun en ausencia de formación profesional, podría ser relevante para los campos de iniciación y pedagogía musical.

9.2.4 Capacidad y desempeño verbal

La capacidad verbal se encontró en un rango mucho más amplio, con mínima de 7 y el máximo alcanzó el límite técnico de la prueba (Figura 16). A pesar del extenso uso del paradigma de Sternberg, al momento desconocemos la existencia de estudios que hayan presentado listas de tal longitud. El mayor número de elementos retenidos en la prueba verbal puede deberse a la falta de mecanismos de interferencia que han sido descritos y diseñados en la literatura (véase Cowan, 2008). En este estudio no se incluyeron dichos mecanismos para evitar diferencias entre la prueba verbal y la musical. La alta capacidad en la prueba verbal respecto a la musical se puede deber a que aspectos del lenguaje son procesados automáticamente, mientras que el procesamiento de los estímulos musicales requiere de un análisis más reflexivo.

Por lo general, estudios previos reportan medias poblacionales y no valores individuales o rangos de valores. La exactitud y el índice d' observados en nuestros participantes ($90 \pm 5\%$ y 2.5 ± 0.4) de nuevo apoyan la validez de los datos obtenidos (Figura 16, paneles B y C). La exactitud en nuestro estudio fue mayor a la reportada con frecuencia en la literatura ($88 \pm 19\%$ en Morrison *et al.*, 2016; $84.49 \pm 2.09\%$ en Schulze *et al.*, 2011).

9.3 Estrategias auto-reportadas

El estudio analítico de la capacidad musical aspira a cuantificar la información que puede ser procesada por el sistema de memoria de trabajo sin el apoyo de sistemas adicionales, incluyendo procesamiento estratégico (Cowan, 2008). Sin embargo, se ha mostrado que algunos aspectos relacionados con la memoria de corto plazo son procesados de forma casi automática (Kowialiewski & Majerus, 2018) y que, a pesar de tener requerimientos e instrucciones determinadas para una prueba, éstas

no son relacionadas exclusivamente con un modo de procesamiento determinado (Morrison *et al.*, 2016). Por ello decidimos clasificar las estrategias reportadas por los sujetos y evaluar su relación con el rendimiento. A continuación se discuten las estrategias reportadas, comenzando con su frecuencia de uso en la prueba musical.

Las estrategias en la prueba musical se vieron relacionadas con la capacidad y, sobre todo, con el índice de sensibilidad d' (Figura 15). Los sujetos que reportaron la estrategia basal y repaso tuvieron el menor desempeño en la prueba musical. Estas estrategias no fueron reportadas en niveles de capacidad alta y, en su lugar, se implementaron estrategias musicales, de codificación y basadas en patrones. El análisis por estrategias distinguió que los músicos que emplearon estrategias poco eficientes tuvieron un desempeño menor al de los músicos que usaron estrategias más eficientes.

9.3.1 Procesamiento basal

Fueron clasificados en la categoría basal los reportes que mencionaban como estrategias “poner atención”, “concentrarse”, “cerrar los ojos” y “mirar a un punto fijo” como una extensión de la categoría de “concentrarse” utilizada por Morrison y colaboradores (2016). Los autores se refirieron a este tipo de estrategias como una falta de estrategia y simplemente un procesamiento basal que no añade medios de procesamiento. También se clasificaron como basal los reportes de estrategias que resultaban en una paráfrasis de la tarea a realizar (*p.ej.* “prestar atención a la secuencia y compararla con el segmento después de la pausa”). Dicho estado basal podría coincidir con lo que Cowan denomina como procesamiento sin sistemas de apoyo o adicionales. Si únicamente se extraen los datos de los individuos con procesamiento basal, se encuentran capacidades en el rango de 3 a 7, congruente con otros reportes de memoria de corto plazo verbal y musical (Williamson *et al.*, 2010; Wöllner & Halpern, 2016).

9.3.2 Repaso mental

La segunda estrategia más reportada entre los sujetos sin formación musical para la prueba musical fue la estrategia de repaso o repetir mentalmente los estímulos

sonoros. Esta estrategia también es la más reportada en paradigmas similares al de Sternberg (Morrison *et al.*, 2016) y es muy cercana al proceso de escaneo mental que Sternberg propuso como mecanismo de su tarea (véase Sternberg 1966; 1969). Sin embargo, esta estrategia no resultó muy eficaz. Al respecto ofrecemos dos posibles explicaciones.

La primera es que la repetición mental de los estímulos sonoros al momento de responder requiere de un registro mental confiable. La habilidad para producir representaciones mentales¹⁹ vívidas y manipulables varía entre sujetos (Halpern, 2015). Por lo tanto, si los sujetos que optaron por usar una estrategia de repaso no cuentan con una imaginación musical muy exacta, este registro podría repercutir negativamente en su juicio. La segunda es que la prueba de Sternberg requiere que el sujeto contraste los estímulos y emita un juicio sobre su identidad. Pudiera ser que algunos sujetos tuvieran, de hecho, un registro fiel a la secuencia representada y que pudieran acceder mentalmente a él, pero que no pudieran derivar un juicio certero de identidad. Pruebas de amplitud de memoria como las empleadas por Benassi-Werke y colaboradores (2012) se verían beneficiadas por esta estrategia. Por esa razón, se reitera que la prueba modificada de Sternberg desarrollada en este trabajo debería aplicarse de forma complementaria a otras pruebas musicales que varíen operacionalmente, en aras de tener una medición compleja como se realiza comúnmente con la memoria de trabajo verbal (Engle *et al.*, 1999; Colom *et al.*, 2005).

9.3.3 La estrategia basada en patrones

Las categorías con las que se clasificaron las estrategias fueron tomadas de estudios anteriores (Morrison *et al.*, 2016; Zatorre & Becket, 1989; Williamson *et al.*, 2010). Sin embargo, durante la clasificación emergieron reportes similares entre distintos sujetos que no necesariamente coincidían con las categorías previamente definidas. Este fue el caso de la mención de “patrones” exclusivamente en la prueba musical,

¹⁹ Representar mentalmente un percepto cuando este está ausente coincide con la definición de imaginación (*imagery* en inglés). Sin embargo, el repaso no es sinónimo de imaginación, ya que estos difieren en sus sustratos cerebrales y metas (Rudner *et al.*, 2005). El repaso tiene como objetivo mantener accesible información mientras que la imaginación puede darse con otros objetivos o incluso de manera espontánea e involuntaria (Halpern, 2015).

tanto por instrumentistas como por individuos sin formación musical. El reporte de esta estrategia estuvo significativamente correlacionado con alto desempeño en la prueba musical tanto en instrumentistas como en participantes sin formación musical. Se requeriría de un cuestionario subsecuente para conocer si esta estrategia era efectivamente equivalente entre sujetos y si se trata de un concepto con identidad propia, o si fue empleado como sinónimo de contornos melódicos u otros criterios de agrupación. Otra posible correspondencia serían las plantillas propuestas por Gobet y Simon (1996) como estructuras predefinidas con las que un estímulo coincide o no.

9.3.4 Estrategias en la prueba verbal

El uso de estrategias no tuvo una influencia clara sobre la capacidad, exactitud o sensibilidad d' verbal a diferencia de la prueba musical (Figura 17). Un tercio de los participantes reportó usar combinaciones de dos o tres estrategias, entre los que el común denominador fue la agrupación, asociación y repaso (Tabla 10). El número de estrategias no resultó relacionado con el desempeño en la prueba verbal.

La estrategia de historias o enlaces mostró desempeño igual o menor a 11, siendo la estrategia asociada con menor capacidad. Lo anterior es congruente con estudios previos donde estrategias complejas se ven perjudicadas por tiempos de presentación de estímulos rápidos (1 estímulo por segundo; véase Campoy *et al.*, 2015), como es el caso de esta prueba. A estas estrategias complejas perjudicadas por la velocidad de la prueba se podrían unir la visualización y asociación que no tuvieron exactitud superior a 0.95 ni índice d' igual o mayor a 3, a diferencia de las otras estrategias (Figura 17, paneles B y C).

Preguntar las estrategias de los sujetos y evitar los mecanismos de interferencia nos permitió determinar que, tanto en la prueba musical como en la prueba verbal, las aproximaciones que los sujetos emplean para resolver las tareas son diversas. En futuros estudios habría que tomar en cuenta que los mecanismos de supresión afectarán de manera distinta a diferentes participantes y tendrán interacción con factores propios de la prueba (Campoy & Baddeley, 2008).

9.4 Debates teóricos

9.4.1 Memoria general o de dominio específico

Partiendo de la perspectiva de memoria de dominio específico se han propuesto estructuras especializadas en el procesamiento de material musical (Berz, 1995) y semántico (Ardila, 2003). Nuestro estudio aporta que, cuando se mantienen constantes variables acústicas como la duración, el volumen y la pausa entre estímulos, los sujetos son capaces de determinar la presencia o ausencia de un estímulo dentro de listas más numerosas cuando los estímulos son verbales, en contraste con lo que ocurre cuando los estímulos presentados son musicales. Esto es, que el límite de retención no es de orden temporal, sino que diversos factores (familiaridad, estrategias) intervienen en la complejidad de la tarea.

Nuestro estudio carece de información sobre la actividad cerebral o la interferencia entre estímulos y, por lo tanto, no aporta información sobre si ambos estímulos son procesados por el mismo sistema o por módulos especializados. Sin embargo, los resultados implican que los estímulos auditivos interactúan de forma diferente con el sistema de memoria o detección de señales, debido a las características intrínsecas que los distinguen.

9.4.2 Memoria experta y elusión de límites

Los resultados de este estudio refuerzan la afirmación de que los expertos en un campo tienen mayor capacidad de memoria para material de su campo de experiencia y que ésta, por lo general, se encuentra en el rango de 3 a 8 elementos. La teoría de elusión de límites, derivada del campo de estudio de los expertos, propone que la capacidad podría superar el rango canónico. En nuestro estudio, 9 individuos (uno de ellos sin formación musical) superaron los 8 elementos en la prueba musical. Los referidos instrumentistas reportaron utilizar estrategias basadas en patrones, características musicales y un caso reportó estrategias de codificación. Para afirmar que el límite de capacidad de memoria fue superado sería necesario aplicar mecanismos de supresión de estrategias equivalentes a los

usados en el estudio de la memoria verbal o en estudios como los realizados por Zatorre y Becket (1989) y Wöllner y Halpern (2016).

Por otro lado, el caso del participante sin conocimientos o estrategias musicales apunta a una cuestión de variabilidad entre individuos y a una alta capacidad ejecutiva. Wöllner y Halpern (2016) reportaron que los individuos con alta capacidad de memoria también tenían mejor control de la atención y varios estudios han mostrado correlación entre la memoria de trabajo/corto plazo y algunas medidas de inteligencia (Engle, 2002; Cowan, 2008; Chuderski *et al.*, 2012). Una limitante de nuestro estudio fue la falta de medidas de inteligencia u otros procesos ejecutivos. Por lo tanto, la asociación entre la capacidad observada y otras funciones ejecutivas de nuestros participantes permanece como una hipótesis, que sería congruente con el hecho de que la capacidad de memoria general es más relevante en novatos que expertos al realizar tareas especializadas (Hambrick et al, 2019).

10. Conclusiones y perspectivas

Conclusiones

La prueba modificada de Sternberg con estímulos musicales desarrollada en esta investigación permitió responder satisfactoriamente la primera pregunta de investigación. Es decir, medir la capacidad de memoria musical y verbal en instrumentistas profesionales y participantes sin formación musical. Esta prueba (instalable en una amplia gama de equipos), así como el banco de estímulos generados, representan una aportación metodológica al campo que podría facilitar y enriquecer futuros proyectos de investigación.

El diseño de esta prueba tuvo dos pilares fundamentales: la literatura previa sobre percepción y memoria de los estímulos verbales y musicales, y las observaciones realizadas en nuestros estudios piloto. De la primera se tomó que los estímulos de cada lista fueran equiparados lo más posible en sus características fundamentales, es decir, duración, timbre, contexto (tonalidad y campo semántico), unidades constitutivas (3 notas y 3 sílabas) y que otras características fueran equiprobables. Esto significó contorno melódico en el caso musical y en el caso verbal número, género y sílaba tónica. Además de evitar los efectos de primacía y recencia, al excluir la posibilidad de que los estímulos prueba fueran el primero o el último de la lista. De los estudios piloto se tomó: que los estímulos fueran separados por pausas en las listas y que estas tuvieran un contexto (tonal y semántico, respectivamente), que el criterio para pasar de nivel o terminar la prueba fuera de dos aciertos o errores respectivamente en lugar de tres y que la prueba musical siempre sería más corta que la verbal. Además en estos pilotos se validó la duración de los estímulos musicales y las pausas que los separaron.

En congruencia con las hipótesis iniciales, (H1) los instrumentistas mostraron mejor rendimiento en la prueba musical que los no músicos en términos de capacidad y de detección de señales (índice d'). (H2) Esto no se repitió en la prueba verbal, confirmando que la ventaja en capacidad es específica para el dominio de experiencia. Los resultados son afines a la teoría de sistemas especializados de procesamiento como el lazo tonal o a la optimización de procesos como lo plantean diversas teorías del campo de estudio de los expertos.

Nuestra tercera hipótesis de investigación también se cumplió puesto que la capacidad promedio observada en esta prueba (6 UMS) corresponde a 18 tonos y constituye una mayor cantidad de información que la reportada en estudios previos, en tanto que ésta se encuentra organizada en unidades de mayor complejidad estructural. No interpretamos estos resultados como un aumento en la capacidad de memoria o una elusión de límites, sino como un sustento de que las UMS fueron las unidades cognitivas de la prueba y no las notas o intervalos individuales.

En cuanto a la segunda pregunta de investigación; La categorización *a posteriori* de las estrategias reportadas permitió identificar estrategias asociadas al rendimiento en la prueba musical. Concretamente, las estrategias basadas en patrones y características musicales confirieron mayor capacidad y sensibilidad d' musical que la estrategia basal y el repaso. Por el contrario, ninguna estrategia verbal estuvo relacionada con el desempeño en dicha prueba.

El papel diferencial de las estrategias sobre el desempeño en las pruebas se suma a múltiples diferencias encontradas entre el desempeño en las pruebas verbal y musical de nuestro estudio. La capacidad, exactitud y sensibilidad d' fue mayor en la prueba verbal en ambos grupos. Esto se puede deber a que la demanda cognitiva que presenta el procesamiento del material verbal sea menor al del material musical, ya que hay mayor familiaridad, incluso en los instrumentistas y coincide con lo reportado previamente en la literatura. El siguiente nivel de explicación tiene que ver con los modelos teóricos y neurobiológicos que explican la memoria para ambos estímulos. Una posibilidad es que ambos sean procesados por distintos componentes de un sistema multimodular, esto es, el lazo fonológico y el lazo tonal. La otra alternativa es que ambos estímulos interactúan de forma diferencial con los sistemas de memoria de acuerdo a las diferencias perceptuales y estructurales de ambos estímulos. A falta de registros que señalen los sustratos neurobiológicos de cada tarea, en este trabajo nos limitamos a suscribir la segunda afirmación.

Finalmente, el hallazgo de un número reducido de individuos sin formación musical pero con alto desempeño en dicha prueba enfatiza la valía de la prueba. A falta de conocimientos musicales su participación en otros paradigmas como

transcribir a pentagrama, cantar con precisión o enumerar los intervalos, hubiera sido complicada o incluso inviable. Estos resultados también reiteran que, aunque la experiencia y estrategias tienen gran influencia sobre la capacidad de memoria, persisten factores de variabilidad individual aún por definir.

En suma, los resultados apuntan a que aún los estímulos sonoros equiparados en sus propiedades auditivas (duración, intensidad) son retenidos de acuerdo a sus características de dominio específico, en este caso lingüísticas y musicales. Las diferencias en la retención de UMS se explican en buena medida por la experiencia y el procesamiento estratégico. La prueba modificada de Sternberg musical es una herramienta relevante para el estudio de la memoria de corto plazo gracias a su alta compatibilidad con distintas poblaciones, su potencial de distribución y al balance entre control y riqueza informativa de los estímulos utilizados.

Perspectivas

Cognitivas

Este estudio presenta una primera aproximación al uso de unidades musicales complejas en la medición de la memoria musical. Sería de interés realizar pruebas más exhaustivas que presentaran un mayor número de ensayos por nivel para confirmar que la capacidad cuantificada en este trabajo es consistente a nivel individual. Adicionalmente, se podrían diseñar paradigmas de mayor complejidad variando la longitud de las listas de un ensayo a otro, de forma similar al paradigma de *running span*, de manera que la capacidad fuera calculada por un conjunto de pruebas y no por una medida única.

Neurofisiológicas

Como se mencionó en la sección metodológica, el planteamiento original de esta investigación incluía el registro de EEG durante la aplicación de las pruebas de memoria musical y verbal, que tuvo que omitirse por la contingencia sanitaria que provocó el virus SARS-CoV2. Sin duda sería de interés en estudios posteriores llevar a cabo dicho registro, tomando como referencia los resultados conductuales

de la presente investigación. Por ejemplo, hubiera sido de interés comparar la actividad cerebral entre aquellos sujetos con alta capacidad musical y aquellos con menor capacidad musical. También hubiera sido de interés comparar la activación cerebral en un mismo sujeto al responder la prueba verbal y musical, sobre todo en aquellos sujetos que tuvieron alta exactitud (0.9 o mayor) en ambas pruebas.

11. Referencias

- Aben, B., Stapert, S., & Blokland, A. (2012). About the distinction between working memory and short-term memory. *Frontiers in psychology*, 3, 301.
- Ardila, A., Rosselli, M., Ostrosky-Solís, F., Marcos, J., Granda, G., & Soto, M. (2000). Syntactic comprehension, verbal memory, and calculation abilities in Spanish-English bilinguals. *Applied Neuropsychology*, 7(1), 3-16.
- Ardila, A. (2003). Language representation and working memory with bilinguals. *Journal of communication disorders*, 36(3), 233-240.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. *Psychology of learning and motivation*, 2(4), 89-195.
- Baddeley, A., & Hitch, G. J. (1974) in *Recent Advances in Learning and Motivation* (ed. Bower, G. A.) 47-89
- Baddeley, A. (2003a). Working memory: looking back and looking forward. *Nature reviews neuroscience*, 4(10), 829.
- Baddeley, A. (2003b). Working memory and language: An overview. *Journal of communication disorders*, 36(3), 189-208.
- Baddeley, A. D. (2004). The psychology of memory. *The essential handbook of memory disorders for clinicians*, 1-13.
- Báez-Ávila, JCF (2015) Análisis comparativo de la actividad cerebral durante el procesamiento pasivo de patrones rítmicos regulares e irregulares (Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México). Recuperado de: http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/AIF1S798EP3MRTNRHQ8SJFJ3J6H6FFCQFL137LUJ VBL3DRDGJ-07229?func=full-set-set&set_number=008960&set_entry=000001&format=999.
- Bellezza, F. S. (1981). Mnemonic devices: Classification, characteristics, and criteria. *Review of Educational Research*, 51(2), 247-275.
- Bellezza, F. S. (1987). Mnemonic devices and memory schemas. In *Imagery and related mnemonic processes* (pp. 34-55). Springer, New York, NY.
- Benassi-Werke, M. E., Queiroz, M., Araújo, R. S., Bueno, O. F., & Oliveira, M. G. M. (2012). Musicians' working memory for tones, words, and pseudowords. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(6), 1161-1171.
- Berz, W. L. (1995). Working memory in music: A theoretical model. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 12(3), 353-364.
- Bower, G. H. (1970). Organizational factors in memory. *Cognitive psychology*, 1(1), 18-46.
- Bower, G. H., & Reitman, J. S. (1972). Mnemonic elaboration in multilist learning. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 11(4), 478-485.
- 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.
- Campoy, G., & Baddeley, A. (2008). Phonological and semantic strategies in immediate serial recall. *Memory*, 16(4), 329-340.
- Campoy, G., Castellà, J., Provencio, V., Hitch, G. J., & Baddeley, A. D. (2015). Automatic semantic encoding in verbal short-term memory: Evidence from the concreteness effect. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 68(4), 759-778.
- Chaffin, R & Logan, T. (2006) Practicing perfection: how soloists prepare for performance. *Advances in Cognitive Psychology*. 2:113-130
- Deutsch, D. (1970). Tones and numbers: Specificity of interference in immediate memory. *Science*, 168(3939), 1604-1605.
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973). The mind's eye in chess. In *Visual information processing* (pp. 215-281). Academic Press.
- Chase, W.G. and Ericsson, K.A. (1982) Skill and working memory. *Psychol. Learn. Motiv.* 16, 1-58
- Chincotta, D., Hyönä, J., & Underwood, G. (1997). Eye fixations, speech rate and bilingual digit span: Numeral reading indexes fluency not word length. *Acta Psychologica*, 97(3), 253-275.
- Chuderski, A., Taraday, M., Necka, E., & Smoleń, T. (2012). Storage capacity explains fluid intelligence but executive control does not. *Intelligence*, 40(3), 278-295.

- Cohen, B. H. (1966). Some-or-none characteristics of coding behavior. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 5(2), 182-187.
- Colom, R., Abad, F. J., Rebollo, I., & Shih, P. C. (2005). Memory span and general intelligence: A latent-variable approach. *Intelligence*, 33(6), 623-642.
- Corbin, L., & Marquer, J. (2013). Is Sternberg's memory scanning task really a short-term memory task?. *Swiss Journal of Psychology*.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental
- Conway, N. (2005). Working memory capacity: Essays in cognitive psychology.
- Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory?. *Progress in brain research*, 169, 323-338.
- Cowan, N. (2010). The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why?. *Current directions in psychological science*, 19(1), 51-57.
- Cowan, N., Morey, C. C., & AuBuchon, A. M. (2010). New insights into an old problem: distinguishing storage from processing in the development of working memory. In *Cognitive Development and Working Memory* (pp. 151-164). Psychology Press.
- Da Silva, H., & Signoret, A. (2005). *Temas sobre la adquisición de una segunda lengua*. México: Trillas.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 19(4), 450-466.
- Deutsch, D. (1970). Tones and numbers: Specificity of interference in immediate memory. *Science*, 168(3939), 1604-1605.
- Deutsch, D. (1972). Effect of repetition of standard and of comparison tones on recognition memory for pitch. *Journal of Experimental Psychology*, 93(1), 156.
- Ding, Y., Gray, K., Forrence, A., Wang, X., & Huang, J. (2018). A behavioral study on tonal working memory in musicians and non-musicians. *PloS one*, 13(8), e0201765.
- Dowling, W. J. (1973). Rhythmic groups and subjective chunks in memory for melodies. *Perception & Psychophysics*, 14(1), 37-40.
- Dowling, W. J. (1978). Scale and contour: Two components of a theory of memory for melodies. *Psychological review*, 85(4), 341.
- Dowling, W. J. (1994). Melodic contour in hearing and remembering melodies. In R. Aiello & J. Sloboda (Eds.), *Musical perceptions* (pp. 173-189). New York, NY: Oxford University Press.
- Earles, J. L., & Kersten, A. W. (2000). Adult age differences in memory for verbs and nouns. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 7(2), 130-139.
- Ellis, N. (1992). Linguistic relativity revisited: The bilingual word-length effect in working memory during counting, remembering numbers, and mental calculation. In *Advances in psychology* (Vol. 83, pp. 137-155). North-Holland.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & 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.
- Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current directions in psychological science*, 11(1), 19-23.
- Ericsson, K. A., Chase, W. G., & Faloon, S. (1980). Acquisition of a memory skill. *Science*, 208(4448), 1181-1182.
- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological review*, 102(2), 211.
- Ericsson, K. A. (2003). Exceptional memorizers: Made, not born. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(6), 233-235.
- Ericsson, K. A., Cheng, X., Pan, Y., Ku, Y., Ge, Y., & Hu, Y. (2017). Memory skills mediating superior memory in a world-class memorist. *Memory*, 25(9), 1294-1302.
- Ericsson, K. (2018). Superior Working Memory in Experts. In K. Ericsson, R. Hoffman, A. Kozbelt, & A. Williams (Eds.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (Cambridge Handbooks in Psychology, pp. 696-713). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781316480748.036
- Fujioka, T., Trainor, L. J., Ross, B., Kakigi, R., & Pantev, C. (2004). Musical training enhances automatic encoding of melodic contour and interval structure. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(6), 1010-1021.

- Gobet, F., & Simon, H. A. (1996). Templates in chess memory: A mechanism for recalling several boards. *Cognitive psychology*, 31(1), 1-40.
- Golob, E. J., & Starr, A. (2000). Age-related qualitative differences in auditory cortical responses during short-term memory. *Clinical Neurophysiology*, 111(12), 2234-2244.
- Gorman, A. M. (1961). Recognition memory for nouns as a function of abstractness and frequency. *Journal of experimental psychology*, 61(1), 23.
- Guttentag, R. E. (1984). The mental effort requirement of cumulative rehearsal: A developmental study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 37(1), 92-106.
- Haatveit, B. C., Sundet, K., Hugdahl, K., Ueland, T., Melle, I., & Andreassen, O. A. (2010). The validity of d prime as a working memory index: results from the "Bergen n-back task". *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 32(8), 871-880.
- Halpern, A. R. (1989). Memory for the absolute pitch of familiar songs. *Memory & Cognition*, 17(5), 572-581.
- Hambrick, D. Z., & Meinz, E. J. (2011). Limits on the predictive power of domain-specific experience and knowledge in skilled performance. *Current Directions in Psychological Science*, 20(5), 275-279.
- Hambrick, D. Z., Campitelli, G., & Macnamara, B. N. (2018). Introduction: A brief history of the science of expertise and overview of the book. Routledge as part of Taylor & Francis.
- Hambrick, D. Z., Burgoyne, A. P., & Oswald, F. L. (2019). Domain-general models of expertise: The role of cognitive ability. P. Ward, J. Maarten Schraagen, J. Gore, & E. Roth (Eds.), *The Oxford Handbook of Expertise*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198795872.013.3>.
- Han, S. E., Sundararajan, J., Bowling, D. L., Lake, J., & Purves, D. (2011). Co-variation of tonality in the music and speech of different cultures. *PLoS One*, 6(5), e20160.
- Harvey Jr, L. O. (2014). *Detection theory: sensory and decision processes*. University of Colorado, Boulder.
- Jerde, T.A., S.K. Childs, S.T. Handy, et al. 2011. Dissociable systems of working memory for rhythm and melody. *Neuroimage* 57: 1572–1579.
- Kowialiewski, B., & Majerus, S. (2018). The non-strategic nature of linguistic long-term memory effects in verbal short-term memory. *Journal of Memory and Language*, 101, 64-83.
- Krumhansl, C.L., & Toiviainen, P. (2003) Tonal Cognition. Chapter 7 in *The cognitive neuroscience of music*. Peretz, I., & Zatorre, R. J. (Eds.). Oxford. 95-108.
- Levitin, D. J. (1994). Absolute memory for musical pitch: Evidence from the production of learned melodies. *Perception & Psychophysics*, 56(4), 414-423.
- Li, D., Christ, S. E., & Cowan, N. (2014). Domain-general and domain-specific functional networks in working memory. *Neuroimage*, 102, 646-656.
- Light, L. L., & Carter-Sobell, L. (1970). Effects of changed semantic context on recognition memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 9(1), 1-11.
- Logie, R. H., Belletier, C., & Doherty, J. M. (2020). Integrating theories of working memory. Capítulo 14 en *Working Memory; the state of the Science*. Editado por Logie, R. H., Camos, V. & Cowan, N. Oxford University Press.
- Massaro, D. W., Kallman, H. J., & Kelly, J. L. (1980). The role of tone height, melodic contour, and tone chroma in melody recognition. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6(1), 77.
- Meinz EJ & Hambrick DX (2010) "Deliberate Practice Is Necessary but Not Sufficient to Explain Individual Differences in Piano Sight-Reading Skill: The Role of Working Memory Capacity". *Psychological Science* 2010 21: 914.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2), 81.
- Miller, J., & Cuddy, L. L. (1972). Tonality as a cue for melody recognition. *Experimental Report* 72, 1.
- Morra, S. (2000). A new model of verbal short-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 75(3), 191-227.
- Morrison, A. B., Rosenbaum, G. M., Fair, D., & Chein, J. M. (2016). Variation in strategy use across measures of verbal working memory. *Memory & cognition*, 44(6), 922-936.
- Pantev, C., Roberts, L. E., Schulz, M., Engelien, A., & Ross, B. (2001). Timbre-specific enhancement of auditory cortical representations in musicians. *Neuroreport*, 12(1), 169-174.

- Papagno, C., & Vallar, G. (1992). Phonological short-term memory and the learning of novel words: The effect of phonological similarity and item length. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 44(1), 47-67.
- Patel, A. D., Peretz, I., Tramo, M., & Labreque, R. (1998). Processing prosodic and musical patterns: A neuropsychological investigation. *Brain and language*, 61(1), 123-144.
- Patel, A. D., Iversen, J. R., & Rosenberg, J. C. (2006). Comparing the rhythm and melody of speech and music: The case of British English and French. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 119(5), 3034-3047.
- Peretz, I., & Coltheart, M. (2003). Modularity of music processing. *Nature neuroscience*, 6(7), 688.
- Potter, M. C. (1976). Short-term conceptual memory for pictures. *Journal of experimental psychology: human learning and memory*, 2(5), 509.
- Purves, D. (2017). *Music as biology*. Harvard University Press.
- Rinne, J. O., Tommola, J., Laine, M., Krause, B. J., Schmidt, D., Kaasinen, V., ... & Sunnari, M. (2000). The translating brain: cerebral activation patterns during simultaneous interpreting. *Neuroscience letters*, 294(2), 85-88.
- Roederer, J. G. (2008). *The physics and psychophysics of music: An introduction*. Springer Science & Business Media.
- Rudner, M., Rönnerberg, J., & Hugdahl, K. (2005). Reversing spoken items—mind twisting not tongue twisting. *Brain and language*, 92(1), 78-90.
- Schaefer, R. S., Desain, P., & Suppes, P. (2009). Structural decomposition of EEG signatures of melodic processing. *Biological psychology*, 82(3), 253-259.
- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., Staiger, J. F., & Steinmetz, H. (1995). Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia*, 33(8), 1047-1055.
- Schlaug, G., Jancke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, 267(5198), 699-701.
- Schulze K, Mueller K, Koelsch S. (2010) Neural correlates of strategy use during auditory working memory in musicians and non-musicians. *European Journal of Neuroscience*. 33:189–196.
- Schulze, K., Zysset, S., Mueller, K., Friederici, A. D., & Koelsch, S. (2011a). Neuroarchitecture of verbal and tonal working memory in nonmusicians and musicians. *Human brain mapping*, 32(5), 771-783.
- Schulze, K., Jay Dowling, W., & Tillmann, B. (2011b). Working memory for tonal and atonal sequences during a forward and a backward recognition task. *Music Perception*, 29(3), 255-267.
- Schulze, K., & Koelsch, S. (2012). Working memory for speech and music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252(1), 229-236.
- Shahin, A. J., Roberts, L. E., Chau, W., Trainor, L. J., & Miller, L. M. (2008). Music training leads to the development of timbre-specific gamma band activity. *Neuroimage*, 41(1), 113-122.
- Shallice, T., & Warrington, E. K. (1970). Independent functioning of verbal memory stores: A neuropsychological study. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 22(2), 261-273.
- Shiffrin, R. M., & Nosofsky, R. M. (1994). Seven plus or minus two: a commentary on capacity limitations.
- Sternberg, S. (1966). High-speed scanning in human memory. *Science*, 153(3736), 652-654.
- Sternberg, S. (1969). Memory-scanning: Mental processes revealed by reaction-time experiments. *American scientist*, 57(4), 421-457.
- Tan, S. L., Pfordresher, P., & Harré, R. (2010). *Psychology of music: From sound to significance*. Routledge.
- The jamovi project (2019). jamovi. (Version 1.0) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- Thompson, L., & Yankeelov, M. (2011). *Music and the phonological loop* (Doctoral dissertation, Belmont University).
- Trainor, L. J., Desjardins, R. N., & Rockel, C. (1999). A comparison of contour and interval processing in musicians and nonmusicians using event-related potentials. *Australian Journal of Psychology*, 51(3), 147-153.
- Trehub, S. E., Thorpe, L. A., & Morrongiello, B. A. (1985). Infants' perception of melodies: Changes in a single tone. *Infant Behavior and Development*, 8(2), 213-223.

- Trehub, S. E., Cohen, A. J., Thorpe, L. A., & Morrongiello, B. A. (1986). Development of the perception of musical relations: Semitone and diatonic structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12(3), 295.
- Trehub, S. E., & Thorpe, L. A. (1989). Infants' perception of rhythm: Categorization of auditory sequences by temporal structure. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 43(2), 217.
- Tulving, E. (1962). Subjective organization in free recall of "unrelated" words. *Psychological review*, 69(4), 344.
- Wang, Q. (2021). The cultural foundation of human memory. *Annual review of Psychology*, 72.
- Werning, M., & Cheng, S. (2017). Taxonomy and unity of memory (pp. 7-20). *Routledge handbook of philosophy of memory*.
- Williamson, A., & Egner, T. (2004). Memory structures for encoding and retrieving a piece of music: An ERP investigation. *Cognitive Brain Research*, 22(1), 36-44.
- Williamson, V. J., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2010). Musicians' and nonmusicians' short-term memory for verbal and musical sequences: Comparing phonological similarity and pitch proximity. *Memory & Cognition*, 38(2), 163-175.
- Wöllner, C., & Halpern, A. R. (2016). Attentional flexibility and memory capacity in conductors and pianists. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 78(1), 198-208.
- Zatorre, R. J., & Beckett, C. (1989). Multiple coding strategies in the retention of musical tones by possessors of absolute pitch. *Memory & cognition*, 17(5), 582-589.
- Zatorre, R. J., Halpern, A. R., & Bouffard, M. (2010). Mental reversal of imagined melodies: a role for the posterior parietal cortex. *Journal of cognitive neuroscience*, 22(4), 775-789.