



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

**EL EFECTO DE ESCUCHAR MÚSICA ENTRE 74 Y 78 DECIBELES EN
TRES FUNCIONES EJECUTIVAS: UNA PRUEBA PILOTO**

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

PRESENTA

Carlos Andrés Domínguez Villamizar

TUTOR
Dra. Coral Italú Guerrero Arenas
Programa de Maestría y Doctorado en Música

CIUDAD DE MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

“La neurociencia es, por mucho, la rama más excitante de la ciencia, porque el cerebro es el objeto más fascinante del universo. Cada cerebro humano es diferente, el cerebro hace a cada ser humano único y define quién es”.

Stanley B. Prusiner

Premio Nobel de Medicina, 1997

DEDICATORIA

A mi esposa y mi hijo.

AGRADECIMIENTOS

A la Coordinación General de Estudios de Posgrado y a su programa de becas para estudios de posgrado en la UNAM.

A los miembros de la Coordinación del Programa de Maestría y Doctorado en Música de la UNAM, Dr. Fernando Nava, Jasmín Ocampo y Mónica Sandoval por su incomparable amabilidad, excelente trabajo y por el inmenso apoyo que recibí por parte de los tres a lo largo de todo este proceso.

A las Lic. Carolina Sánchez S. y Andrea Vázquez por su invaluable apoyo económico y emocional a lo largo del primer semestre y sin el cual, este proceso no hubiese sido posible.

A la Dra. Coral Guerrero Arenas por haberme brindado todas las herramientas para avanzar dentro del maravilloso y en ocasiones intrincado mundo de la investigación neurocognitiva, por su paciencia, su invaluable sapiencia y por haberse aventurado en la difícil tarea de dirigir este proyecto.

A la Dra. Iris Xóchitl Galicia por sus sugerencias y apoyo en el desarrollo metodológico y la realización de las pruebas.

Al Dr. Felipe Orduña y al Mtro. Ing. Antonio Pérez, por permitirme de forma grata y cordial las herramientas para llevar a cabo el desarrollo de la investigación dentro de las instalaciones del Laboratorio De Acústica Y Vibraciones del ICAT.

A la maestra Gabriela Pérez Acosta por sus consejos, sugerencias y valiosa labor en el desarrollo estructural de la metodología.

Al maestro Darío Martínez Ezquerro por todo el material proporcionado y que resultó de gran utilidad a lo largo de las etapas finales de la investigación.

A la maestra Helena Muciño por sus acertadas recomendaciones y su impecable manera de mejorar las cosas.

RESUMEN

Con los avances de la tecnología a lo largo de los últimos años, escuchar música se ha convertido probablemente en uno de los hábitos más comunes entre los seres humanos. Y si bien, ciertos estudios se han enfocado en analizar los efectos positivos de escuchar música en el organismo, algunos otros han encontrado que, bajo determinadas condiciones, escuchar música podría afectar el desempeño de ciertas regiones de la corteza prefrontal. Por esta razón, haciendo uso de un diseño cuasiexperimental, cuantitativo, longitudinal, analítico, prospectivo y prolectivo propuesto como prueba piloto y que incluyó el uso del Trail Making Test, la BANFE-2 y un análisis de umbral auditivo por tono puro, se analizó el desempeño de 22 personas adultas entre los 22 y 39 años en tareas de planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial ante dos condiciones sonoras diferentes, (1) Con estímulo musical entre 74 y 78 decibeles y (2) sin estímulo musical.

Los resultados dieron evidencia de un mejor desempeño en todos los participantes a lo largo de la prueba en ausencia de estímulo musical, principalmente, en las tareas referentes a procesos de planificación y memoria de trabajo visuoespacial. En cuanto a las tareas de inhibición evaluadas por medio de la BANFE-2, no se observó diferencia significativa. De esta manera se concluye que, escuchar música en niveles sonoros entre 74 y 78 dB podría estar relacionado con deficiencias en procesos concernientes a tareas que impliquen planificación y memoria de trabajo visuoespacial.

Palabras clave: Música, cognición, funciones ejecutivas, TMT, BANFE.

ABSTRACT

With the advances in technology over the last few years, listening to music has probably become in one of the most common habits among human beings. While some studies have focused on analyzing the positive effects of listening-to-music on the organism, a few others have found that, under certain conditions, listening to music may affect the performance of some regions of the prefrontal cortex. For this reason, employing a quasi-experimental, quantitative, longitudinal, analytical, prospective and prolective design proposed as a pilot test and which included the use of the Trail Making Test, the BANFE-2 and a pure tone auditory threshold analysis, the performance of 22 adults between the ages of 22 and 39 in planning, inhibition and visuospatial working memory tasks was analyzed under two different sound conditions, (1) With musical stimulus between 74 and 78 decibels and (2) without musical stimulus.

The results showed a better performance in all participants throughout the test in the absence of musical stimulus, mainly in the tasks related to planning processes and visuospatial working memory task. As for the inhibition tasks evaluated by means of the BANFE-2, no significant difference was observed. Thus, it is concluded that listening to music at sound levels between 74 and 78 dB could be related to deficiencies in processes concerning to planning and visuospatial working memory.

Keywords: Music, cognition, executive functions, TMT, BANFE.

Tabla de Contenido

Índice de Tablas	14
Índice de Figuras	16
INTRODUCCIÓN	20
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
JUSTIFICACIÓN	24
Capítulo I.....	26
Antecedentes y Marco Teórico	26
1. Antecedentes	26
2. Música y Sonido.....	37
2.1. El sonido.....	39
Capítulo II	42
Funciones Ejecutivas, Correlatos Neurales y Herramientas de Evaluación Neuropsicológicas.....	42
3. Funciones Ejecutivas.....	42
3.1. Desarrollo de las funciones ejecutivas	44
4. Correlatos Neurales de las Funciones Ejecutivas.....	54
4.1. Neuroanatomía de la corteza prefrontal	56
5. Lesiones en la Corteza Prefrontal y Afectaciones en las Funciones Ejecutivas	73
6. El Nivel Sonoro en la Música y Su Impacto en los Procesos de Planificación, Inhibición y Memoria de Trabajo Visuoespacial	77
7. Herramientas de Evaluación Neuropsicológicas.....	81
7.1. Trail Making Test.....	82
7.2. BANFE-2.	83
Capítulo III.....	88

8. Metodología	88
8.1. Diseño de la investigación	88
8.2. Pregunta de investigación	89
8.3. Objetivo general	89
8.4. Hipótesis.....	90
8.5. Participantes	90
8.6. Métodos.....	92
8.7. Procedimiento	98
Capítulo IV.....	102
9. Resultados	102
9.1. Resultados generales de la prueba.....	102
9.2. Resultados de la BANFE-2 por subpruebas.....	105
9.3. Resultados de mediciones fisiológicas.....	107
9.4. Resultado de las audiometrías.....	107
DISCUSIÓN	108
CONCLUSIÓN	115
ANEXOS.....	118
REFERENCIAS	123

Índice de Tablas

Tabla 1 Datos generales de los participantes	92
Tabla 2 Correlación de Spearman de los resultados generales de la prueba	102
Tabla 3 Medias y desviación estándar de las dos partes de la prueba	104
Tabla 4 Medias y desviaciones estándar de las variables evaluadas en la prueba de SA	105
Tabla 5 Medias y desviaciones estándar de las variables evaluadas en la prueba de laberintos	106
Tabla 6 Medias y desviaciones estándar de las variables evaluadas en la prueba del efecto Stroop.....	106

Índice de Figuras

Figura 1. Corteza prefrontal dorsolateral izquierda y derecha. Chen, Y. K., Xiao, W. M., Wang, D., Shi, L., Chu, W. C., Mok, V. C., Wong, K. S., Ungvari, G. S. y Tang, W. K. (2013). Atrophy of the left dorsolateral prefrontal cortex is associated with poor performance in verbal fluency in elderly poststroke women. <i>Neural regeneration research</i> , 8(4), 346–356. https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-5374.2013.04.007	29
Figura 2. B: Mapa cortical de la región de la PFC encargada del almacenamiento temporal de la información visual. C: Porción coronal hecha sobre la línea punteada del B. Para este estudio, las regiones coloreadas son las de las neuronas de la región dorsal (rojo) y ventral (azul). AS: Surco arcuado (Arcuate sulcus); PS: Surco principal (principal sulcus); CS: Sulco central (Central sulcus). Hoshi, E. y Tanji, J. (2004). Area-Selective Neuronal Activity in the Dorsolateral Prefrontal Cortex for Information Retrieval and Action Planning. In <i>Journal of Neurophysiology</i> (Vol. 91, Issue 6, pp. 2707–2722). https://doi.org/10.1152/jn.00904.2003	29
Figura 3. Activación de la dlPFC derecha e izquierda ante tareas dependientes. Activación de patrones relacionados con efectos de jerarquía de objetivos (imagen izquierda) y profundidad de la búsqueda (imagen derecha). Los planos coronales fueron seleccionados por contener activación máxima de la dlPFC para jerarquía de objetivos y profundidad de la búsqueda. Kaller, C. P., Rahm, B., Spreer, J., Weiller, C., y Unterrainer, J. M. (2011). Dissociable Contributions of Left and Right Dorsolateral Prefrontal Cortex in Planning. In <i>Cerebral Cortex</i> (Vol. 21, Issue 2, pp. 307–317). https://doi.org/10.1093/cercor/bhq096	32
Figura 4. Longitud de onda señalada con flechas bidireccionales y representada con la letra griega lambda (λ).	41

Figura 5. Modelo multicomponente de Baddeley. Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory. Trends in cognitive science. Vol 4 N° 11.....	50
Figura 6. Subdivisiones de la corteza prefrontal. Szczepanski, S., Knight, R. (2014). Insights into human behavior from lesions to the prefrontal cortex. Neuron. doi.org/10.1016/j.neuron.2014.08.011.....	57
Figura 7. Subdivisiones de la corteza prefrontal por áreas de Brodmann.	61
Figura 8. Subdivisiones de los lóbulos frontales. Dumontheil, I. (2014). Development of abstract thinking during childhood and adolescence: the role of rostralateral prefrontal cortex. Developmental Cognitive Neuroscience, 10, 57-76. doi:10.1016/j.dcn.2014.07.0.....	62
Figura 9. Cara ventral del cerebro humano ilustrando citoarquitectónicamente las distintas regiones de la corteza orbitofrontal excluyendo el AB 10. Wallis J. D. (2007). Orbitofrontal cortex and its contribution to decision-making. Annu. Rev. Neurosci. 30:31 - 56. doi: 10.1146/annurev.neuro.30.051606.094334.	66
Figura 10. Diagrama esquemático en el cual se pueden observar algunas vías gustativas, olfatorias, visuales y somatosensoriales con proyección a la OFC en un mono Rhesus. Rolls E.T. (2002). The functions of the orbitofrontal cortex. Brain and Cognition. doi:10.1016/S0278-2626(03)00277-X.....	67
Figura 11. Modelo de las funciones de la OFC: Detalle de las aferencias y el movimiento de la información hacia y dentro de la OFC. El ejemplo se esquematiza sobre un solo hemisferio de la OFC. Berridge, K., Kringelbach, M. (2008). Affective neuroscience of pleasure: reward in humans and animals. Psychopharmacology. 199(3): 457-480. doi:10.1007/s00213-008-1099-6.	69
Figura 12. Mapa conceptual de la neuroanatomía de las funciones ejecutivas.	72
Figura 13. TMT Parte A utilizado durante el desarrollo de la prueba. Hoja A del TMT Parte A.....	83

Figura 14. Segundo laberinto utilizado durante el desarrollo de la prueba. El asterisco «*» hace referencia al punto de partida mientras, la «f», se refiere al punto final. Lázaro, JC; Ostrosky, F; Lozano, A; (2014). BANFE-2. Batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales-2. Editorial El Manual Moderno S.A DE C.V.	84
Figura 15. Lámina 1 de la BANFE-2 (señalamiento autodirigido) utilizada como herramienta de evaluación de la memoria de trabajo visuoespacial. Lázaro, JC; Ostrosky, F; Lozano, A; (2014). BANFE-2. Batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales-2. Editorial El Manual Moderno S.A DE C.V.	85
Figura 16. Ejemplo del juego de efecto Stroop.....	86
Figura 17. Cartel publicitario de la convocatoria utilizado en las redes sociales.	92
Figura 18. Puntuaciones totales normalizadas de la BANFE-2 por edad y escolaridad presentadas por rango.	94
Figura 19. Puntaje y clasificación de la BANFE-2. Tomado de Lázaro, J. C. F., Gutiérrez, A. L., & Ostrosky-Solís, F. (2014). BANFE-2: Batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales.	94
Figura 20. Puntuación para el TMT A y B.	95
Figura 21. Carta audiométrica de uno de los participantes de la investigación. Las indicaciones Left (blue) y Right (red) hacen referencia al color de los audífonos y sirven como guía en la toma de las muestras: azul en el oído izquierdo y rojo en el oído derecho. ..	97
Figura 22. Esquema de la primera parte de la prueba, sin estímulo musical.	99
Figura 23. Esquema de la segunda parte de la prueba.	101
Figura 24. En la figura A: correlación de hipótesis para las pruebas de planificación (PI) y memoria de trabajo visuoespacial (MTV) evaluadas por medio de la BANFE-2 y en la cual se observan mejores resultados para las pruebas realizadas en ausencia de estímulo musical, pese a ello, la diferencia individual de los resultados entre la primera y la segunda parte de la	

prueba generan dispersión en los datos y con ello bajos niveles de correlación. En la figura B: correlación de hipótesis para las habilidades planificación, inhibición y memoria de trabajo evaluadas por medio del TMT-B y en el cual se observa una disminución en el tiempo de respuesta requerido por cada participante para la realización de la tarea a lo largo de la prueba sin estímulo musical..... 103

Figura 25. En la figura A: gráfica de correlación de la tarea de inhibición evaluada por medio de la BANFE-2. En la figura B: gráfica de correlación de las tareas evaluadas por medio del TMT-A..... 104

INTRODUCCIÓN

“Las funciones ejecutivas hacen mentalmente posible jugar con las ideas, tomar el tiempo de pensar antes de actuar, planificar reuniones, anticipar cambios, resistir tentaciones y mantener la atención¹” (Diamond, 2013, p.1). En el transcurso de los últimos años, en referencia a las investigaciones sobre la música y su impacto en las funciones ejecutivas, se han visto ciertos efectos positivos que al parecer esta ejerce en el organismo, y que han sido estudiados desde diversas áreas, con diversos enfoques y en prácticamente todas las etapas del desarrollo humano². Si bien los resultados obtenidos en algunos de estos estudios han dado evidencia de los beneficios de la música en el desarrollo de funciones cognitivas como el lenguaje (Jaschke, Honing, Scherder, 2018) y algunas funciones ejecutivas como la inhibición (Hennessy et al. 2019) durante los primeros diez años de vida (Zuk, Benjamin, Kenion, Gaab, 2014) y con resultados perceptibles incluso treinta años después (Tillman, Brocki, Sorensen, y Lundervold, 2015; Moffitt y Gottschalk, 2011; Bowmer, Manson, Knight y Welch, 2018), la actividad cerebral involucrada en estudiar música y escuchar música, podría desembocar en resultados diferentes.

Primero, ¿puede el hábito de escuchar música en elevados niveles de volumen resultar benéfico para el organismo? Existe una rama significativa de causas que podrían estar implicadas en el porqué del hábito de ciertas personas por escuchar música en altos niveles de volumen incluso en ambientes con índices de contaminación auditiva considerables

¹ *Executive functions make possible mentally playing with ideas; taking the time to think before acting; meeting novel, unanticipated challenges; resisting temptations; and staying focused.*

² Ver: (Garon, Bryson, Smith, 2008) (Zaitchik, Iqbal, Carey, 2014) (Jaschke, Honing, Scherder, 2018) (Kharitonova, Martín, Gabrieli, 2013) (García-Molina, Penas-Prado, 2009) (Owen, 1997) (Zuk, Benjamin, Kenion, Gaab, 2014) (Diamond, 2002, 2006, 2013) (Kalbfleisch, 2017) (Stuss, Alexander, 2000) (Luciana, Conklin, Hooper, Yarger, 2005) (Barkley, 2012) (Das, Misra, 2014) (Teffer, Semendeferi, 2012) (Fuster, 2002) (Fuster, 2017) (Tirapu-Ustárroz, García-Molina, Luna-Lario, Roig-Rovira, 2008) (Best, Miller, Jones, 2009) (Davidson, Amso, Anderson, Diamond, 2006) (Mansouri, Acevedo, Illipparampil, Fehring, Fitzgerald y Jaberzadeh, 2017).

(psicológicos, sociológicos, emocionales, económicos, religiosos, políticos, culturales), pero, aunque las razones son diversas y a su modo, igualmente importantes, se ha visto que, en tareas de codificación de palabras en presencia de estímulo musical, existe una disminución bilateral de sangre oxigenada (desoxihemoglobina) en la corteza prefrontal dorsolateral (dlPFC) ($p < 0.05$), en comparación con pruebas llevadas a cabo en ausencia de estímulo musical ($p < 0.05$) (Ferreri, Bigand, Perrey, Muthalib, Bard, et al., 2014). Esto significa que, escuchar música tiene la capacidad de modular la actividad de la dlPFC (ver pág. 61), que, a su vez, se relaciona con la disminución sostenida de la actividad bilateral de la dlPFC observada por Ferreri, Aucouturier, Muthalib, Bigand y Bugaiska (2013), en pruebas de codificación de palabras. Un beneficio de escuchar música es que permite conectar de forma directa con las emociones de los seres humanos avivando con ello el espíritu de cohesión social (Kolesh, 2014) o, dicho de otra manera, la necesidad inconsciente de hacer parte de la manada.

Pero, en el proceso de escuchar música intervienen factores como ritmo, *tempo*, melodía, timbre, letra, género musical, conexión emocional y volumen, entre otras, por esta razón, el objetivo de la presente investigación se propuso analizar exclusivamente el efecto de escuchar música en elevados niveles de volumen en tareas de planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial.

El desarrollo de la prueba realizada dentro de este estudio se dividió en dos partes, la primera se llevó a cabo mediante el uso de estímulos musicales en niveles sonoros entre los 74 y 78 decibeles (dB) mientras, la segunda, se hizo en ausencia de estímulos musicales. Los resultados permitieron observar que hubo un mejor desempeño a lo largo de la segunda parte de la prueba (sin estímulo musical) en las tareas de planificación y memoria de trabajo visuoespacial en comparación con la primera parte de la prueba (con estímulo musical) en la cual se obtuvo resultados deficientes en las mismas tareas. En el análisis de las audiometrías se observó un alto deterioro auditivo en las personas que reportaron escuchar música en elevados niveles de

volumen por un mayor periodo de tiempo al día en comparación con aquellas que reportaron hacerlo por lapsos menores de tiempo. De esta manera podría inferirse que, escuchar música en elevados niveles de volumen podría guardar relación con menores niveles de desempeño en tareas de planificación y memoria de trabajo, así como un posible deterioro auditivo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Diversos autores subrayan la aparente relación que existe entre la música y la mejora en el desempeño de tareas relacionadas con el lenguaje (Hennessy, Sachs, Ilari, Habibi, 2019; Zuk et al., 2014), así como mejoras en los estados de ánimo (Archambault, Vaugon, Deumié, Brault, Pérez, et al., 2019), estados de salud (Hanser 2016; Bieńkiewicz and Craig 2017), relaciones sociales (Boer 2012; Jang 2012; Koelsch, 2014) y hasta en el desempeño de funciones ejecutivas (Degé, Kubicek, Schwarzer, 2011; Mansouri, Acevedo, Illipparampil, Fehring, Fitzgerald, and Jaberzadeh, 2017; Zuk et al., 2014). Pero, si bien la música tiene la capacidad de favorecer estados emocionales y procesos cognitivos, también puede afectarlos por medio de diversos factores como el ritmo o el *tempo*, debido a que influyen en la activación del sistema nervioso simpático (relacionado con los estados de lucha o huida) que, entre otras cosas, consigue inhibir el desempeño de la corteza prefrontal (Bigliassi, León-Domínguez, Altimari, 2015). Teniendo en cuenta que el nivel sonoro³ en la música también hace parte del proceso de escucha musical, tal y como lo es el ritmo, el *tempo* o la melodía, resulta propicio analizar el efecto de escuchar música entre 74 y 78 dB en procesos de planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial, ya que, si la música, en los niveles sonoros antes mencionados consigue afectar el desempeño de la corteza prefrontal (PFC), podría observarse un menor rendimiento en tareas relacionadas con los procesos mentales previamente mencionados.

³ Conocido también como potencia acústica o volumen, ver pág.40.

JUSTIFICACIÓN

Del 79% de los adultos jóvenes que suelen escuchar música a través de dispositivos de audio estéreo haciendo uso de audífonos, cerca del 37.4% suele hacerlo en elevados niveles de volumen, lo que, en gran medida, los convierte en una población de riesgo inminente de pérdida auditiva (Herrera, Bender, Lourdes, Rocha, Arruda et al., 2016). Debido a las facilidades de la tecnología, cada vez aumenta el número de personas (niños, jóvenes y adultos) que hacen uso de audífonos para escuchar música a través de sus teléfonos celulares, en parte, debido a la conveniencia de poder escuchar lo que sea, en cualquier momento y en cualquier lugar, sin interrupciones de ningún tipo (Hanazumi, Gil, Iório, 2013), causando con ello daños auditivos irreversibles en el mediano y largo plazo (Swensson, Swensson y Swensson 2009). De igual modo, Herrera et al., (2016) y Swensson et al., (2020), agregan que, la pérdida auditiva inducida a través de la escucha musical en elevados niveles de volumen es similar a la pérdida auditiva ocasionada por la exposición al ruido. La Organización Mundial de la Salud (OMS), en un comunicado de 2015 en conmemoración del Día Internacional de la Atención Otológica, advirtió sobre los riesgos de escuchar música en elevados niveles de volumen asegurando que al menos mil millones de personas sufrirán daño auditivo debido al uso excesivo de audífonos en sus dispositivos móviles. En países industrializados, al menos el 50% de jóvenes y adultos entre los 12 y 35 años están expuestos de manera constante a niveles de ruido peligrosos para la salud y al menos el 40% están expuestos a niveles dañinos e irreversibles. También advierte del riesgo de pérdida auditiva en niveles sonoros de 85 dB a partir de 8 horas de exposición y daño irreversible a los 100 dB a partir de quince minutos de exposición. A todo esto, se suma que, según Ferreri et al., (2013) y Ferreri et al., (2014), escuchar música disminuye la actividad de la dIPFC relacionada con procesos de planificación y memoria de trabajo visuoespacial. Por esta razón, la presente investigación, planteada como prueba piloto ante la ausencia de estudios

que aborden el efecto de escuchar música en niveles elevados de volumen en el desempeño de ciertos procesos mentales, busca encontrar mediante herramientas neuropsicológicas los posibles efectos de una exposición a sonidos musicales en niveles sonoros entre 74 y 78 dB en tareas de planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial. Por esta razón, los alcances de la presente investigación podrían ofrecer evidencia de las áreas de la PFC mayormente afectadas por los altos niveles de volumen en la música.

Capítulo I

Antecedentes y Marco Teórico

1. Antecedentes

“The man that hath no music in himself, Nor is not moved with concord of sweet sounds, Is fit for treasons, stratagemes, and spoils; The motions of his spirit are dull as night, And his affections dark as Erebus. Let no such man be trusted. Mark the music”⁴.

William Shakespeare, The Merchant of Venice

A lo largo de las próximas páginas el lector encontrará una serie de estudios en los cuales se aborda la relación entre la música, las funciones ejecutivas y sus respectivos correlatos neurales, trabajos que, en gran medida, contribuyeron en el desarrollo metodológico de la presente investigación.

Wolf y Weiner (1972) llevaron a cabo un estudio en el cual se analizó el efecto de cuatro condiciones de sonido (silencio, diálogo, música y ruido industrial) ante problemas aritméticos, tras lo cual, encontraron que, el número de respuestas correctas fue superior en condiciones de música en comparación a los resultados obtenidos en condiciones de ruido industrial, mientras, en las demás condiciones, la proporción de respuestas correctas no varió de uno a otro. Pese a estos resultados, los autores afirman que existe una relación positiva entre escuchar música y el detrimento en el desempeño en la realización de tareas en el área de trabajo, lo que concuerda con Lesiuk (2005) en que: “los altos y bajos niveles de emoción⁵ afectan el desempeño cognitivo” (p.177). Del mismo modo Tiffin y McCormick (1965) encontraron que la música

⁴ “El hombre que no tiene música en sí mismo, y al que no conmueven los sonidos armoniosos de un acorde, es capaz de toda clase de traiciones, estratagemas y depravaciones. Los movimientos de su espíritu son aburridos como la noche y sus afectos oscuros como Erebus. Por tal razón no es digno de confianza. Marca la música” **William Shakespeare, El Mercader de Venecia.**

⁵ Posiblemente inducidos por medio de la música.

tendría un efecto negativo en el desempeño de ciertas tareas casi al nivel del producido ante el ruido industrial. Los diseños sonoros de cada una de las condiciones utilizadas por Wolf y Weiner (1972) fueron las siguientes: 1) el diálogo consistía en la reproducción de un noticiero mañanero a 87 dB, 2) las condiciones musicales fueron dadas mediante la reproducción de un tema de rock pesado a 95 dB, 3) el ruido industrial fue tomado de una fábrica de madera con maquinaria altamente ruidosa y reproducido a 105 dB. Y en vista de que la intención a lo largo de la prueba fue la de intentar emular las experiencias reales de los sonidos utilizados, la presión sonora en cada una de las condiciones fue presentada en los niveles aproximados a la experiencia normal. Todas las tareas se llevaron a cabo en un salón con tratamiento acústico mediante el uso de audífonos. Los resultados obtenidos para cada una de las condiciones en valores de problemas resueltos vs problemas presentados fueron: diálogo 20/23, música 22/25, ruido industrial 16/20 y silencio 20/23. Aunque los resultados obtenidos ante las condiciones de música discreparon con respecto a los resultados esperados, afirman los autores que, la gran mayoría de los participantes se encontraba familiarizado con el tema musical usado a lo largo de la prueba, lo que, a opinión de Culbert y Posner (1960) se debe a un proceso de habituación a sonidos familiares incluso en niveles altos de volumen.

Para Pedro Calvo, consejero de medio ambiente de la comunidad de Madrid en España durante el año 2000, la contaminación acústica es uno de los efectos secundarios derivados del desarrollo experimentado de las ciudades; a esto agrega que el ruido incide de manera negativa en el estado de salud de las personas generando no solo pérdida auditiva, sino alteraciones en el ritmo cardiaco y respiratorio, estrés, inquietud, mal humor, entre otras tantas deficiencias. También afirma que un ruido de sólo 40 dB es factor más que suficiente para impedir el descanso adecuado del organismo, razón por la cual, la contaminación sonora debería ser tomada tan en serio como la contaminación atmosférica, acometiéndose por medio de mejoras en las disposiciones legales, control eficaz de las emisiones sonoras, concientización y

colaboración ciudadana. Por último, cabe tenerse en cuenta que, si bien seis millones de personas hablando simultáneamente generarían la energía suficiente para prender una bombilla de 60 W, algo relativamente pobre en términos de energía eléctrica, los efectos del ruido son perjudiciales para la salud y desde luego, para la calidad de vida ya que tiene la capacidad de afectar los procesos del organismo relacionados con el estrés y que, a su vez, inciden en el desempeño de la PFC (Bigliassi, León-Domínguez, Altimari, 2015, McKendrick, Mehta, Ayaz, Scheldrup y Parasuraman, 2017).

A nivel neuroanatómico existen áreas de la PFC, particularmente de la dIPFC (ver figura 1) relacionadas con el procesamiento sensorial de imágenes; esto, en vista de que, en un estudio comparativo llevado a cabo por Hoshi y Tanji (2004), se observó la reacción de las neuronas de las regiones dorsales y ventrales de PFC ante dos estímulos sensoriales diferentes. En el primer paquete de estímulos visuales se pudo notar una mayor activación en la región ventral de la corteza prefrontal dorsolateral (dIPFC) con respecto a las propiedades visuoespaciales de la señal, al tiempo que, las neuronas de la región dorsal de la dIPFC mostraron mayor activación ante procesos de recuperación de la información visual tales como la localización del objetivo o el qué brazo usar para moverlo (ver figura 2 B y C). Dentro del segundo paquete de estímulos visuales se pudo notar que, el procesamiento o recuperación sensorial de la información visual está más relacionado con las neuronas de la región ventral de la dIPFC mientras, las neuronas dorsales de la dIPFC mostraron mayor activación en los procesos relacionados con la integración de la información en cuanto a la ubicación y el brazo requerido para alcanzar el objetivo, lo que permitiría inferir que, las neuronas de la dIPFC no solo se encuentran separadas de manera sensoriomotora sino que, estarían implicadas en la planificación de acciones futuras.

En cuanto a los posibles efectos de la música en los seres humanos, Lesiuk (2005), por medio de un estudio llevado a cabo en 56 personas en sus áreas de trabajo, buscó medir el efecto de escuchar música en los estados de ánimo, la calidad del trabajo hecho y la percepción

del tiempo. Sus resultados arrojaron que, ante ausencia de estímulos musicales, tanto el estado de ánimo como el rendimiento laboral mostraron resultados menores a los reportados ante estímulos musicales al tiempo que, cada participante reportó un aumento en la percepción del tiempo laboral en los periodos de ausencia musical.



Figura 1. Corteza prefrontal dorsolateral izquierda y derecha. Chen, Y. K., Xiao, W. M., Wang, D., Shi, L., Chu, W. C., Mok, V. C., Wong, K. S., Ungvari, G. S. y Tang, W. K. (2013). *Atrophy of the left dorsolateral prefrontal cortex is associated with poor performance in verbal fluency in elderly poststroke women*. *Neural regeneration research*, 8(4), 346–356. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-5374.2013.04.007>

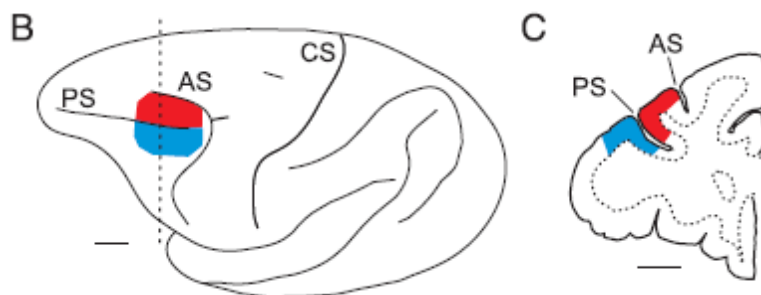


Figura 2. B: Mapa cortical de la región de la PFC encargada del almacenamiento temporal de la información visual. C: Porción coronal hecha sobre la línea punteada del B. Para este estudio, las regiones coloreadas son las de las neuronas de la región dorsal (rojo) y ventral (azul). AS: Surco arcuado (*Arcuate sulcus*); PS: Surco principal (principal sulcus); CS: Sulco central (Central sulcus). Hoshi, E. y Tanji, J. (2004). *Area-Selective Neuronal Activity in the Dorsolateral Prefrontal Cortex for Information Retrieval and Action Planning*. In *Journal of Neurophysiology* (Vol. 91, Issue 6, pp. 2707–2722). <https://doi.org/10.1152/jn.00904.2003>.

La música suele albergar variaciones en el *tempo* y el ritmo que usualmente son agregadas por el compositor, arreglista o director con la intención de inducir respuestas emocionales en el oyente (Levitin y Tirovolas, 2009, p.212); es por ello que, para ciertos etnomusicólogos el

estudio de la música por partes (ritmo, *tempo*, intervalos, melodía) y su posible influencia en procesos mentales específicos (tal cual suele darse en las áreas de las neurociencias encargadas del estudio de la música en el sistema nervioso como en el caso de la cognición musical) no es significativa al desposeer a la música de su propia identidad, ya que, y a su modo de ver, los artificiales entornos de los laboratorios son incapaces de emular los efectos reales de la música en el organismo. Pero, si la música se caracteriza por atributos o dimensiones que pueden variar de manera independiente como el ritmo, el tono, el timbre, el *tempo*, la medida, el contorno, el volumen y la localización espacial (Levitin, 1999) ¿cómo saber qué característica, atributo o dimensión de una pieza musical afecta con mayor o menor medida procesos mentales específicos llevados a cabo para este caso en la PFC? En vista de esto, algunos investigadores hacen abordajes específicos entre ciertas dimensiones musicales y ciertas habilidades mentales como en el caso de la investigación llevada a cabo por Day, Lin, Huang, y Chuang (2009), en la cual se analizó el efecto del *tempo* en la música en tareas relacionadas con toma de decisiones mediante seguimiento ocular. Por medio del análisis de las pruebas, se evidenció que los participantes tomaron decisiones con mayor precisión ante estímulos musicales de *tempo* rápido en comparación con estímulos musicales de *tempo* lento. Por otra parte, se pudo observar que todos los participantes mostraron mejores resultados en cuanto a la precisión en la toma de decisiones difíciles ante estímulos musicales rápidos⁶. Por medio de esta investigación también se pudo constatar que, primero, incluso con la misma música, la simple manipulación del *tempo* en un adagio⁷ es factor más que suficiente para generar efectos similares a los producidos por obras con mayor velocidad en el *tempo*. Segundo, a través de la presentación simultánea de música de Mozart y la realización de las tareas antes mencionadas (basados en estudios previos en los cuales la música de Mozart y las tareas a evaluar se presentaron por separado, primero

⁶ Day et al. (2009) afirma que: “*faster tempo music was found to improve the accuracy of harder decision-making only, not that of easier decision-making*” (p.130).

⁷ En música, un *Adagio* puede hacer referencia a una indicación de tempo o al movimiento de una pieza musical.

la música y luego la tarea) se observaron alteraciones emocionales en los participantes, lo que demuestra que el efecto de excitación emocional puede ser manipulado no solo de antemano (a través de la presentación previa de la música), sino durante el momento exacto de la tarea. Del mismo modo Day et al., (2009) propone un modelo integrado de tres puntos para la música de fondo desde una perspectiva contingente: primero, el procesamiento de la música consumiría recursos mentales al tiempo que genera placer en el organismo; segundo, cuando los recursos mentales consumidos son menores que la excitación, el total de recursos aumenta, mientras, cuando los recursos mentales consumidos son mayores a la excitación, el total de recursos disminuye; tercero, la fluctuación en el total de recursos mentales tiene más influencia sobre las tareas coincidentes que el procesamiento de la música debido a que, el procesamiento de la música se da de forma natural con un uso de recursos mínimo. Siendo así, el efecto de la música de fondo depende de la cantidad de recursos que demanda la tarea concurrente, pero, si la demanda puede ser satisfecha, el desempeño de la tarea concurrente será óptimo. De igual forma, una sobrecarga de recursos provocará un rendimiento deficiente en las tareas coincidentes.

Por la corriente neuroanatómica de Hoshi y Tanji (2004) en la cual se estudió el comportamiento de las neuronas de la dlPFC ante estímulos visuales, Kaller CP, Rahm B, Spreer J, Weiller C y Unterrainer JM., (2010), abordaron la región media de la dlPFC en vista de que juega un papel importante en los procesos mentales relacionados con tareas de planificación, tal y como se pudo observar en sus estudios realizados por medio de electroencefalograma y en los cuales, también se obtuvo evidencia de activación bilateral de la dlPFC, pese a esto, la naturaleza de las funciones específicas de cada una de estas regiones, derecha e izquierda, permanecen inciertas hasta el momento, tal y como afirma Kaller et al., (2010). Con base en estos estudios se han determinado dos parámetros independientes en los procesos de planificación: 1) el grado de interdependencia entre los pasos consecutivos

(profundidad de búsqueda) y 2) el orden evidente en los pasos individuales (jerarquía de objetivos) (ver figura 3). De esta manera, la profundidad de búsqueda no solo afecta la generación mental inmediata sino la evaluación de secuencias de acción, mientras, la jerarquía de objetivos refleja la extracción de información de los objetivos de un problema encontrado. La manipulación de estos dos parámetros y su análisis por fMRI⁸ se llevó a cabo por medio de la tarea de la Torre de Londres⁹. En los procesos en los cuales hubo alta demanda en la jerarquía de objetivos, los investigadores consiguieron observar una mayor activación en la región izquierda de la dIPFC, mientras, los resultados fueron contrarios en el caso de la corteza prefrontal dorsolateral derecha (rdIPFC), la cual dio evidencia de menor activación ante las mismas tareas. Estos resultados permitieron a los investigadores concluir que, pese a los patrones de activación bilateral observados en la dIPFC en estudios similares llevados a cabo con fMRI, los resultados permitirían hablar de un desempeño concomitante ante procesos cognitivos complejos y específicos que proporcionarían evidencia de lateralizaciones opuestas.

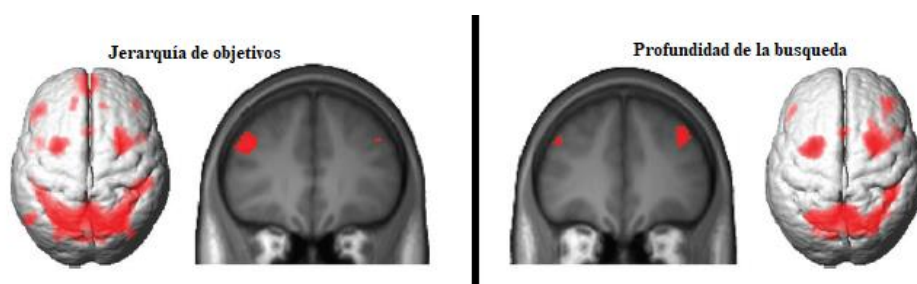


Figura 3. Activación de la dIPFC derecha e izquierda ante tareas dependientes. Activación de patrones relacionados con efectos de jerarquía de objetivos (imagen izquierda) y profundidad de la búsqueda (imagen derecha). Los planos coronales fueron seleccionados por contener activación máxima de la dIPFC para jerarquía de objetivos y profundidad de la búsqueda. Kaller, C. P., Rahm, B., Spreer, J., Weiller, C., y Unterrainer, J. M. (2011). *Dissociable Contributions of Left and Right Dorsolateral Prefrontal Cortex in Planning*. In *Cerebral Cortex* (Vol. 21, Issue 2, pp. 307–317). <https://doi.org/10.1093/cercor/bhq096>

Las evaluaciones de procesos mentales suelen darse mediante el uso de herramientas neuropsicológicas creadas con la intención de analizar el funcionamiento de ciertas regiones

⁸ fMRI es el acrónimo en inglés de *Functional Magnetic Resonance Imaging*.

⁹ La Torre de Londres es una prueba neuropsicológica usada para evaluar funciones ejecutivas específicas como déficits en tareas de planificación.

encargadas en mayor o menor medida de procesos mentales específicos, como, por ejemplo: procesos atencionales, planificación, o estrategias en la resolución de problemas. Como en el caso del estudio llevado a cabo por Rubiales, Bakker y Urquijo, (2013) en el cual se hizo uso de dos pruebas neuropsicológicas, la prueba de *Stroop* (ver pág. 86) y el *test* de clasificación de cartas Wisconsin¹⁰, con el fin de evaluar habilidades en cuanto a procesos de flexibilidad cognitiva e inhibición en niños con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH). A fin de contrastar los resultados, las pruebas de los niños con TDAH fueron comparadas con un grupo control. Tras estas pruebas, encontraron que, los niños con TDAH presentaron menor desempeño tanto en tareas de flexibilidad cognitiva como en tareas de control inhibitorio y motor en comparación con el grupo control. Con estos resultados concluyeron que el TDAH se caracteriza como un trastorno con estilo cognitivo propio y distintivo en el cual se aprecian menores habilidades en flexibilidad cognitiva, control inhibitorio y una dificultad específica de la inhibición motora.

Zuk, Benjamin, Kenyon y Gaab, (2014), haciendo uso de fMRI y una batería estandarizada de funciones ejecutivas, analizaron los correlatos neurales de las funciones ejecutivas de adultos y niños con y sin entrenamiento musical, tras lo cual, encontraron que, en todos los casos, los músicos demostraron un mejor desempeño en tareas de flexibilidad cognitiva, fluidez verbal y memoria de trabajo. Sumado a esto, los niños con entrenamiento musical demostraron mejores habilidades en las tareas relacionadas con velocidad de procesamiento cognitivo, así como una mayor activación tanto en las regiones premotoras como en la región ventrolateral de la corteza prefrontal durante el desempeño de tareas relacionadas con la representación de reglas.

¹⁰ El *test* o prueba de clasificación de cartas Wisconsin (WCST), es una herramienta de evaluación neuropsicológica que, si bien fue diseñada en principio con la intención de evaluar razonamiento abstracto, hoy en día es utilizada como herramienta de evaluación de estrategias útiles en la resolución de problemas a fin de lograr un objetivo.

Bigliassi, León-Domínguez y Altimari, (2015) investigaron los efectos de dos géneros musicales diferentes¹¹ sobre las respuestas emocionales y la actividad cerebral en personas adultas. Por medio de espectroscopia funcional de infrarrojo cercano¹² se midió la actividad de la corteza prefrontal (medial y dorsolateral izquierdo y derecho). Las respuestas emocionales se evaluaron a través medidas fisiológicas y psicológicas utilizando variabilidad de la frecuencia cardíaca. Aunque ambos géneros musicales causaron incremento en la actividad de la corteza prefrontal, la música clásica causó una mayor actividad en las regiones dorsolaterales de la corteza prefrontal, brindando con ello la posibilidad de observar un aumento en la activación parasimpática, mientras, por el contrario, la música tecno redujo la activación parasimpática después de diez minutos de exposición.

Ritter y Ferguson (2017), por medio de una prueba experimental buscaron medir si escuchar ciertos tipos específicos de música (cuatro fragmentos de piezas clásicas con diferencias en su impacto emocional) podían influir en el pensamiento divergente y convergente de los participantes, esto, mediante la comparación de los resultados obtenidos durante las pruebas llevadas a cabo con música y los resultados de las pruebas llevadas a cabo sin música (condiciones control de silencio). Los participantes que escucharon «música feliz»¹³ o con un alto impacto emocional mostraron mejor desempeño ante tareas de creatividad divergente en comparación con aquellas personas que presentaron la prueba en condiciones de silencio (grupo control). No se obtuvo evidencia de cambios en cuanto a las tareas relacionadas con la creatividad convergente. Por tanto, escuchar música puede mejorar los procesos cognitivos relacionados con el pensamiento creativo; lo que podría hallarse relacionado con la investigación llevada a cabo por Mansouri, Tanaka y Buckley, (2017) en el cual se observó el efecto del *tempo* en procesos relacionados con el aprendizaje y la atención con resultados que

¹¹ Música electrónica (Tecno) y música sinfónica del periodo clásico-romántico.

¹² La espectroscopia de infrarrojo cercano es un método óptico de diagnóstico no invasivo (Ramírez-García, Carranza-Castro, Gutiérrez-Salinas y, Hernández-Rodríguez, 2012).

¹³ Ritter y Ferguson (2017) hacen uso del término *happy music*.

indican que, el *tempo* rápido en la música, a diferencia del *tempo* lento o los bajos niveles de ruido (nivel sonoro), influyen significativamente en el aprendizaje y la implementación del control inhibitorio.

Pero, si bien se ha visto que la música tiene la capacidad de influenciar mejoras en el desempeño de habilidades mentales relacionadas con el aprendizaje, la toma de decisiones y los estados de ánimo, son muchos los aspectos a tener en cuenta a la hora de evaluar el riesgo/beneficio de la escucha musical, por ejemplo, el tipo de música que se escucha, la familiaridad que se tenga con esta, el *tempo*, el timbre, la letra, el nivel sonoro entre otras tantas cosas que pueden o no beneficiar el desempeño de los procesos mentales pertinentes a las tareas antes mencionadas; por tal motivo, el autor de la presente investigación considera preciso aclarar que escuchar música y hacer música son dos cosas diferentes que no necesariamente mantiene relación entre sí. Según Vanzela et al., (2016), la tecnología democratizó el proceso del quehacer musical, lo que, en gran medida, pudiese estar relacionado con la posible falta de fronteras que existe entre ciertas personas a la hora de hallar diferencias entre escuchar música y hacer o estudiar música. Si bien escuchar ciertos tipos de música contribuye al mejoramiento en el desempeño de ciertas habilidades mentales como el pensamiento creativo divergente, tal cual se observó en el estudio de Ritter y Ferguson (2017), Bowmer, Mason, Knight y Welch, (2018) estudiaron el efecto de un entrenamiento musical semanal en el desarrollo de las funciones ejecutivas en niños de 3 a 4 años en escuelas preescolares del Reino Unido por medio de un diseño experimental en dos partes. El grupo de niños que hizo parte de las clases semanales impartidas por profesionales en el campo de la educación musical, demostraron mejoras en tareas relacionadas con la planificación y la inhibición en comparación con los grupos que recibieron clases de música alternadas con actividades recreativas varias. Estos resultados son consistentes con los reportados previamente por Zuk et al., (2009) en los cuales se observó tanto en niños como en adultos con entrenamiento musical, mejores habilidades en

tareas de flexibilidad cognitiva, fluidez verbal y memoria de trabajo; lo que a su vez contribuye en la veracidad de lo dicho anteriormente con respecto a las diferencias existentes entre escuchar música y estudiar música.

Y aunque existen investigaciones en las cuales se reportan los beneficios tanto de escuchar música como de estudiar música, Jascheke (2018) en un estudio en el cual buscó evaluar las funciones ejecutivas de personas expuestas a entornos musicales enriquecidos mediante el uso de pruebas neuropsicológicas como la Torre de Londres usada en la evaluación de procesos de planificación, el *Klingberg Matrix backward Span*, utilizado como herramienta de evaluación en procesos referentes a memoria de trabajo y el *Go/no-go task* diseñado con la intención de evaluar procesos mentales relacionados con tareas de inhibición, no encontró resultados significativos que dieran evidencia de algún tipo de correlación entre la exposición a entornos musicalmente enriquecidos y mejoras en el desempeño de las funciones ejecutivas evaluadas.

2. Música y Sonido

“Musik im besten Sinne bedarf weniger der Neuheit, ja vielmehr je älter sie ist, je gewohnter man sie ist, desto mehr wirkt sie.”¹⁴

J. W. von Goethe, Maximen und Reflexionen

A lo largo de las siguientes páginas, el lector podrá ir desdibujando y entendiendo lo que, a fines del proyecto, se concibe como sonido, música y nivel sonoro. Esto, en vista de la delgada línea que en el transcurso de los últimos 70 años se ha sabido trazar entre las corrientes de la música culta de vanguardia y la música tradicional.

Desde tiempos inmemoriales la música, al parecer, ha ocupado un lugar preferente en todas las culturas y civilizaciones como herramienta de cohesión social (García-Casares et al, 2011; Koelsch, 2014). Dentro de la corriente de las neurociencias cognitivas, algunos investigadores han descrito a la música como el refinado producto de una especie capaz de crear, comprender y disfrutar tan exquisita expresión artística (Peretz, 2006) surgida bien fuera como el aparente resultado de un diseño arquitectónico cognitivo (Krumhansl, 1990) o una necesidad de adaptación social paralela al lenguaje (Urios et al., 2011). Pese a esto, la música bien podría no ser más que el resultado gustoso de la interacción de procesos mentales diseñados con propósitos distintos (Pinker, 2001). Y si bien algunas fuentes antropológicas han llegado a inferir el uso de la música en períodos anteriores a la existencia del *homo sapiens*¹⁵ (García et al., 2010), se piensa que una de las razones de la persistencia de la música entre los seres humanos a través de los siglos se debe en parte a la habilidad que posee de influenciar estados

¹⁴ “*La música, en el mejor sentido, tiene menos necesidad de la novedad; antes bien, cuanto más antigua sea y más habituados estemos a ella, mayor será el efecto que produzca*”. **J. W. von Goethe, Maximen und Reflexionen.**

¹⁵ Algunos vestigios datan a la música en periodos entre los veinticinco (d’Errico et al., 2003; García et al., 2010; Peretz, 2006) hasta los ochenta mil años de antigüedad (Peretz, 2013), razón por la cual algunos científicos consideran a la música como un rasgo propio (Honing, Cate, Peretz, Trehub, 2015; Peretz, 2006) común e innato de la especie (Oikkonen y Järvelä, 2014).

de ánimo y reacciones fisiológicas en el organismo relacionadas no solo con el placer (Mavridis, 2015), sino también con el estrés inducido por medio de cualquiera de las dimensiones que le conforman: tono, ritmo, timbre, *tempo*, medida, contorno, nivel sonoro y la localización espacial (Levitin y Tirovolas, 2009).

Hasta hace unos años¹⁶ el concepto tradicional y aceptado de música se hallaba ligado a una serie de patrones preestablecidos que, si bien pudieron en su momento haber sido considerados fundamentales dentro de la composición estética y artística de la música, hoy en día podrían palidecer ante las corrientes no solo de vanguardia que encierran campos como la microtonalidad, la micropolifonía, la nueva complejidad, el saturacionismo, el gestualismo, la composición digital, el minimalismo y el arte sonoro, sino otros tantos del tipo comercial en que, cualquiera de los aspectos básicos de la música descritos en el concepto tradicional (armonía, ritmo y melodía), pueden ser prescindibles

¿Qué es la música? Con frecuencia, esta suele ser una de las preguntas críticas dentro del campo de la investigación en cognición musical, razón por la cual algunos científicos suelen en ocasiones basar sus respuestas en dos vías, la del compositor y filósofo estadounidense Leonard Meyer, quien definió a la música como una forma de comunicación emocional, y la del compositor francés del siglo XIX Edgar Varèse, quién la definió como la organización de los sonidos en el tiempo¹⁷ (Levitin y Tirovolas, 2009). Para Ball (2012), la música no es un fenómeno natural sino un constructo humano cuyo significado se encuentra enteramente ligado al que la misma sociedad se ha encargado de darle. Con base en esto, resulta factible comprender por qué la música (aún en pleno siglo XXI) suele ser entendida como la organización lógica y coherente de los sonidos en el tiempo atendiendo a las reglas clásicas de

¹⁶ E incluso en la actualidad en ambientes deslindados del mundo académico.

¹⁷ Adolf Bernhard Marx en su libro *Teoría de la Composición Musical (Theory of Musical Composition)* publicado en Nueva York en 1852 (con una nueva reimpresión en el 2018), define a la música como la organización lógica de los sonidos en el tiempo atendiendo a las reglas clásicas de la armonía, la melodía y el ritmo.

la armonía, la melodía y el ritmo (García, Rosas, Vanegas, 2010; Felipe y Merino, 2013; Marx, Girac y Saroni, 2018). Y si bien Tan, Pfordresher y Harré, (2017), sumados a las corrientes puristas de la estética musical, consideran que no todo lo que suena puede ser considerado música, esto no significa que no pueda llegar a serlo; pues la música, retomando las palabras de Ball (2012), no es un sonido como tal, sino una característica reconocible en dicho sonido, y no porque de hecho sea inherente a él, sino por toda una serie de patrones psicológicos, socioeconómicos, familiares, emocionales y culturales preestablecidos en el cerebro a lo largo de los años (Plomp, 2002; Salimpoor y Zatorre, 2013) y que llevan a las personas a entender la agrupación de ciertos sonidos como música. Y, con respecto a las preferencias musicales, algunos investigadores han visto un mayor punto de influencia o impacto emocional a lo largo de la adolescencia (Drösser, 2012).

En conclusión, la música a diferencia del sonido en general, es un proceso de racionalización en el cual diferentes herramientas neurales trabajan en conjunto (García et al., 2010) a fin de encontrar patrones que, haciendo uso de funciones de planeación y de memoria, permitan al oyente hacer predicciones con base en conocimientos y experiencias previas (Salimpoor y Zatorre, 2013).

2.1. El sonido

Si bien, saber qué es la música, no resulta ser un factor determinante en muchas personas a la hora de escuchar los temas que les gustan, el volumen al que cada uno suele escucharlos puede acabar siendo el tema central de una conversación. Pero, para entender qué variaciones en el sonido producen el efecto conocido como volumen, es preciso entender qué es el sonido.

El sonido puede ser entendido como un efecto producido por la propagación de ondas mecánicas a través de un medio elástico generado por el movimiento vibratorio de un cuerpo (Blasco, 2016) con la capacidad de producir una sensación auditiva. El sonido se esparce de

forma esférica en el aire a una velocidad de 340 m/s (Blasco, 2016), de esta manera, el efecto producido al pulsar una cuerda sujeta por ambos extremos, es una vibración que agita las partículas gaseosas que componen el aire en un fenómeno conocido como onda sonora (Roederer, 2009). Las ondas sonoras, al alcanzar el pabellón auditivo, hacen vibrar la membrana timpánica que, a su vez, produce el movimiento de las estructuras del oído medio conduciendo las vibraciones hacia el oído interno y, de ahí, por medio del nervio auditivo y en forma de impulsos eléctricos, las señales viajan hasta el cerebro en donde la información acústica es procesada y desplegada como una imagen neural de características acústicas en ciertas regiones de la corteza cerebral¹⁸ (Roederer, 2009). Los procesos cognitivos y afectivos posteriores están involucrados en la percepción consciente del sonido musical.

Desde el punto de vista de la acústica, la amplitud de onda es una perturbación física de las moléculas del aire que se propaga en el espacio como una onda armónica cuya amplitud suele ser medida en decibelios¹⁹ (dB) y se vincula al valor más alto que registra una variable midiéndose desde el punto medio o de equilibrio. En una onda sonora, se considera la amplitud como la sobrepresión atmosférica cuyas unidades de medida pueden ser el pascal²⁰, el milibar o cualquier otra unidad de presión. Y aunque la amplitud de onda ha sido relacionada con el volumen, la sensación de volumen o nivel de intensidad sonora en cualquier clase de sonido (entre ellos la música), es dada por la cantidad de energía por unidad de tiempo emitida por una fuente determinada en forma de ondas sonoras; a esto se le conoce como potencia acústica.

2.1.1. Potencia acústica.

La potencia acústica se encuentra determinada por la longitud de onda, o sea, que cuanto menor sea la longitud de onda (ver figura 4) proveniente de una fuente sonora, mayor será la

¹⁸ Entre ellas, la corteza auditiva, en donde se da la percepción del sonido.

¹⁹ Los decibelios representan la relación entre dos señales basado en un logaritmo de base 10 del cociente entre dos presiones o amplitudes sonoras.

²⁰ El pascal es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades y se define como la presión que ejerce una fuerza de un 1 newton sobre una superficie de 1 m².

cantidad de energía generada (potencia acústica). Esto se debe en principio a que una menor longitud de onda provoca un aumento en la frecuencia, lo que, por consiguiente, se verá reflejado en el aumento de la cantidad de energía resultante.

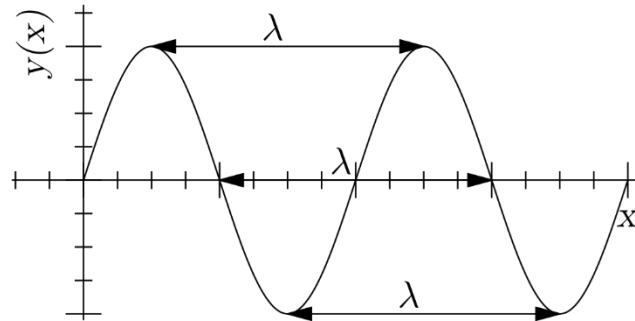


Figura 4. Longitud de onda señalada con flechas bidireccionales y representada con la letra griega *lambda* (λ).

La potencia acústica es la cantidad de energía emitida por unidad de tiempo y se expresa en Vatios (W). Pero, debido a que los valores de potencia son enormes y dispares, se introduce el término «potencia sonora», la cual suele ser medida en decibeles (dB) respecto a una potencia de referencia de 1pW^{21} . Una forma de entender la potencia acústica de un sonido es comparándolo con la potencia eléctrica de una bombilla, por ejemplo: la potencia de la luz irradiada por una bombilla no se afecta con el color de las paredes de la habitación en la cual se enciende, sin embargo, la iluminación que brinda, sí lo hará; ya que la iluminación será mucho mayor en una habitación de paredes blancas que en una de paredes pintadas con tonos oscuros. Entonces, la luz sería equivalente al ruido, la potencia eléctrica a la potencia acústica y la iluminación a la presión acústica. Y esta última (la presión acústica) se ve alterada dependiendo de si la fuente sonora se encuentra ubicada en campo abierto o en una habitación cerrada.

²¹ 1pW = Un petawatt.

Capítulo II

Funciones Ejecutivas, Correlatos Neurales y Herramientas de Evaluación

Neuropsicológicas

“Nuestra civilización está aún en una etapa media, con poco de animal, pues ya no se guía por el instinto, y apenas humana, pues todavía no se rige completamente por la razón”.

Theodore Dreiser, Sister Carrie

En lo referente al presente capítulo, el lector podrá ir paso a paso entre aquellas funciones mentales que posibilitan el día a día de los seres humanos al tiempo que accede a material teórico sobre herramientas de evaluación psicológica, neuropsicológica y áreas de la corteza cerebral relacionadas con el funcionamiento de dichos procesos mentales.

3. Funciones Ejecutivas

Los seres humanos albergan la habilidad de compartir situaciones nuevas adaptándose al entorno de manera flexible (Tirapu-Ustárrroz et al., 2008). Estas herramientas que abarcan un cierto número de funciones cognitivas que permiten la independencia personal y las habilidades de autorregulación emocional (Barkley, 2012; Zuk et al., 2014), se deben a un conjunto de procesos mentales conocidos como funciones ejecutivas (García-Molina et al., 2009). Las funciones ejecutivas no cuentan con una definición acordada de manera universal, tal cual se tiene con ciertos constructos y principios del aprendizaje (Kalbfleisch, 2017), aun así, esta serie de herramientas y mecanismos neuronales pueden ser definidos como constructos cognitivos multidimensionales que posibilitan la ganancia de control estratégico sobre procesos mentales (Bowmer et al., 2018) relacionados con habilidades de planificación, inhibición, control de impulsos y memoria de trabajo (Jaschke et al., 2018); herramientas indispensables en el diario vivir de los seres humanos. Las funciones ejecutivas son consideradas por ser importantes en casi todos los aspectos de la vida (Diamond, 2013a); razón por la cual, se les ha relacionado de

manera estrecha y contundente con el desempeño y el rendimiento académico en niños y adultos (Barkley, 2012; Zuk et al., 2014), específicamente, desde el punto de vista de la disposición (*readiness*) al aprendizaje (Bowmer et al., 2018; Diamond, 2013b; Mulder et al., 2017). Algunos otros procesos mentales relacionados con las funciones ejecutivas son la flexibilidad cognitiva (Tirapu-Ustárrroz et al., 2008), involucrada con la capacidad que posee el cerebro de ajustarse de manera cognitivo-conductual a lo nuevo, a las situaciones abruptas e inesperadas (Zuk et al., 2014) sin mucha dificultad (García-Molina, Enseñat-Cantallops, Tirapu-Ustárrroz y Roig-Rovira, 2009) y, la toma de decisiones (Das y Misra, 2014; Fuster, 2017), que, por su parte, es una habilidad mental implicada en la capacidad de analizar patrones y atributos a fin de facilitar la selección de un objeto entre toda una gama de alternativas (Day et al., 2009).

Otra habilidad mental que se encuentra estrechamente ligada al concepto de las funciones ejecutivas, es el constructo de la metacognición (Lázaro y Ostrosky-Solís, 2012), que, para Bowmer et al. (2018), es la capacidad que tienen los seres humanos de ser conscientes del procesamiento de la información mediante el monitoreo de sus procesos cognitivos así como la identificación de las herramientas requeridas para diferentes tareas cognitivas. En otras palabras, la metacognición es la habilidad humana de formar e integrar ideas complejas sobre sí mismo o sobre otras personas (Hochheiser et al., 2019).

Se ha visto que en el desarrollo de las funciones ejecutivas, no todos estos procesos cognitivos se dan de manera simultánea, pues, según estudios llevados a cabo por Tillman, Brocki, Sørensen y Lundervold, (2015) y en los cuales se evaluaron mediante tareas específicas las funciones ejecutivas en niños entre ocho y 12 años ($M = 9.93$), en comparación con una segunda prueba hecha a los mismos participantes años más tarde, se pudo constatar una clara jerarquía en la evolución de las funciones ejecutivas y en la cual podría entreverse una correlación de procesos (Tillman et al., 2015), puesto que, el desempeño en habilidades de

atención e inhibición (Bowmer et al., 2018), podría predecir el futuro desempeño de procesos relacionados con la memoria de trabajo (Tillman et al., 2015) e incluso, en relación con otras variables como las socioeconómicas, se ha podido constatar que existe una fuerte relación entre los bajos desempeños en tareas de inhibición en niños entre tres y 11 años, y menores ingresos, deteriorado estado de salud, conductas violentas y altas tasas de criminalidad en los mismos niños hasta 30 años más tarde (Moffitt y Gottschalk, 2011). Estos datos permiten inferir una correspondencia entre los puntajes en evaluaciones de funciones ejecutivas obtenidos en niños y la probabilidad de éxito en sus vidas futuras (Brown & Landgraf, 2010; Hennessy et al., 2019). Sin embargo, no es del todo apropiado hacer este tipo de predicciones con base en juicios tempranos, debido a que podría acabarse arribando a constructos inestables, (Mulder, Verhagen, Van der Ven, Slot y Leseman, 2017), ya que, primero, el desarrollo de las funciones mentales en los niños se da a gran velocidad durante los primeros años de vida y, segundo, la investigación sobre funciones ejecutivas en niños por debajo de los tres años es relativamente escasa (Garon, Smith y Bryson, 2014).

Miyake et al., (2000) (citado por Kalbfleisch, 2017), proporcionó en su momento evidencia de que algunas de las habilidades mentales que constituyen las funciones ejecutivas del cerebro eran dissociables entre inhibición, flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo, esto, gracias a que, son estas mismas tres habilidades mentales las que se han visto con el paso de los años comúnmente relacionadas por su trabajo conjunto en la producción del control cognitivo (Miyake y Friedman, 2012).

3.1. Desarrollo de las funciones ejecutivas

Una de las cualidades que separa a los seres humanos del resto de los animales, es la habilidad de controlar sus instintos o comportamientos innatos a través de la inhibición de sus emociones con respecto a sus planes, objetivos y reglas (Grange y Houghton, 2014). El

desarrollo de las funciones ejecutivas emerge a través de ligeros cambios producidos en la interacción con el entorno (Kalbfleisch, 2017). Estos procesos se dan rápidamente durante los primeros años de la infancia (Zuk et al., 2014), periodo en el cual los niños desarrollan múltiples habilidades que les permiten no solo mantener, sino manipular la información en la mente haciendo uso de su memoria de trabajo (Bowmer et al., 2018). Y aunque ya desde los nueve meses de edad los seres humanos consiguen entender la permanencia de los objetos, en otras palabras, que estos siguen existiendo pese a no ser observados, algunos constructos específicos (como la flexibilidad cognitiva, la memoria de trabajo y la planeación) tienen un desarrollo a largo término que se prolonga hasta ya entrada la adultez (Diamond, 2006; Korucu, Rolan, Napoli, Purpura, Schmitt, 2019). Se ha sugerido que algunas otras habilidades como la representación de reglas y el cambio de tarea, de manera específica, siguen una trayectoria de desarrollo lineal a lo largo de la adolescencia (Zuk et al., 2014). Según Piaget (1977), es a partir de los tres años de edad cuando los niños tienen la habilidad de seguir hasta dos reglas en una tarea específica; aun así, no es sino hasta ya entrados los seis años, periodo en el cual se ve un logro creciente en la representación de reglas con dificultades en el cambio de tarea que se postergará hasta pasados los nueve años de edad (Mortier y Logan, 2009). En estudios posteriores realizados en niños entre los cinco y siete años de edad con Trastorno De Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH), se pudo obtener evidencia del desarrollo jerárquico de las funciones ejecutivas y de la influencia que ejercen en los ambientes académicos, particularmente durante los procesos de aprendizaje (Tillman et al., 2015; Zaitchik, Iqbal, Carey, 2014).

3.1.1. Planificación. La planificación es la habilidad de generar respuestas eficientes en un amplio rango de situaciones que sirvan para satisfacer necesidades propias del entorno a partir de estímulos, conocimientos y experiencias previas (Kaller et al., 2011). Dentro de su neuroanatomía funcional, se ha encontrado que es la región medial de la dlPFC la que juega un

papel preponderante y crítico en la red neural que subyace los procesos de planificación (ver pág. 61) (Owen, 1997) que son, dicho de otra forma, las concepciones mentales y las evaluaciones de las secuencias conductuales asociadas a las respuestas pertinentes antes de su ejecución (Kaller et al., 2011). La planificación efectiva es crucial en los procesos de autoorganización que desde luego abarcan cuestiones como: 1) características del objetivo, 2) la formulación de una lista de tareas pertinente a la meta por alcanzar y 3) la ejecución de cada uno de los pasos hasta haber conseguido el objetivo planteado desde el inicio (Uytun, 2018). Algunos autores como Hoshi y Tanji (2004); Kaller et al., (2011); y Cromer, Schembri, Harel, Maruff (2015), han encontrado que, tanto los niños como los adolescentes presentan deficiencias en habilidades de planificación, lo cual no debería sorprender teniendo en cuenta que las funciones ejecutivas mejoran a lo largo de la adolescencia (Luciana, Conklin, Hooper, y Yarger, 2005). Habilidades simples en procesos de planificación son evidentes o empiezan a ser observadas en niños a partir de los cuatro años de edad (Welsh et al., 1991), casi al mismo tiempo en que empiezan a dar evidencia de sus capacidades en cuanto a la creación de nuevos conceptos (Jacques y Zelazo, 2001). A partir de los seis años de edad, los niños demuestran mejoras en las habilidades de planificación, pues ante una tarea con reglas claras, son capaces de generar planes detallados en miras de alcanzar el objetivo (Klahr y Robinson, 1981).

Las habilidades de planificación y organización muestran un gran potencial de desarrollo durante la infancia, entre los siete y los diez años de edad (Anderson, Anderson y Lajoie, 1996) y gradualmente más tarde en la adolescencia (Uytun, 2018). Los niños pequeños utilizan en la mayoría de los casos estrategias simples en cuanto a todos aquellos procesos que requieren el uso de herramientas de planificación, tal y como suele suceder durante los momentos de juego, pese a esto, sus estrategias no suelen ser del todo efectivas, pues es entre los siete y los 11 años de edad en que las conductas estratégicas y las habilidades de razonamiento se hacen cada vez más organizadas (Anderson, Anderson y Garth, 2001). Alrededor de los 12 y 13 años de edad,

puede llegar a producirse una regresión de estrategias conceptuales a fragmentarias, lo que hablaría de un periodo de maduración en el que los seres humanos empezarían a desarrollar predilección por las estrategias cautelosas y conservadoras (Uytun, 2018). La mejora de estas habilidades mentales se mantendrá a lo largo de la adolescencia hasta llegados los 20 años, edad en la cual se ha observado una mejora significativa en las habilidades de planificación (Huizinga, Dolan y Van der Molen, 2006). Por otra parte, también han sido observadas correlaciones entre las habilidades de planificación, coeficiente intelectual y algunas otras herramientas mentales evaluadas mediante pruebas neuropsicológicas durante el desarrollo de las habilidades de planificación en la adolescencia (Luciana et al., 2009).

3.1.2. Inhibición. El control inhibitorio es una de las funciones ejecutivas del cerebro y se refiere a todos aquellos procesos mentales encargados del control intencional y voluntario de las conductas, así como la capacidad de impedir la interferencia de información poco o nada importante ante respuestas ya encaminadas, suprimiendo información previamente pertinente y que, pese a poder traer incentivo a corto plazo, no representa ningún tipo de importancia dentro de la tarea en curso o a realizar (Rubiales et al., 2013); en otras palabras, la inhibición es la habilidad de suprimir respuestas dominantes inmediatas (Hennessy et al., 2019). Para Barkley (2006), la inhibición conductual es esencial para el correcto desempeño de las funciones ejecutivas. Las inhibiciones ejecutivas tienen su naturaleza en el sistema dopaminérgico frontal y en el fronto-estriatal (Nigg, 2000) y se activan de manera distinta en función de si las demandas son de tipo motor o cognitivo (Sabagh Sabbagh, 2008). Hasta este punto puede entenderse a los procesos de inhibición o autocontrol o autorregulación, como la capacidad cognitiva para frenar las respuestas emocionales y conductuales (motoras) que se producen como respuesta inmediata ante un estímulo percibido.

El control inhibitorio es una habilidad particularmente difícil de alcanzar para los niños, puesto que requiere de la capacidad de mantener la atención sobre una tarea considerando la

información dada y suprimiendo las respuestas dominantes antes de actuar (Bowmer et al., 2018); pese a esto, autores como Gerardi-Caulton (2000) reportan que, a partir de los dos años y medio, los niños están capacitados para inhibir objetos incompatibles por más predominancia que tengan en el espacio logrando un nivel de exactitud hasta del 90% de las veces a partir de los tres años. No obstante, según Bowmer et al., (2018), las habilidades de inhibición en los niños empiezan a ser visibles a partir de los seis meses de edad cuando, por ejemplo, son capaces de detenerse a sí mismos de tocar algo ante la advertencia de algún familiar de no hacerlo. Otros estudios por su parte han demostrado que la evaluación de procesos referentes a habilidades mentales que requieren de control inhibitorio, mejoran a través de la infancia a partir de los cuatro años de edad (Davidson, Amso, Anderson y Diamond, 2006; Diamond, 2002; Fuster, 2002). Investigaciones por medio de fMRI han sugerido una mayor actividad de las áreas rostrales de la corteza prefrontal (ver pág. 56) ante situaciones de respuesta inhibitoria durante la infancia tardía y la adolescencia (Uytun, 2018).

Aprender a inhibir las respuestas inapropiadas es un aspecto importante de las funciones ejecutivas (Mansouri et al., 2009); por ello, la falta de inhibición suele ser uno de los síntomas diagnosticados en desórdenes neuropsiquiátricos (Millan et al., 2012).

3.1.3. Memoria de trabajo. La memoria de trabajo es una de las funciones neurales de almacenamiento y manipulación temporal de la información en el cerebro (Goldman-Rakic, 1995). La memoria de trabajo es necesaria para funciones cognitivas como la comprensión del lenguaje, el razonamiento, el aprendizaje (Baddeley, 1986) y el procesamiento de la música (Van de Cavey y Hartsuiker, 2016), aunque, también, se le ha relacionado con la capacidad de evocar eventos del pasado a través de procesos neurobiológicos que posibilitan la recuperación de la información (Etchepareborda y Abad-Mas, 2005). Durante el desarrollo de la memoria de trabajo, no solamente se encuentra involucrada la corteza prefrontal, sino que, se ha visto una fuerte conexión fronto-parietal que subyace a su desarrollo (Uytun, 2018). Si bien memoria

de trabajo y memoria a corto plazo pueden ser confundidas, la memoria a corto plazo se refiere exclusivamente a la capacidad de almacenar información por un cierto periodo de tiempo, mientras, la memoria de trabajo, no solo permite el almacenamiento sino la manipulación, la comparación y el contraste de la información (Baddeley, 2012) a fin de crear representaciones estructurales (Van de Cavey y Hartsuiker, 2016). La memoria de trabajo es un banco de memoria activa y funcional en la cual se almacena y procesa por breves periodos de tiempo la información procedente desde cada uno de los registros sensoriales (Etchepareborda y Abad-Mas, 2005); esto, en vista de que, los estímulos, una vez atendidos y percibidos, son transferidos inmediatamente a la memoria de trabajo (Baddeley y Broadbent, 1983). Para Baddeley (1983), la memoria de trabajo es limitada y susceptible a interrupciones, pero es esta vulnerabilidad la que le tiñe con una enorme flexibilidad, puesto que posibilita a los seres humanos a la recepción constante de nueva información.

Una de las formas en que la memoria de trabajo consigue llevar a cabo todas sus funciones, radica en las conexiones que mantiene con la memoria a largo plazo que le permite acceder a los conocimientos (recuerdos, sensaciones, experiencias pasadas, etcétera) relacionados con la información que se mantiene en línea (en la memoria de trabajo) y que sirve, entre otras tantas cosas, a la resolución de problemas (Etchepareborda y Abad-Mas, 2005); lo anterior ha llevado a ciertos investigadores a ver a la memoria de trabajo como una herramienta indispensable en el almacenamiento y manipulación de la información, reemplazando con ello el viejo concepto de la memoria a corto plazo (Baddeley, 1992). Si bien muchos de los estudios utilizados para medir la capacidad de la memoria de trabajo son similares a los estudios realizados con el fin de medir la inteligencia (Kyllonen y Christal, 1990), se ha visto que la memoria de trabajo y la habilidad de razonamiento se encuentran relacionadas, esto, sin que ello signifique que sean sinónimo el uno del otro; ya que el razonamiento dependería en un mayor nivel de los conocimientos almacenados en la memoria a largo plazo mientras, la memoria de trabajo se

encontraría estrechamente relacionada con la velocidad de procesamiento de la información. El modelo multicomponente de Baddeley (2000) (ver figura 5), el cual busca romper con el modelo tradicionalista de almacenamiento unitario plantea que la memoria de trabajo se encuentra formada por tres componentes: el bucle articulatorio o fonológico, la agenda visuoespacial y el retén episódico (Etchepareborda y Abad-Mas, 2005).

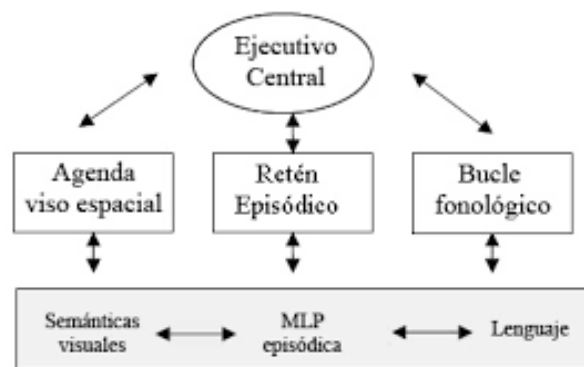


Figura 5. Modelo multicomponente de Baddeley. Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory. Trends in cognitive science. Vol 4 N° 11.

El bucle articulatorio o fonológico es probablemente el componente más investigado de la memoria de trabajo debido a que se encuentra estrechamente ligado con el concepto temprano de memoria a corto plazo (Baddeley, 1992). El bucle fonológico es el encargado no solo de mantener activa la información relacionada con el lenguaje, sino de manipularla en miras de lograr un objetivo (Etchepareborda y Abad-Mas, 2005). Para Baddeley (1992, 2000), el bucle fonológico es indispensable en procesos de tareas lingüísticas como la comprensión del lenguaje, la lectoescritura y la conversación, así como todo lo relacionado con el manejo de palabras, descripciones y números. Por otra parte, el bucle episódico, según Baddeley (2000), es la capacidad de almacenar la información en un código multidimensional sirviendo de interfaz entre los sistemas esclavos (bucle fonológico y bucle visuoespacial²²) y la memoria a

²² Phonological loop and visuospatial sketchpad.

largo plazo, mientras, el bucle visuoespacial, se encarga de manipular y elaborar la información de tipo visual y espacial. Se ha visto que el bucle visuoespacial se encuentra involucrado en el aprendizaje de mapas geográficos y en tareas que suponen memoria de trabajo visuoespacial como el ajedrez (Etchepareborda y Abad-Mas, 2005). El paradigma de tarea dual²³ (*dual-task paradigm*) ha sido usado para medir la separación entre los distintos sistemas involucrados en el aprendizaje visuoespacial y el aprendizaje por repetición (Baddeley, 1992). Existen componentes espaciales y visuales separados con tareas claramente identificadas; por ejemplo, Farah (1988) distinguió un componente imaginario relacionado con patrones de información en los lóbulos occipitales a partir de un componente secundario espacial dependiente de los lóbulos parietales. En conclusión, puede decirse que el bucle visuoespacial es crítico en la retención de objetos en la memoria espacial y, al igual que en el bucle fonológico, existen componentes de almacén y motores relacionados tanto con la retención y almacenamiento de la información como con los movimientos oculares.

3.1.4. Flexibilidad cognitiva. La flexibilidad cognitiva es la capacidad para realizar cambios de pensamiento o de acción en demanda de las situaciones presentadas por el entorno (Flores y Shejet, 2012) como, por ejemplo, corregir errores, incorporar conductas nuevas y dejar una tarea cuando al fin se ha concluido (Maddio y Greco, 2010). Una de las formas en la que se ha estudiado la flexibilidad cognitiva es a través de la representación de reglas y cambio de tareas (Crone, Donohue, Honomichl, Wendelken y Bunge, 2006). Y es en este tipo de trabajos en el cual se ha podido encontrar que hay una correlación entre procesos implicados en cambios de tareas y regiones premotoras de la corteza cerebral (Kalgotra y Sharda, 2018). Por otro lado, se ha visto que existe una mayor relación entre procesos de representación de

²³ El paradigma de tarea dual ha sido uno de los diseños más ampliamente utilizados con la intención de evaluar los recursos de atención ante tareas múltiples tanto en niños como en adultos (Berger, Harbourne y Horger, 2018). El paradigma de tarea dual también ha resultado ser un mecanismo fructífero para evaluar experimentalmente la disponibilidad de recursos explorando al mismo tiempo los cambios resultantes ante la orientación del objetivo (Moghimi, Scheibe y Freund, 2019).

reglas y la región ventrolateral de la corteza prefrontal (vlPFC) (Watts, 2007). Los procesos de flexibilidad cognitiva al igual que los procesos de recompensa del cerebro, se encuentran fuertemente relacionados con el funcionamiento de la corteza orbitofrontal (OFC²⁴) (ver pág. 65) (Li, Jiang, Gong, Zhao, Zhao et al., 2019). Pese a ser un herramienta de suma importancia dentro de los procesos conocidos como funciones ejecutivas, la flexibilidad cognitiva es susceptible al daño, tal y como se puede observar en el caso del traumatismo craneoencefálico severo en el cual se han visto grandes dificultades en tareas como clasificación de cartas, la torre de Hanoi, fluidez verbal y clasificación semántica, esto, en comparación con personas con traumatismo craneoencefálico leve (Flores y Shejet, 2012).

Por medio de respuestas generadas con control inhibitorio funcional, considerando las consecuencias positivas en todas las personas, la flexibilidad cognitiva también ha sido usada por algunos investigadores como herramienta para solucionar problemas interpersonales (Maddio y Greco, 2010); esto, en primera instancia, debido a que los seres humanos, desde temprana edad, comparten gran parte de su tiempo con sus pares en todo tipo de ambientes en donde, con gran frecuencia, permanecen en constante confrontación (Pincus y Friedman, 2004). La flexibilidad cognitiva implica el análisis de consecuencias de las propias conductas y el aprendizaje de los errores. De igual modo requiere de la capacidad para inhibir un patrón de respuestas con el fin de poder cambiar de estrategia (Cock, Matute, y Jurado, 2008). Según Rubiales et al., (2013) y Gutiérrez y Solís (2011), en diversos estudios se ha llegado a la conclusión de que, la capacidad de realizar estos cambios tiene implicaciones significativas en la conducta de los niños; esto, en vista de que les permite utilizar reglas cada vez más complejas con el fin de regular su conducta en medio de un entorno cambiante en el cual los esquemas mentales deben ser flexibles en favor de una adaptación óptima que favorezca el desempeño de diversos procesos mentales. En niños pequeños (de alrededor de nueve meses de edad)

²⁴ OFC: *Orbitofrontal Cortex* por sus siglas en inglés.

puede observarse la flexibilidad cognitiva cuando, por ejemplo, usan métodos alternativos para alcanzar exitosamente un juguete que no han podido conseguir a través de las formas habituales (Piaget y Cook, 1952). La flexibilidad mental continúa desarrollándose durante los primeros años a través del aprendizaje de nuevas reglas que les permiten adaptarse a diferentes situaciones, incluyendo la habilidad de adaptar sus comportamientos en función de ciertos patrones sociales como, por ejemplo, mantenerse en silencio dentro de una biblioteca, evitar gritar en lugares públicos y divertirse en las zonas de juego (Bowmer et al., 2018).

4. Correlatos Neurales de las Funciones Ejecutivas

“La gente suele preguntarme cómo me interesé en el cerebro. Mi respuesta, retórica, es: ¿Cómo puede alguien no estar interesado en él? Todo lo que llamas naturaleza humana y conciencia surge de ahí”.

Vilayanur S. Ramachandran

Si bien las funciones ejecutivas abarcan un amplio número de herramientas mentales centradas en el procesamiento conductual, la capacidad de razonar y las emociones (Huizinga et al., 2018), no es en todo el cerebro, sino en una región específica de la corteza en donde, según las neurociencias, se gestan la mayor parte de los procesos mentales implicados en el desarrollo y desempeño de dichas funciones (Best y Miller, 2010). Desde el punto de vista neuroanatómico, neurobiológico y neuropsicológico, son las regiones prefrontales de la corteza cerebral las que han sido vistas como estructuras cruciales en el desarrollo de las funciones ejecutivas a lo largo de la infancia, la adolescencia (Gogtay, Giedd, Lusk, Hayashi, Greenstein, et al., 2004) y parte de la adultez (Best, Miller y Jones, 2009). En términos generales, la corteza prefrontal no solo “es la región mejor conectada del cerebro humano” (Goldberg, 2002, p.35), sino que se encuentra relacionada con procesos de memoria, planeación y ejecución de acciones (Bowmer et al., 2018); por lo cual, la corteza prefrontal debe ser entendida como el centro de control ejecutivo del cerebro (Goldberg, 2002). Por otra parte, el desarrollo de los procesos cognitivos relacionados con la planificación, la inhibición y la memoria de trabajo visuoespacial, entre otros, se encuentran relacionados con la maduración de ciertas áreas de la corteza prefrontal (Johnson, Blum y Giedd, 2009).

Por medio de exámenes de asociación hechos entre los cambios biológicos del cerebro y las conductas infantiles, Bell y Deater-Deckard, (2007) consiguieron pasar de lo general a lo

específico al evidenciar que existen regiones de la corteza cerebral en las cuales puede verse una mayor activación ante evaluaciones complejas de funciones ejecutivas. Más allá de esto, estudios de imagenología cerebral han conseguido comprobar la correlación existente entre el desarrollo estructural del cerebro y la mejora en el rendimiento de tareas relacionadas con los procesos ya mencionados (Best y Miller, 2010). Este tipo de asociaciones se dan de la siguiente manera: contrario a lo cual pudiese creerse, se ha visto que existe una correlación entre la disminución del grosor en ciertas regiones de la corteza cerebral (particularmente de la corteza prefrontal) y un aumento en el desempeño de las funciones ejecutivas en niños entre los 5 y los 10 años de edad (Zuk et al., 2014). Este cambio, se cree, se debe en principio a la poda neuronal de conexiones sinápticas innecesarias y a un aumento en la cantidad de mielina (Kharitonova, Martin, Gabrieli y Sheridan, 2013). Esta correlación se evidencia mediante la reducción de la densidad sináptica y neuronal, el crecimiento de las dendritas y un aumento de volumen en la sustancia blanca; cambios neuroanatómicos que permiten la consolidación de redes neuronales apropiadas al procesamiento de funciones cognitivas complejas (Uytun, 2018). En un estudio longitudinal llevado a cabo por Giedd, Blumenthal, Jeffries, Castellanos, Liu, et al., (1999) en personas entre los cuatro y los 22 años, observó un incremento en el volumen de la sustancia gris durante los primeros años de la infancia y la preadolescencia. Según Gogtay et al., (2004), muchos otros estudios han reportado el aumento del volumen en las capas de materia gris, especialmente en la corteza prefrontal durante la preadolescencia.

Los lóbulos frontales son las estructuras cerebrales más recientes desde el punto de vista evolutivo en el cerebro humano (Lázaro y Ostrosky-Solís, 2012), su importancia es tan significativa en los procesos mentales de la especie humana, que pueden ser entendidos como el director de orquesta dentro del contexto de las funciones ejecutivas (Goldberg, 2002). Se ha visto que muchas de estas habilidades corresponden al trabajo conjunto de diferentes regiones de la corteza prefrontal y, según Zhao, Liu, Jiang, Zhou, Chen, et al., (2016), algunos patrones

de conexión neuronal implicados en el mapa de estado de reposo²⁵ (*Resting State Map*) también han sido relacionados con el desempeño de ciertas funciones ejecutivas. Desde el ámbito neuropsicológico, estas estructuras corticales representan un sistema diseñado para la planeación, regulación emocional, control de procesos psicológicos (Luria, 1986) y la relación del lenguaje con los procesos de cognición social (Jiang, 2018). Uytun (2018), sumando a lo ya mencionado los procesos relacionados con las funciones socioemocionales de los seres humanos, agrega que pudieron haber sido estas las causas de las conexiones corticales que dieron paso a la formación de la corteza prefrontal.

4.1. Neuroanatomía de la corteza prefrontal

Hasta los años noventa, algunos inconvenientes en el estudio de la corteza prefrontal²⁶ se daban en su mayoría a que aún no existía un consenso sobre la división estructural de la corteza prefrontal (Yang y Raine, 2009); puesto que algunos autores mantenían la idea de la corteza prefrontal como una sola estructura rica en conexiones corticales (Ongür, Ferry y Price, 2003). A lo largo de las décadas de los noventa y los dos mil, y pese a la falta de consolidación en cuanto a la neuroarquitectura funcional de los lóbulos frontales que por entonces se daba, hubo un número creciente de estudios que examinaron esta región de la corteza cerebral haciendo uso de diferentes técnicas como la estereología²⁷, la resonancia magnética y el análisis de minicolumnas corticales (Teffer y Semendeferi, 2012). Fue con base en estos estudios y, según Fuster, (2008), algunos otros en los cuales, haciendo uso de puntos de referencia neuroanatómicos, empezaron a darse sugerencias con respecto a la división funcional de la

²⁵ Las redes en estado de reposo (RSN) son mapas de áreas que al parecer se encuentran involucradas en las funciones del cerebro en reposo y que, según se ha visto, aparece tanto en los datos de reposo como en los de tareas (Niazy et al., 2011).

²⁶ Principalmente en aquellas investigaciones que intentaban hallar la relación entre las diferentes estructuras del cerebro y la psicopatología de la violencia, la agresividad y las conductas antisociales.

²⁷ La estereología es una herramienta útil en la cuantificación de parámetros morfométricos cerebrales en estudios de neuroimagen (Fenández-Viadero, González-Mandly, Verduga, Crespo y Cruz-Orive, 2008).

corteza prefrontal en cuatro estructuras claramente identificadas: la corteza orbitofrontal, la corteza prefrontal dorsolateral, la corteza prefrontal ventrolateral (vIPFC²⁸) y la corteza prefrontal medial, cada una relacionada en mayor o menor medida con procesos mentales específicos (ver figura 6). Estudios recientes han empezado a abordar el desempeño de las diferentes funciones de los lóbulos frontales desde el punto de vista del tamaño relativo de la materia blanca y gris mientras, algunos otros, agrega Uytun, (2018), lo han hecho desde el punto de vista del volumen y la densidad neuronal en subregiones como la corteza prefrontal; teniendo en cuenta que son estas unas de las últimas en alcanzar la madurez, puntualmente, las regiones laterales de la corteza prefrontal involucradas en importantes procesos de funciones ejecutivas (Fuster, 2002).

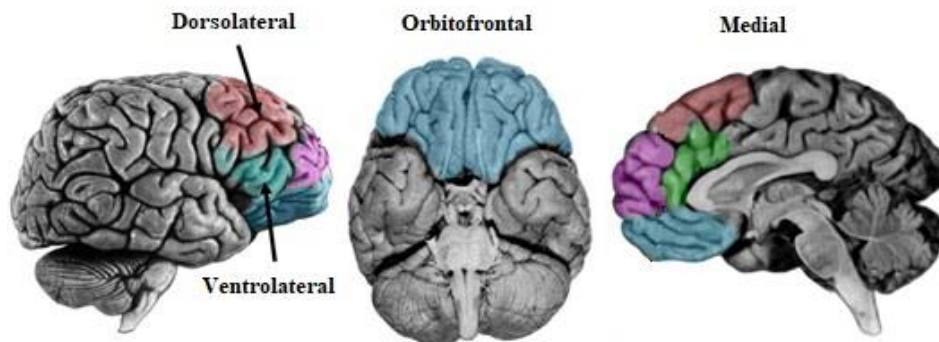


Figura 6. Subdivisiones de la corteza prefrontal. Szczepanski, S., Knight, R. (2014). Insights into human behavior from lesions to the prefrontal cortex. *Neuron*. doi.org/10.1016/j.neuron.2014.08.011.

La primera zona de los lóbulos frontales en la que se observa el engrosamiento de tejidos a causa del incremento de sustancia gris, es el giro precentral; posterior a este, le siguen el giro frontal superior y el giro frontal inferior (Uytun, 2018). Por otro lado, se ha podido observar que las áreas rostrales de la corteza prefrontal presentan un desarrollo más lento que el de algunas otras regiones, pues se ha observado que la maduración dendrítica de las áreas rostrales

²⁸ vIPFC: *Ventro Lateral Prefrontal Cortex*.

de la corteza prefrontal se da posterior al de las áreas sensoriales y motoras, continuando con su madurez neuronal hasta bien entrada la adolescencia (Travis, Ford y Jacobs, 2005). Según Sowell et al., (2004), las regiones de la corteza prefrontal que mantienen comunicación con el área de Broca (AB²⁹ 44 y 45) muestran un incremento en el grosor de la materia gris relativo al observado en otras regiones durante los cinco y 11 años de edad. Al parecer, este cambio se ha asociado al desarrollo de las capacidades lingüísticas. De igual manera, es entre los 11 y los 12 años de edad el momento en el que los volúmenes de materia gris alcanzan su máximo nivel de desarrollo en la mayor parte de los lóbulos frontales (Giedd, Blumenthal, Jeffries, Castellanos, Liu, et al, 1999). También se ha observado un engrosamiento de hasta el doble de su tamaño en las regiones mediales y dorsolaterales de la corteza prefrontal (Hill, Inder, Neil, Dierker, Harwell, et al., 2010), pero, en cuanto a la región dorsolateral, se ha visto que alcanza su tamaño de engrosamiento cortical adulto temprano en la adolescencia (Lenroot y Giedd, 2006).

A lo largo del desarrollo del encéfalo ocurren diversos cambios a nivel cortical relacionados con los procesos de maduración neuronal como, por ejemplo, el aumento y la disminución en el nivel volumétrico de la sustancia gris que se da hasta los primeros años de la adolescencia, momento en el cual alcanzan su máximo nivel de desarrollo; o el aumento de la sustancia blanca que, en el caso de la corteza prefrontal, se mantiene hasta ya entrada la adultez.

Con el aumento de tamaño del cerebro a lo largo de la infancia y la adolescencia, también se da el crecimiento dendrítico y axonal, a lo cual se le puede sumar la sinaptogénesis³⁰ y

²⁹ AB es la abreviatura de Área de Broadmann. Un AB es una porción del encéfalo definido con base en su citoarquitectura; por tal motivo, las áreas de Broadmann son un mapa citoarquitectónico del cerebro. Existen 47 áreas de Broadman tanto en el cerebro humano como en el de otros mamíferos, sin embargo, que existan el mismo número de ABs tanto en el cerebro de los seres humanos como en el de otras especies, no significa que dichas áreas sean estructuralmente homólogas.

³⁰ La sinaptogénesis es la formación de sinapsis que se da entre las neuronas del sistema nervioso a lo largo de la vida de los seres humanos. La sinaptogénesis difiere de la plasticidad sináptica en que esta última es la capacidad

muchos otros cambios relacionados con la microestructura cerebral (Shankle, Rafii, Landing y Fallon, 1999). A esto se le puede agregar que la densidad neuronal adulta de los lóbulos frontales se alcanza a los diez años de edad (Huttenlocher, 1990); siendo las neuronas piramidales³¹ de los lóbulos frontales las de más tardía maduración, pues adquieren una mayor y más compleja ramificación dendrítica durante la adolescencia y la adultez (Jacobs, Schall, Prather, Kapler, Driscoll, et al, 2001). Por otra parte, la reducción de los volúmenes de materia gris y conexiones sinápticas se mantiene durante toda la adolescencia y las primeras etapas de la adultez (Sowell, Thompson, Holmes, Jernigan y Toga, 1999). Del mismo modo, estas reducciones han sido observadas por Sowell et al., (1999) en la corteza prefrontal a lo largo de dos periodos: durante la adolescencia (12-16 años) y en la adultez (23-30 años). Y aunque la disminución del volumen de materia gris durante la infancia se relaciona con la edad, un estudio llevado a cabo por Sowell, Trauner, Gamst y Jernigan, (2002) encontró correlación positiva entre la disminución del volumen de materia gris en la corteza prefrontal y las habilidades de memoria verbal, independientemente de la edad del niño. Adicionalmente, Giedd et al., (1999) y Uytun (2018) reportan que, por medio de estudios transversales (*Cross-sectional studies*)³² y

que tiene una conexión sináptica preexistente entre dos neuronas de cambiar en función de la actividad neuronal (De Pittà et al., 2016), factor de suma importancia en los procesos de aprendizaje y de memoria. Durante los primeros años de desarrollo encefálico se produce una gran cantidad de conexiones sinápticas (sinaptogénesis) conocidas como «sinaptogénesis exuberante» (Huttenlocher y Dabholkar, 1997). La sinaptogénesis es de suma importancia durante el periodo crítico del lenguaje. Para más información consultar (De Pittà et al., 2016; Friederici y Wartenburger, 2010; P. K. Kuhl, 2010, 2011; P. Kuhl y Rivera-Gaxiola, 2008; Qin et al., 2019; Rodríguez-Fornells et al., 2009; Schulz et al., 2001).

³¹ Las neuronas piramidales son un tipo de neuronas multipolares situadas en diferentes partes del encéfalo, particularmente la corteza, la amígdala y el hipocampo. El funcionamiento de estas neuronas no solo se ha relacionado con cuestiones motoras, sino también con funciones cognitivas; esto, al ser consideradas como fuente primaria de excitación en la corteza prefrontal ampliamente involucrada en procesos de lenguaje, cognición social y funciones ejecutivas (Y. Yang y Raine, 2009). Con base en estudios de análisis de minicolumnas corticales, se ha visto que la complejidad de este tipo de células aumenta con respecto a la profundidad de la capa en que se encuentra, razón por la cual se les ha considerado ampliamente relevante dentro del desempeño cognitivo de los seres humanos (Elston, 2003).

³² *Cross-sectional Study*: también conocido como *Cross-sectional Analysis*, estudio transversal o estudio de prevalencia, es un tipo de estudio observacional que analiza datos tomados de la población o de una fracción representativa de esta en un momento específico del tiempo; lo que también se conoce como *Cross-sectional Data* (Lee, 1994). Este tipo de estudio se clasifica dentro de los estudios observacionales porque no existe ningún tipo de manipulación de las variables por parte de los investigadores; puesto que la intención de este tipo de estudios es la de conocer la prevalencia de una condición a fin de determinar la frecuencia de la misma en un grupo de sujetos durante un momento determinado (Villasís-Keever y Miranda-Navales, 2016).

longitudinales se ha observado que, con el declive del volumen de la sustancia gris durante la infancia y la adolescencia, el volumen de la sustancia blanca en la corteza prefrontal aumenta significativamente a medida que los haces de fibras (tractos nerviosos o fascículos cerebrales)³³ crecen y se mielinizan durante el mismo periodo de tiempo. Este tipo de cambios son evidentes en el incremento del volumen de la sustancia blanca en los lóbulos frontales entre los siete y los 16 años (Sowell, et al., 2002), y se encontró evidencia de ello a través de estudios en los cuales se pudo constatar que la difusión a lo largo de las fibras de sustancia blanca era más anisotrópica con el paso de los años³⁴ en varias regiones de la corteza prefrontal (área lateral derecha, medial y la corteza prefrontal rostral) (Uytun, 2018).

Filogenéticamente, los lóbulos frontales no solo son las regiones cerebrales más recientes en los mamíferos, sino que también son las de mayor desarrollo, particularmente en los homínidos. Se encuentran anteriores al surco central y por encima del surco lateral. Cada lóbulo frontal está conformado en su cara externa por cuatro circunvoluciones o giros, tres paralelas y uno transversal; estos son: el giro frontal superior, el giro frontal medio, el giro frontal inferior y el giro poscentral (Latarjet y Liard, 2004). Los lóbulos frontales están conformados por la corteza motora primaria (AB. 4), la corteza premotora, motora secundaria o asociativa (AB. 6), el campo ocular frontal (AB. 8), el área de Brocca (AB. 44 Y 45) y la corteza prefrontal (AB. 8, 9, 10, 11, 12, 13, 24, 25, 32, 33, 44, 45, 46, 47) (Crossman, 2008; Fuster, 2015); Goldberg, 2002) (ver figura 7). Tanto en humanos como en primates no-humanos, los lóbulos frontales han sido divididos en tres regiones: una región lateral, implicada en funciones cognitivas (planeación, memoria de trabajo, planificación, solución de problemas, inhibición motora, entre otros), una región orbital, implicada en el control sensorial y emocional así como en la

³³ Los fascículos cerebrales son conjuntos de haces o fibras nerviosas de materia blanca que conectan las diferentes regiones del encéfalo permitiendo con ello la fluidez de la información (Palacios & Clavijo-Prado, 2016). Estos haces de fibras nerviosas se clasifican en tres tipos: comisurales, de asociación y de proyección (Hernández et al., 2019).

³⁴ En un periodo que va desde los seis hasta los 19 años (Uytun, 2018).

toma de decisiones que impliquen factor de riesgo/beneficio (Valdés y Torrealba, 2006), y, por último, una región medial, vinculada con las respuestas viscerales del organismo, conductas motoras relacionadas con el inicio del movimiento y la autoconcepción (Sturm y Levenson, 2016).

<i>Regiones de la corteza prefrontal</i>																	
<i>Lateral</i>					<i>Medial</i>								<i>Orbital</i>				
9	46	45	47	44	8	9	10	12	25	32	33	24	11	11	12	13	14
<i>Dorsolateral</i>	<i>Ventrolateral</i>		<i>Frontomedial</i>			<i>Dorsomedial</i>				<i>Ventromedial</i>		<i>Orbitofrontal</i>					

Figura 7. Subdivisiones de la corteza prefrontal por áreas de Brodmann.

4.1.1. Corteza prefrontal dorsolateral.³⁵ Esta región de la corteza prefrontal está fuertemente implicada en el desempeño de funciones ejecutivas, se ubica posterior a la región lateral frontopolar, anterior a la corteza premotora y entre el surco frontal superior e inferior. La dIPFC comprende las áreas 9 y 46 de Brodmann (ver figuras 7 y 8) y es la región de los lóbulos frontales que más se ha asociado en tareas de funciones ejecutivas como la memoria de trabajo³⁶, atención selectiva (Curtis y D’Esposito, 2003; Lehner, Miller, Matthew y State, 2016), planeación o planificación (Kaller et al., 2011), fluidez verbal (Jiang, 2018), solución de problemas complejos, flexibilidad mental, generación de hipótesis, estrategias de trabajo (Lázaro y Ostrosky-Solís, 2012), recuperación de información (Hoshi y Tanji, 2004), seriación y secuenciación (Stuss y Alexander, 2000). Según Fougne y Marois (2007). Esta región cortical es un punto de intersección clave dentro de las redes de atención dorsal que posibilitan

³⁵ dIPFC por sus siglas en inglés.

³⁶ “La memoria de trabajo mantiene una capacidad de 7 a 10 bits de información siempre que ésta se repita constantemente” (Schmolck et al., 2010, p.248). La prueba más común para medir memoria de trabajo es la prueba del «intervalo de dígitos» en la cual se solicita a los participantes recordar hasta siete de estos. De esta forma se ha podido constatar que, durante la amnesia pura, la memoria de trabajo permanece intacta (Schmolck et al., 2010).

los procesos no solo de selección básica de información, sino de respuesta sensorial, y aunque no mantiene conexiones directas con regiones subcorticales involucradas en el procesamiento de las emociones, se ha visto que influye en la reactividad emocional al alterar los sistemas de atención perceptiva de orden superior (Ochsner, Silvers y Buhle, 2012; Sturm, Haase y Levenson, 2016). También se ha visto que existe una gran relación entre los procesos de metamemoria³⁷ y la dlPFC al mantener control ejecutivo sobre el aparato de memoria (Schmolck, Qureshi y Schulz, 2010); por ejemplo, y agrega el mismo Schmolck et al. (2010), “decide si una memoria recuperada es plausible para un contexto dado, realiza una búsqueda estratégica en el almacén de memoria y ordena temporalmente las memorias”³⁸ (p.248).

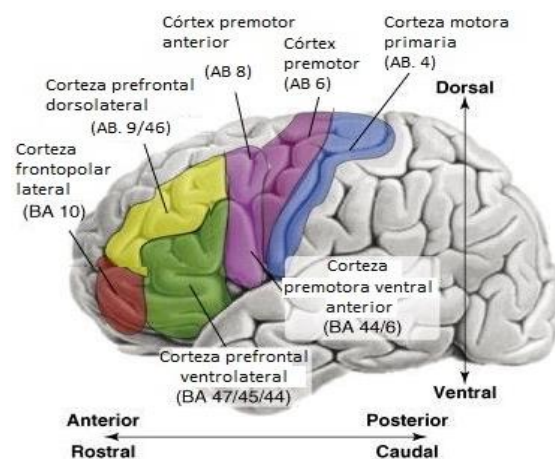


Figura 8. Subdivisiones de los lóbulos frontales. Dumontheil, I. (2014). Development of abstract thinking during childhood and adolescence: the role of rostralateral prefrontal cortex. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 10, 57-76. doi:10.1016/j.dcn.2014.07.0

La dlPFC en participación con la corteza anterior del cíngulo³⁹, han sido reconocidas durante algunos años por ser estructuras fundamentales en el control y el conflicto cognitivo

³⁷ La metamemoria es un proceso cognitivo superior (P. Li et al., 2016) que se refiere al conocimiento que poseen los seres humanos sobre las capacidades y estrategias de memoria con las cuales pueden ayudar a sus procesos memorísticos así como a todos aquellos procesos involucrados en el autocontrol de la memoria (Pannu & Kaszniak, 2005). Aunque la metamemoria juega un papel importante en los juicios de aprendizaje (C. Yang et al., 2018) como el efecto del tamaño de la letra (Hu et al., 2015), según Yang et al. (2018), existen evidencias en las cuales se ha podido comprobar que es susceptible a ilusiones y sesgos.

³⁸ “*It decides whether a retrieved memory is plausible for a given context, does strategic searching of the memory store, and temporally orders memories*” (Schmolck, Qureshi, Schulz., 2010).

³⁹ ACC por sus siglas en inglés.

(Botvinick, Braver, Barch, Carter y Cohen, 2001; Miller y Cohen, 2001), incluyendo el control cognitivo sobre las emociones, anulando con ello prejuicios emocionales prepotentes como al retrasar la gratificación ante una acción o al tomar decisiones en contextos de dilemas morales (Rilling y Sanfey, 2011). En algunos estudios como los llevados a cabo por Ramirez-Mahaluf, Perramon, Otal, Villoslada y Compte, (2018) se ha podido comprobar la interacción entre la ACC y la dlPFC no solo en procesos de regulación emocional y cognitiva, consistentes con los resultados reportados por Ochsner et al., (2013) y Rilling y Sanfey, (2011), sino en procesos de contextualización de la información; por ejemplo, se ha conseguido observar que existe una mayor activación de estas regiones ante el incumplimiento de un trato pactado (romper una promesa) en comparación con las situaciones en que la misma promesa ha sido respetada⁴⁰ (Baumgartner, Fischbacher, Feierabend, Lutz y Fehr E, 2009). Por medio de un estudio llevado a cabo por Knoch, Pascual-Leone, Meyer, Treyer y Fehr, (2006) en el cual se hizo uso de estimulación magnética transcraneal⁴¹, se analizó el comportamiento de diferentes sujetos encargados de responder en el juego del ultimátum⁴² y en los cuales se pudo observar que, se hallaban disrupciones en el lado derecho de la dlPFC (mas no en el izquierdo) relacionadas con la disminución en el volumen de rechazos a ofertas injustas en el primer intento.

Por otra parte, la disrupción de la actividad de la dlPFC izquierda se encuentra relacionada con la reducción del fuerte deseo a la nicotina en periodos cortos con base en que, la

⁴⁰ De esta manera se puede ver que: para la mayoría de las personas romper una promesa requiere de un alto esfuerzo cognitivo en comparación con respetar, mantener o retribuir dicha promesa, la cual obedece a un sesgo de respuesta prepotente. Esto puede hablar de que, bien sea innato, social o por predisposición genética, los seres humanos tienden a la reciprocidad altruista mientras, anularla, implica de una alta demanda cognitiva (Rilling y Sanfey, 2011).

⁴¹ *Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation* o rTMS por sus siglas en inglés, es un método no invasivo de estimulación cortical utilizado en el tratamiento de diversos desórdenes neuropsiquiátricos (Gorelick, Zangen y George, 2014).

⁴² *The Ultimatum Game* o el juego del ultimátum, es un juego experimental que hace parte de la teoría de juegos como el juego del prisionero o el juego del dictador y ha sido utilizado en muchas ocasiones como evidencia en contra de las teorías del *Homo economicus*, evidenciando que entre los seres humanos priman las elecciones de justicia y equidad por sobre las del beneficio. El juego del ultimátum evalúa la capacidad de toma de decisiones (relacionada con el funcionamiento de la dlPFC) involucradas en el desempeño cooperativo y la interacción social (Girardi, Sala y MacPherson, 2018).

estimulación transcraneal podría inducir efectos placenteros en el cerebro de fumadores adictos mediados en principio por el sistema de recompensa dopaminérgico (Pripfl, Tomova, Rieckensky y Lamm, 2014). También se ha visto el papel de la dlPFC en el procesamiento de la información sensorial, la recuperación e integración de la información y la generación de información nueva necesaria en la planeación de respuestas motoras futuras (Hoshi y Tanji, 2004); puesto que, entre sus tantas funciones, la corteza prefrontal dorsolateral media las contingencias transversales entre la percepción y el movimiento (Mayer y Saper, 2000). Por otra parte, las neuronas de la dlPFC muestran sensibilidad no solo a aquello que es preciso ser recordado durante una tarea específica, sino a la recompensa que se obtendrá como resultado de esta tarea, y pese a que la dlPFC no mantiene conexiones directas con el sistema de recompensa tal cual lo afirman Ochsner et al., (2012) y Sturm et al., (2016), la expectativa de recompensa jugaría un papel fundamental en los efectos moduladores sobre el procesamiento de la memoria de trabajo en la dlPFC (Kobayashi, 2009). Jacobsen (1935) citado por (Szczepanski & Knight, 2014), encontró asociación entre lesiones en la corteza prefrontal y la pérdida de la capacidad de recuperación de las memorias recientes (ver pág. 73). Estos estudios contribuyeron en el descubrimiento de la importancia de la corteza prefrontal en la conservación directa de las memorias recientes (Szczepanski y Knight, 2014). Algunas investigaciones, como la llevada a cabo por Funahashi, Bruce y Goldman-Rakic, (1989), han demostrado que ciertas neuronas en la dlPFC de los monos muestran mayor actividad durante pruebas de respuesta diferida (mejor conocida como *Deleyed-response task*⁴³), lo que sugeriría la importancia de estas neuronas en los procesos de recuperación de memoria; esto, con base en que, lesiones en la dlPFC de los monos han sido observadas como causal de deficiencias en pruebas como el *Deleyed-response task* (Funahashi y Bruce, 1993). En vista de ello, algunos

⁴³ El *Deleyed-response Task* es un paradigma clásico en el estudio de la memoria de trabajo en animales humanos y no humanos (Rodríguez & Paule, 2009).

investigadores han reportado que, monos con lesiones en la dIPFC (específicamente las áreas 9 y 46 de Brodmann), y humanos con lesiones y daños focalizados en las regiones homólogas a las de los monos, demostraron serios problemas en procesos de memoria de trabajo en tareas en las que debían seleccionar o señalar figuras diferentes intentando no repetir ninguna hasta asegurarse de haberlas señalado todas⁴⁴ (Petrides, 1995; Szczepanski y Knight, 2014). Investigaciones posteriores, llevadas a cabo en humanos con lesiones prefrontales, han contribuido al reforzamiento de las teorías que apoyan la importancia de la dIPFC en los procesos relacionados con la memoria de trabajo (Barbey, Koenig y Grafman, 2013). Aun así, mientras cierta evidencia sustenta la importancia de la dIPFC en los procesos de memoria de trabajo, otros estudios han encontrado que la memoria de trabajo no se ve alterada ante daños o lesiones en la dIPFC en humanos (D'esposito, Cooney, Gazzaley, Gibbs y Postle, 2006); esto, en vista de que, al parecer, en humanos, esta región se encuentra involucrada en procesos de monitoreo y manipulación del contenido de la memoria de trabajo. Con base en la información disponible, se podría entrever que el papel de la dIPFC estaría implicado en la reacomodación, transformación o seguimiento de los estímulos o eventos que impliquen a la memoria de trabajo, más que con los procesos de activación o conservación de las memorias recientes, al menos en humanos (Szczepanski y Knight, 2014).

4.1.2. Corteza orbitofrontal.⁴⁵ La OFC es una gran franja de corteza cerebral ubicada en la región ventral de los lóbulos frontales, hace parte del manto arquicortical que proviene de la corteza olfatoria caudal orbital (Donald T. Stuss y Levine, 2002) y sus funciones *grosso modo* se encuentran estrechamente relacionadas con el control de las emociones y el sistema límbico (Lázaro y Ostrosky-Solís, 2012). A diferencia de la dIPFC, la región orbito frontal de la corteza

⁴⁴ Un estudio similar tomado de la BANFE-2 (señalamiento autodirigido) se aplicó como parte de la prueba llevada a cabo en la presente investigación y explicada con detalle en la sección de herramientas de evaluación neuropsicológica.

⁴⁵ OFC por sus siglas en inglés.

prefrontal no cuenta con divisiones específicas o límites claramente establecidos⁴⁶; pese a esto, las áreas comúnmente asociadas con la OFC suelen ser las AB 11, 12, 13, 14 (Edmund T. Rolls, 2002) y 47 (Rudebeck & Rich, 2018). (ver figura 9).

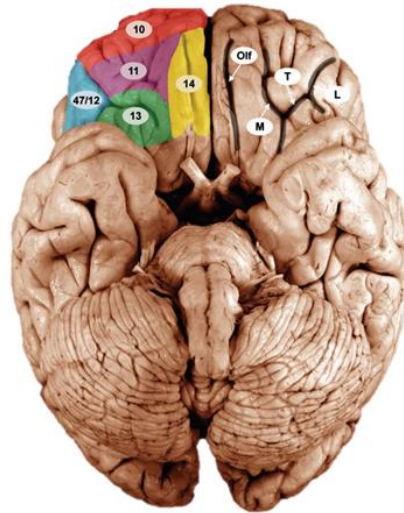


Figura 9. Cara ventral del cerebro humano ilustrando citoarquitectónicamente las distintas regiones de la corteza orbitofrontal excluyendo el AB 10. Wallis J. D. (2007). Orbitofrontal cortex and its contribution to decision-making. *Annu. Rev. Neurosci.* 30:31 - 56. doi: 10.1146/annurev.neuro.30.051606.094334.

Dentro de las funciones de la OFC se ha visto que es esta la encargada de representar el valor afectivo de los reforzadores primarios como el sabor, el tacto, la textura e incluso las expresiones faciales. De igual manera se ha evidenciado la capacidad asociativa que ejerce sobre los estímulos aferentes que permiten la producción de representaciones de recompensa ante estímulos visuales, auditivos y abstractos, como el valor de la recompensa monetaria (Rolls y Grabenhorst, 2008). La OFC no solo se relaciona con el procesamiento y la regulación de las emociones y estados afectivos, sino que, se encuentra fuertemente involucrada en la regulación y control de la conducta (Damasio, 1998) y la regulación de cambios en las

⁴⁶ Tal cual agregan Rudebeck y Rich (2018), *corteza orbitofrontal* no es más que una etiqueta neuroanatómica general, cuya semejanza geográfica se hallaría en términos como: *el sureste asiático* o *el medio oriente*; términos que, pese a ser de dominio público, las ideas particulares sobre los límites de dichas regiones constituyen diferencias ampliamente significativas (Rudebeck y Rich, 2018).

OFC recibe enormes cantidades de información sensorial provenientes de las áreas somatosensoriales así como información asociativa proveniente de la amígdala, mientras, de igual modo, en ambos casos, envía respuestas motoras y límbicas al estriado y al NAcc (Berridge y Kringelbach, 2008). En estudios llevados a cabo por Li et al., (2019), se pudo observar la relación que existe entre el incremento de la actividad en la región lateral de la OFC y mayores niveles en la experiencia de placer y recompensa, afirmando con ello lo ya reportado por Berridge y Kringelbach (2008).

Parte de los antecedentes para comprender las respuestas neuronales en la corteza orbitofrontal, son las conexiones anatómicas que mantiene con otras regiones del encéfalo (Rolls y Grabenhorst, 2008). Yaxley, Rolls y Sienkiewicz (1990), fueron los primeros en descubrir un área relacionada con el procesamiento del sabor en la corteza orbitofrontal lateral, conocida como corteza gustativa secundaria y que se caracteriza por la gran cantidad de aferencias provenientes de la corteza gustativa primaria (Baylis, Rolls y Baylis, 1995). De igual manera, de forma medial se encuentra un área olfatoria (Rolls y Baylis, 1994). Anatómicamente existen conexiones directas que van desde la corteza olfativa primaria y la corteza piriforme al AB. 13a (ver figura 11) de la corteza orbitofrontal posterior que a su vez mantiene conexiones con el AB. 11 en la región media de la corteza orbitofrontal (Barbas, 1993; Carmichael, Clugnet y Price, 1994).

Thorpe, Rolls y Madison (1983) (citado por Rolls y Grabenhorst, 2008) encontraron neuronas de respuesta visual en la corteza orbitofrontal que, anatómicamente, llegaban a ella desde la corteza temporal inferior⁴⁷, la corteza temporal superior⁴⁸ y el polo temporal⁴⁹. La corteza orbitofrontal no solo recibe información olfativa, gustativa, visual y sensorial, como ya se ha mencionado antes (ver figura 9), sino que, y ya desde los años ochenta del siglo XX, se

⁴⁷ Área relacionada con la identificación y representación de objetos y rostros (Edmund T. Rolls et al., 2008).

⁴⁸ Lugar en el que las expresiones y las gesticulaciones faciales son representadas (Hasselmo et al., 1989).

⁴⁹ Para más información sobre conexiones entre el polo temporal y la corteza orbitofrontal, consultar: (Barbas, 1988, 1993, 1995; Carmichael & Price, 1995)

ha visto por medio de estudios de resonancia magnética que también recibe información de áreas auditivas (Barbas, 1988; Rolls, 2002) y somatosensoriales (ver figura 11) provenientes de las áreas 1 y 2 de la corteza somatosensorial y la corteza somatosensorial secundaria⁵⁰ (SII) en el opérculo central y pericentral, así como desde la ínsula (Barbas, 1988; Carmichael & Price, 1995).

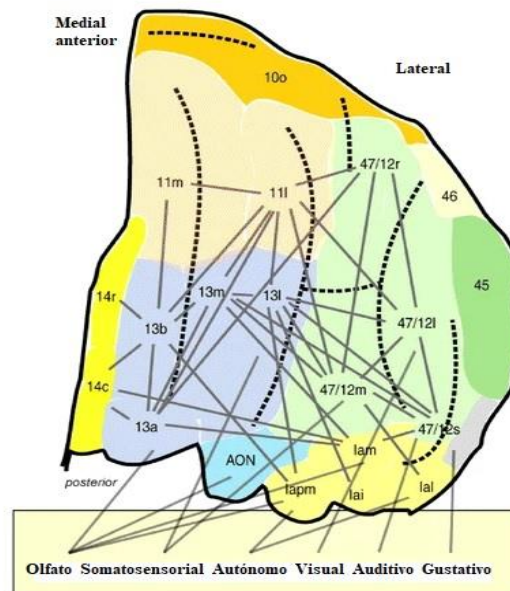


Figura 11. Modelo de las funciones de la OFC: Detalle de las aferencias y el movimiento de la información hacia y dentro de la OFC. El ejemplo se esquematiza sobre un solo hemisferio de la OFC. Berridge, K., Kringelbach, M. (2008). Affective neuroscience of pleasure: reward in humans and animals. *Psychopharmacology*. 199(3): 457-480. doi:10.1007/s00213-008-1099-6.

La amígdala cerebral es una estructura crítica en la generación de respuestas apetitivas o aversivas, hace parte del sistema límbico y mantiene conexiones directas con la corteza orbitofrontal que posee una densa inervación dopaminérgica; evidencia de que la comunicación entre las estructuras del complejo amigdalino y las partes más mediales de la corteza orbitofrontal, son críticas para el procesamiento emocional, en particular, aquellas situaciones

⁵⁰ La corteza somatosensorial secundaria o SII, es una porción de la corteza en el opérculo parietal justo por encima del surco lateral o cisura de Silvio caracterizada por su heterogeneidad citoarquitectónica. Se ha visto mediante estimulación intraoperatoria y estudios de imagenología cerebral, que muestra activación en respuesta al toque ligero, el dolor y las sensaciones viscerales. Y aunque existe la definición funcional de esta región, su extensión anatómica aún permanece indefinida (Eickhoff et al., 2006).

que tienen que ver con la obtención de placer o la respuesta de lucha o huida. De igual modo, es crítico en las circunstancias de incertidumbre (Henriquez, 2010).

La corteza orbitofrontal participa de forma activa en procesos relacionados con toma de decisiones basadas en la estimación riesgo-beneficio (Bechara, Damasio y Damasio, 2000) y su papel se ve mucho más claro en situaciones que involucran toma de decisiones en situaciones inciertas, poco específicas o impredecibles (Lázaro y Ostrosky-Solís, 2012). De igual modo es fundamental en la obtención de la recompensa ante el éxito de una acción jugando un papel preponderante en los procesos de aprendizaje mediante la asociación estímulo-refuerzo (Rolls, 2017); y es su región ventromedial la que se ha relacionado con la detección de situaciones de riesgo (Lázaro y Ostrosky-Solís, 2012) mientras, la región lateral, se ha relacionado con el procesamiento de los matices negativos y positivos de las emociones (Bechara et al., 2000). En conclusión, la corteza orbitofrontal cumple una función importante como estructura integradora de información en la cual se considera siempre la recompensa; en otras palabras, la corteza orbitofrontal calcula cuán gratificante es una recompensa (Wallis, 2007).

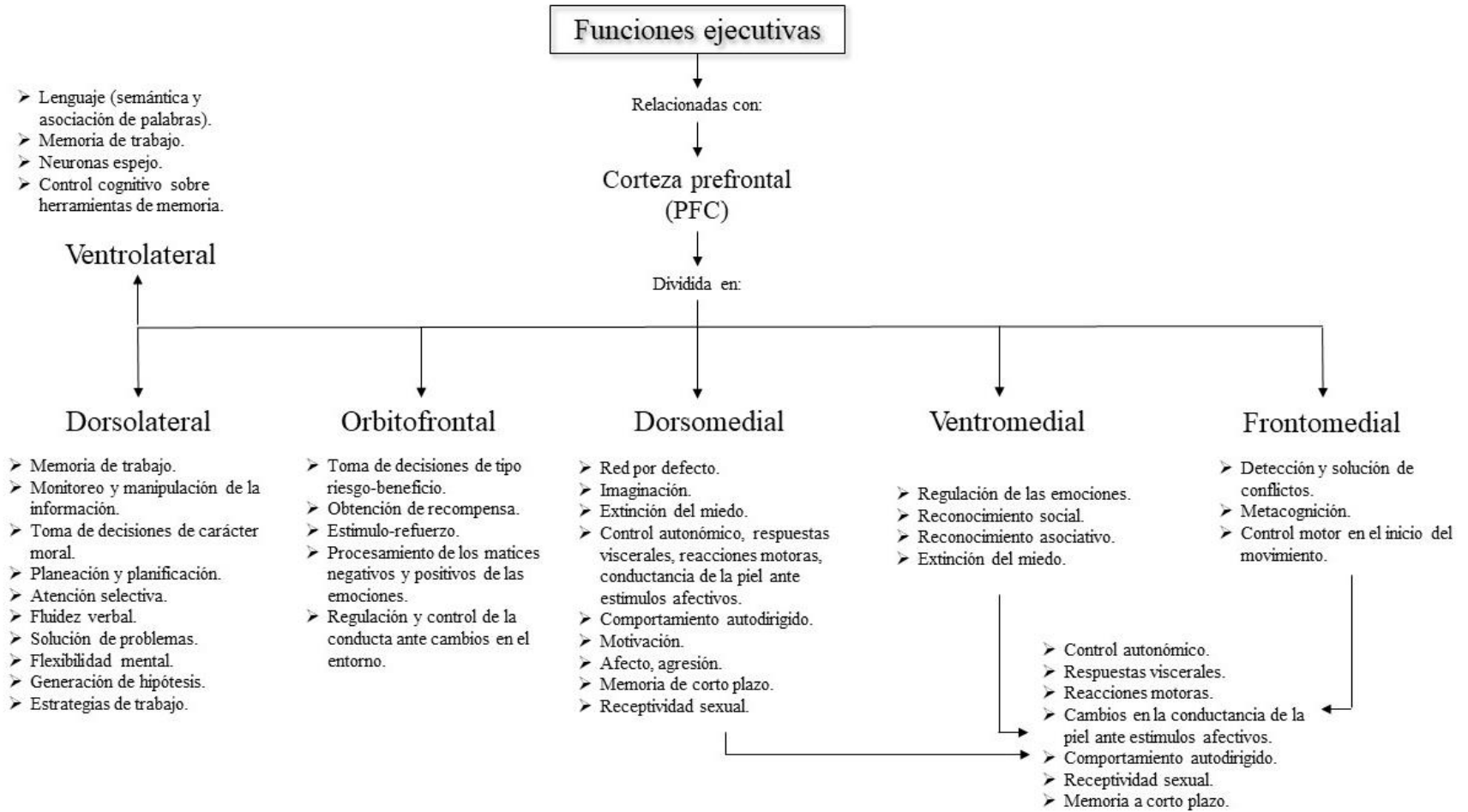
4.1.3. Cortezas fronto, dorso y ventromedial. La región medial de la PFC incluye parte de las AB 8, 9 y 10 y las AB 11, 12, 24, 25, 32 y 33⁵¹ (Crossman, 2008; Fuster, 2015; Goldberg, 2002), y, según autores como Buckner and Carroll, (2007); Sturm and Levenson (2016) o Waytz, Zaki and Mitchell (2012), puede ser dividida en dorsal y ventral. Por otra parte, las regiones postero-anteriores de la corteza prefrontal media se componen de las AB 8, 9 y 10; de esta manera se puede agregar que, las regiones mediales de la PFC se encuentran divididas en: corteza prefrontal frontomedial (fmPFC), corteza prefrontal dorsomedial (dmPFC) y corteza prefrontal ventromedial (vmPFC). La región medial de la PFC participa activamente en procesos de inhibición y atención, así como en situaciones relacionadas con la detección y solución de conflictos (Badgaiyan & Posner, 1997); y pese a que los desórdenes neurológicos

⁵¹ Las AB 24 y 32 constituyen la corteza anterior del cíngulo (ACC) (Fuster, 2016).

resultantes del daño en las regiones frontomediales se encuentran poco definidos, se ha visto que afectaciones en el AB 8 con frecuencia se hallan relacionadas a problemas de tipo motor en cuanto al inicio del movimiento de las extremidades, los ojos y la boca (en movimientos relacionados con la producción del lenguaje) (Fuster, 2015).

La corteza prefrontal dorsomedial (dmPFC) es considerada por ser un nodo necesario en lo que se conoce como «red por defecto» (*default mode network*) y se encuentra relacionada con la capacidad humana de proyectarse a sí mismo fuera del presente y enfocarse en cosas o situaciones que se encuentran aisladas del aquí y el ahora (Buckner and Carroll, 2007; Sturm, Hasse, and Levenson, 2016; Waytz, Zaki, and Mitchell, 2012). Según Marek et al., (2013), parte de las funciones de las regiones mediales de la PFC (dlPFC y vlPFC) se encuentran relacionadas con los procesos de extinción del miedo, lo que de hecho resulta ser de gran importancia en los procesos de aprendizaje. Por otro lado, se ha visto que el grosor cortical en la corteza prefrontal ventromedial (vmPFC) mantiene una correlación positiva con el rendimiento en tareas de reconocimiento asociativo (Brehmer, Nilsson, Berggren, Schmiedek, and Lövdén, 2019). También se ha visto el papel de la vmPFC en los procesos relacionados con la memoria de reconocimiento social que permite la distinción entre familiares y desconocidos, una habilidad fundamental y necesaria en las especies sociales como los roedores y los seres humanos (Aschidamini, Marcondes, Godfried, Nachtigall, Zanluchi, et al., 2019). Por otro lado, Fuster (2002) agrega que el papel de la vmPFC se ha visto implicado en la regulación de la agresión y los estados de ánimo relacionados con la motivación. Además, la porción inferomedial del AB 32 se encuentra directamente ligada con procesos relacionados con el control autonómico, las respuestas viscerales, las reacciones motoras y los cambios de conductancia en la piel ante estímulos afectivos (Ongür et al., 2003); también se le ha relacionado con el comportamiento autodirigido, el afecto, la motivación, la agresión, la memoria de corto plazo e incluso la receptividad sexual (Carmichael & Price, 1995).

Figura 12. Mapa conceptual de la neuroanatomía de las funciones ejecutivas.



5. Lesiones en la Corteza Prefrontal y Afectaciones en las Funciones Ejecutivas

“La biología te da un cerebro... la vida la convierte en una mente”.

Jeffrey Eugenides

Hasta hace varias décadas, el papel de los lóbulos frontales en las funciones cognitivas del cerebro se mantuvo prácticamente difuso, envuelto en incertidumbre, por lo que, es habitual encontrar a lo largo de las primeras investigaciones (llevadas a cabo en humanos y monos) que, la corteza prefrontal podría ser removida sin causar cambios severos en las capacidades mentales o cambios en la conducta (Hebb, 1939), mismos que, a su vez, favorecían la idea de la pasividad de la corteza prefrontal en los procesos cognitivos⁵². Este tipo de teorías contribuyeron al desarrollo y aplicación de prácticas ampliamente aceptadas⁵³ como tratamiento efectivo a diversos desórdenes psiquiátricos durante la primera mitad del siglo XX (Szczepanski y Knight, 2014). Durante los últimos años, investigaciones llevadas a cabo sobre la corteza prefrontal dieron evidencia de la relevancia de estas estructuras en el desempeño de procesos cognitivos como el pensamiento autodirigido y la conducta (Donald T. Stuss y Knight, 2013).

La corteza prefrontal es importante en numerosas funciones mentales, entre las cuales se encuentra la memoria, que mantiene conexiones con prácticamente todas las regiones del cerebro, entre ellas el tálamo. Por las numerosas conexiones que existen entre el tálamo y la corteza prefrontal, se ha visto que lesiones en esta estructura del sistema límbico podrían estar involucradas en el deterioro de ciertas funciones ejecutivas como la atención, el comportamiento autodirigido y la regulación de la conducta (Perea Bartolomé y Ladera Fernández, 2004). Por otra parte, Perea Bartolomé y Ladera Fernández (2004) agregan que, y

⁵² Para más información consultar (Greenblatt, 1953; Hebb, 1939, 1941; A. Petrie, 1952; Asenath Petrie, 1952).

⁵³ Lobotomía, leucotomía.

aunque aún no hay evidencia suficiente que respalde tal cosa, “daños en el núcleo anterior del tálamo estarían involucrados con afectaciones en la memoria de trabajo” (p.691). Del mismo modo, “daños en el núcleo dorsolateral del tálamo pueden dar lugar a una desorganización temporal del recuerdo que afectaría no solo la información nueva sino la información antigua” (Perea Bartolomé y Ladera Fernández, 2004, p.691), esto, al generar afectaciones o fabulaciones como las que se describen en el síndrome de Korsakoff⁵⁴. Se ha visto que el 100% de los pacientes con este padecimiento tienen alteraciones en la región dorsolateral del tálamo. Por otra parte, las fabulaciones descritas en el síndrome de Korsakoff alcohólico, se han relacionado con deterioro en la memoria declarativa y disfunciones de los lóbulos frontales particularmente en las regiones orbitales y ventromediales de la corteza prefrontal (Turner et al., 2008), lo que generaría la incapacidad de distinguir una memoria verdadera de una falsa o inapropiada para el contexto (Schmolck et al., 2010). A esto, Oliver Sacks agrega que una de las causas del síndrome de Korsakoff alcohólico se debe al deterioro de los cuerpos mamilares.

El daño de la OFC puede perjudicar los procesos de aprendizaje a través de las asociaciones de estímulo-refuerzo, afectando con ello las correcciones de las respuestas conductuales cuando ya no son apropiadas, en vista de que las contingencias de refuerzo anteriores cambian (Rolls, 2002). A esto, Rolls (2002) agrega que, parte de la información que llega a la OFC, es de tipo facial, por lo que, un daño en esta región no solo afecta la conducta y ciertas herramientas involucradas en los procesos de aprendizaje, sino que, aunado a esto, afecta el proceso de identificación de expresiones faciales y vocales. Además, también se ha visto que daños en la OFC se encuentran relacionados con la euforia, la impulsividad y la desinhibición emocional en general, en vista de que la OFC se encuentra relacionada con la elección

⁵⁴ El síndrome de Korsakoff, también mencionado como de Wernicke-Korsakoff, es un síndrome neuropsiquiátrico agudo que se caracteriza por: “nistagmo, parálisis ocular motora, y cambios en el estado mental y en la marcha, los cuales también se describen en la encefalitis por citomegalovirus (CMV) debido a que ambas condiciones afectan zonas como la sustancia gris periacueductal y el tálamo” (Uribe et al. 2017, p.448). “El síndrome de Korsakoff es, pues, una amnesia anterógrada, tanto para información verbal como no verbal, que se traduce en notables dificultades para aprender nuevos nombres, caras y hechos” (Truffino, 2004, p.66).

apropiada de acciones, sobre todo en situaciones en las que se encuentran presentes la novedad y la incertidumbre (Henríquez, 2010). Por esta razón, daños en la OFC pueden producir patrones de deficiencia inusuales; por ejemplo, personas sin afectaciones en sus funciones cognitivas, podrían dar señas de deterioro en la toma de decisiones diarias (Wallis, 2007); de esta manera, deficiencias en el funcionamiento de la OFC han sido reportadas en su mayoría como desórdenes psiquiátricos (Li et al., 2019). En conclusión, daños en las regiones mediales y orbitales de la corteza prefrontal, estarían implicadas en el deterioro del comportamiento, el control emocional, la motivación, la memoria a corto plazo e incluso la capacidad en la respuesta sexual (Carmichael & Price, 1995), el control oculomotor (Hodgson, Chamberlain, Parris, James, Gutowski, Husain, Kennard, 2007; Hodgson, 2019), la atención espacial, el control inhibitorio y el lenguaje; esto, en cuanto a las regiones ventrolaterales (AB 44, 45 y 47) (Szczepanski & Knight, 2014). De igual modo, se han observado alteraciones en los procesos relacionados con tareas de flexibilidad cognitiva ante alteraciones en las regiones ventrolaterales que suelen manifestarse en forma de perseveraciones o inflexibilidad, lo cual puede entenderse como la acción repetida e ininterrumpida de una tarea o pensamiento que subyace la imposibilidad en el cambio de un trabajo a otro (Rubiales et al., 2013).

Lesiones en la dlPFC se encuentran relacionados con deficiencias en procesos mentales tales como: memoria de trabajo, aprendizaje de reglas, planificación, atención y motivación (Szczepanski y Knight, 2014). De igual modo, pacientes con deficiencias en las regiones laterales de la corteza prefrontal, dan evidencia de alteración en el ordenamiento temporal de los eventos (Shimamura, Jurica, Mangels, Gershberg y Knight, 1995), daños que a su vez se relacionan con deficiencias en los procesos de recuperación estratégica de la memoria (Mangels, 1997). Por tal motivo es posible entrever que, personas con daños en las regiones laterales de la PFC, específicamente en la dlPFC, tienen problemas en cuanto a la organización

de la información aprendida y con ello, interrupciones en la recuperación de este material a futuro (Szczepanski y Knight, 2014).

6. El Nivel Sonoro en la Música y Su Impacto en los Procesos de Planificación, Inhibición y Memoria de Trabajo Visuoespacial

“Music is the perfect type of art. Music can never reveal its ultimate secret.”⁵⁵

Oscar Wilde, The Critic as Artist.

El procesamiento cognitivo de diferentes tareas como la comprensión lectora, el escuchar música y la resolución de problemas matemáticos requieren de información de secuencias que les permita organizarse en una estructura integradora (Van de Cavey y Hartsuiker, 2016). La memoria de trabajo es un banco de almacenamiento de memoria limitada y susceptible a interferencias (Etchepareborda y Abad-Mas, 2005) en la cual, y por su propia susceptibilidad, al parecer, existen superposiciones en el procesamiento integracional de la información, tal cual se evidencia cuando, por ejemplo, estímulos musicales y lingüísticos son presentados simultáneamente (Koelsch, Gunter, Wittfoth y Sammler, 2005). Ante estos ejemplos, sobre todo en aquellos en los cuales se produce un factor sorpresa en la música (un acorde fuera de tono⁵⁶), se ha visto un aumento en el costo cognitivo relacionado con el tiempo requerido de lectura ante palabras sin sentido sintáctico (los niña ríe sola) versus palabras con sentido sintáctico en una oración (la niña ríe sola) (Van de Cavey y Hartsuiker, 2016). Esto bien podría relacionarse desde el punto de vista neuroanatómico teniendo en cuenta que, en estudios de neuroimagen, se ha visto activación en el giro frontal inferior izquierdo y derecho tanto para

⁵⁵ *“La música es el perfecto modelo de arte porque no puede revelar nunca su último secreto”*. Oscar Wilde, The Critic as Artist.

⁵⁶ Con el término “acorde fuera de tono”, los autores se refieren a un acorde ajeno a la tonalidad y al cual se llega sin ningún tipo de preparación melódica o armónica, o sea, de manera sorpresiva; por ejemplo, la aparición imprevista del acorde de fa sostenido mayor (F#) en la tonalidad de do mayor (C).

errores sintácticos musicales (Tillmann, 2012) como lingüísticos (Friederici, Rüschemeyer, Hahne y Fiebach, 2003).

Según la teoría de dependencia local (DLT)⁵⁷ propuesta por Gibson (2000), se afirma que, a mayor distancia entre dos elementos, mayor dificultad existe en los procesos de integración estructural. Esto, en vista de que las estructuras de la DLT se basan en recursos de memoria de trabajo (Van de Cavey y Hartsuiker, 2016). Por tanto, la construcción de una representación estructural parcial a través de la integración de la información estructural disponible podría depender críticamente del dominio general de la memoria de trabajo sintáctica (Kljajevic y Murasugi, 2010). Siendo así, “la memoria de trabajo sintáctica podría entenderse como una interfaz entre las reglas específicas del dominio almacenadas en la memoria a largo plazo y los rápidos procesos de la memoria de trabajo involucrados en el procesamiento de las dependencias entre los elementos a lo largo de estas reglas” (Van de Cavey y Hartsuiker, 2016, p.173)⁵⁸. Por último, la agenda de memoria de trabajo visuoespacial o bucle visuoespacial (*visuoespacial sketchpad*, ver figura 5) no solo es limitada y susceptible a interrupciones, sino que es crítica en la retención de información en la memoria espacial (Baddeley, 2000).

Los estados de ánimo pueden ser alterados mediante variaciones en el *tempo* y la intensidad de la música que, según Thompson et al., (2012), tienen la capacidad de afectar procesos cognitivos con una alta demanda atencional como la comprensión lectora. La multitarea es una de las funciones ejecutivas del cerebro que dependen de la superposición de dominios; por ejemplo: escuchar música y estudiar. Pese a ser una conducta habitual, se ha visto que podría afectar el desempeño de procesos atencionales e inhibitorios requeridos entre otras cosas, en procesos de comprensión lectora (Thompson et al., 2012), planificación y memoria de trabajo (Keeler y Cortina, 2018). En vista del aumento del uso de audífonos entre los adolescentes y

⁵⁷ *Dependency Locality Theory (DLT)*.

⁵⁸ “*This SWM could then be construed as an interface between domain-specific rules stored in the longterm memory and rapid working memory processes involved in the processing of dependencies between elements along these rules*” (Van de Cavey y Hartsuiker, 2016, p.173).

los adultos jóvenes, es importante desarrollar investigaciones que permitan a futuro comprender los efectos de escuchar música en elevados niveles de volumen en el desempeño de funciones ejecutivas como las mencionadas previamente (Beentjes, Koolstra y Van der Voort, 1996), y por qué no, propone el autor de presente proyecto, cuestiones de metamemoria relacionadas con el pensamiento crítico. Según Keeler y Cortina (2018), en estudios llevados a cabo durante la década pasada (2000 a 2010), se llegó a reportar que cerca del 70% de los trabajadores de tiempo completo en los Estados Unidos escuchan música durante sus horas de trabajo. Otros reportes agregan que un alto número de trabajadores en el Reino Unido escuchan música al menos el 30% de sus horas laborales (Haake, 2011). Pero, contrario a lo que se podría pensar, siendo la escucha musical un fenómeno a gran escala, son pocos los estudios que han relacionado los diferentes componentes de la música como el ritmo, la melodía, la armonía⁵⁹ e incluso el nivel sonoro con deficiencias en la concentración, el razonamiento, el pensamiento lógico, el estrés psicológico e incluso la conducta en diferentes áreas laborales. Si bien la música se encuentra relacionada con múltiples efectos positivos que van desde lo emocional hasta lo cognitivo pasando por las funciones ejecutivas (inhibición, planificación, toma de decisiones y memoria de trabajo), como lo habrá podido notar el lector a lo largo de este capítulo, pocas son las investigaciones que se han dado en torno a los posibles efectos negativos de la escucha musical en el organismo; en algunos casos, posiblemente, debido a las limitaciones en los laboratorios en los cuales resulta imposible emular los efectos de la escucha musical en escenarios de la vida real (Scanlon, Cormier, Townsend, Kuziek y Mathewson, 2019). Pese a esto, se sabe que la música tiene la capacidad de distraer y causar afectaciones en procesos de atención y concentración (Furnham y Allass, 1999) que a su vez estarían relacionados con un alza en el nivel de errores reportados en tareas de transcripción (Ransdell

⁵⁹ Husain et al., (2002) encontró que, al alterar el tono y el *tempo* de una sonata de Mozart (K. 448, originalmente en D mayor con un tempo de 120 bpm) obtenía diferentes reacciones psicológicas y afectivas en los oyentes.

y Gilroy, 2001), así como el aumento en los niveles de tensión y estrés psicológico; incluso, se ha visto que, dependiendo de ciertos factores, la música podría alentar conductas agresivas en los seres humanos (Greitemeyer, 2009; Bigliassi, et al., 2015). En conclusión, características como el tono, el *tempo*, el ritmo, la melodía, la armonía y hasta el nivel sonoro en el cual el oyente escuche la música, tienen la capacidad de producir respuestas psicológicas y fisiológicas relacionadas con cambios conductuales y cognitivos (Keeler y Cortina, 2018).

7. Herramientas de Evaluación Neuropsicológicas

“El cerebro es el órgano más complicado del universo. Hemos aprendido mucho sobre otros órganos humanos. Sabemos cómo el corazón bombea y cómo el riñón hace lo que hace. Hasta cierto punto, hemos leído las letras del genoma humano. Pero el cerebro tiene 100 mil millones de neuronas. Cada una de ellas tiene unas 10.000 conexiones”.

Francis Collins

Las baterías neuropsicológicas son un conjunto de tareas o evaluaciones (*test*) que exploran el funcionamiento del cerebro humano con el fin de encontrar anomalías; de esta manera, se puede entender a la evaluación neuropsicológica como un proceso por el cual se pretende determinar el estado cognitivo, conductual y afectivo de un sujeto utilizando modelos teóricos, cuestionarios y escalas provenientes de la psicología y la neuropsicología. Para Cronbach & Shapiro (1982), los *test* son procedimientos sistemáticos cuya función es la de observar y describir conductas con la ayuda de escalas numéricas y categorías fijas. En otras palabras, “los *test* son los instrumentos de medida más utilizados por los psicólogos para obtener datos que les ayuden a tomar decisiones sobre las personas” (Muñiz, Hernández y Fernández-Hermida, 2020, p.1), mientras, las baterías psicológicas, son un conjunto de test o evaluaciones. Con base en diversos autores, las baterías estandarizadas resultan de gran utilidad en la evaluación neuropsicológica debido a las puntuaciones que manejan; pese a esto, la extensión que suelen poseer este tipo de pruebas puede acabar generando inconvenientes al hacerse largas, tediosas y complicadas. Con frecuencia, las pruebas utilizadas para medir el desempeño de la PFC resultan tener niveles de exigencia disminuidos, pero, según Stuss y Levine (2002), esta complejidad cognitiva relativamente menor, permite aprovechar de mejor manera y con un mayor nivel de precisión las áreas de la PFC involucradas en el desempeño de procesos mentales específicos, lo que, según diversos estudios, resulta ser uno de los principales objetivos de la neuropsicología de las funciones ejecutivas. La resolución de una prueba

neuropsicológica involucra de manera activa diversas regiones de la corteza cerebral, por lo que, a mayor complejidad de la prueba, mayor serán el número de áreas involucradas (Lázaro et al., 2014). Por otra parte, se ha visto que los componentes principales de una prueba neuropsicológica resultan ser particularmente sensibles al daño de una región cerebral específica (Stuss y Alexander, 2000). Por esta razón, algunas de las pruebas utilizadas dentro del desarrollo metodológico de la presente investigación, se caracterizaron por su bajo nivel de exigencia cognitiva en favor de la especificidad de las áreas cerebrales posiblemente afectadas por el impacto del nivel sonoro en la música.

7.1. Trail Making Test

El Trail Making Test (TMT) es una de las pruebas neuropsicológicas más populares (ver anexo E), razón por la cual suele estar incluida en la gran mayoría de las baterías de prueba (Tombaugh, 2004). Se encuentra dividida en dos partes (A y B) y es utilizada como indicador en procesos de escaneo visual, velocidad grafomotora, memoria de trabajo, control de inhibición, flexibilidad mental y funciones ejecutivas en general (Llinàs-Reglà et al., 2017; Sánchez-Cubillo et al., 2009). En el TMT A y B, los participantes deben hacer juicios categóricos para números, letras y símbolos a lo largo de una serie de pruebas (Arbuthnott y Frank, 2000), de la siguiente manera: para llevar a cabo el desarrollo de la TMT-A (ver figura 13) se precisa que el participante conecte secuencialmente (de menor a mayor) mediante una línea ininterrumpida 25 números al interior de círculos repartidos en una hoja de papel. Los requisitos para el desarrollo de la TMT-B, en esencia, son similares a los requeridos en el TMT-A, con la única diferencia de que, en lugar de unir números secuencialmente de menor a mayor, el participante deberá alternar 12 números con 12 letras del alfabeto de la siguiente manera: 1, A, 2, B, 3, C, 4, D..., etcétera. La puntuación final será el tiempo (en segundos) requerido por cada uno de los participantes para cada una de las pruebas (Max 180 seg TMT-A y max 350

seg TMT-B). Y aunque el TMT fue diseñado en principio como una prueba psicométrica para el ejército de los Estados Unidos en el cual las puntuaciones de corte absoluto se utilizaban para medir el deterioro orgánico (Matarazzo, Wiens, Matarazzo y Goldstein, 1974; Reitan y Wolfson, 1985), estas prácticas pronto entraron en desuso (Tombaugh, 2004) cuando distintas pruebas revelaron que la edad, el nivel educativo y la inteligencia, afectan el rendimiento del TMT (Spreen y Strauss, 1998). A esto se suma que, la interpretación de los puntajes del TMT-A y TMT-B se ve seriamente limitada por la falta de normas integrales que separen la prueba por edad, género y nivel educativo (Tombaugh, 2004).

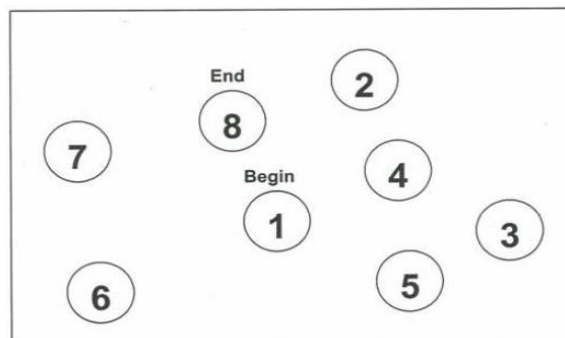


Figura 13. TMT Parte A utilizado durante el desarrollo de la prueba. Hoja A del TMT Parte A.

7.2. BANFE-2.

La Batería de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales (BANFE-2), es una batería neuropsicológica desarrollada por Julio Flores Lázaro, Feggy Ostrosky Shejet y Azucena Lozano Gutiérrez (2012) en la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), que contiene una descripción neuroanatómica y funcional de los lóbulos frontales y las regiones en los que hasta ahora se subdivide, por ejemplo, dorsolateral, ventrolateral, orbitofrontal, ventromedial y frontopolar.

7.2.1. Laberintos. La prueba de laberintos calcula la capacidad para respetar límites y seguir reglas (Lázaro & Ostrosky-Solís, 2012), esta prueba es utilizada como herramienta de medición

en procesos de control inhibitorio, control motriz y planificación (Donald T. Stuss y Levine, 2002), habilidades mentales que, de manera general, implican un mayor funcionamiento de áreas fronto mediales y orbitofrontales (relacionadas con procesos de control inhibitorio) y dorsolaterales (implicadas en procesos de planeación) (Stevens, Kaplan y Hesselbrock, 2003). La prueba de los laberintos de la BANFE-2 se conforma por cinco laberintos organizados de menor a mayor dificultad, ya que, según sus autores, por medio de esta tarea, resulta necesario hacer planeaciones con mayor anticipación espacial con el fin de llegar al objetivo. Los requisitos a lo largo de esta prueba son los siguientes: 1) resolver los laberintos en el menor tiempo posible, 2) no tocar ni atravesar las paredes, 3) no levantar el lápiz una vez iniciada la prueba, con la intención de no interrumpir el trazo (ver figura 14). Para la calificación de esta prueba se debe tomar registro las siguientes cosas: el tiempo (segundos) que le tomó al participante resolver cada uno de los laberintos (Lab. Tiempo), el número de veces que tocó las paredes (Lab. Toca), el número de veces que atravesó las paredes (Lab. Atraviesa) y el número de veces que entró a un camino sin salida (error de planeación) (Lab. Sin salida).

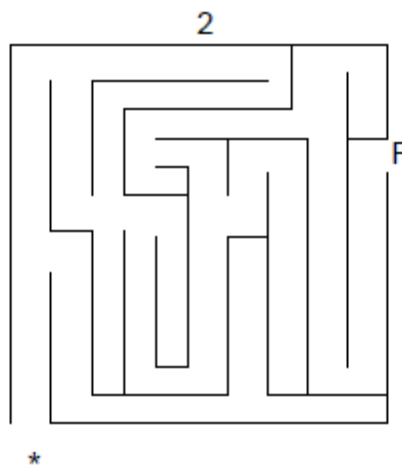


Figura 14. Segundo laberinto utilizado durante el desarrollo de la prueba. El asterisco «*» hace referencia al punto de partida mientras, la «f», se refiere al punto final. Lázaro, JC; Ostrosky, F; Lozano, A; (2014). BANFE-2. Batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales-2. Editorial El Manual Moderno S.A DE C.V.

7.2.2. Señalamiento autodirigido. La prueba de señalamiento autodirigido evalúa la capacidad de cada participante para desarrollar estrategias al tiempo que mide sus habilidades en cuanto a los procesos concernientes a la memoria de trabajo visuoespacial (Lázaro, Gutiérrez y Ostrosky-Solís, 2014). Esta prueba autodirigida está conformada por una lámina con figuras de objetos y animales (ver figura 15) que, cada participante, con ayuda de su dedo índice, deberá señalar de forma salteada sin repetir ninguna.

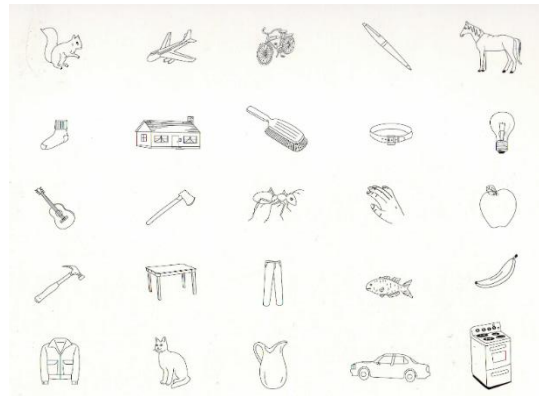


Figura 15. Lámina 1 de la BANFE-2 (señalamiento autodirigido) utilizada como herramienta de evaluación de la memoria de trabajo visuoespacial. Lázaro, JC; Ostrosky, F; Lozano, A; (2014). BANFE-2. Bateria Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales-2. Editorial El Manual Moderno S.A DE C.V.

Según los autores de la prueba, la intención de ésta es que el participante supere por mucho el número de elementos totales que pueda recordar a fin de producir un efecto conocido como *supraspan*⁶⁰; de esta manera, el participante deberá realizar una estrategia que le permita concluir la prueba al tiempo que mantiene en su memoria de trabajo las figuras que ya señaló con la intención de no repetir u omitir alguna. En esta prueba se toman en cuenta las siguientes consideraciones o parámetros: 1) el tiempo empleado en resolver la prueba (que no deberá de superar los 5 minutos), 2) las perseveraciones o el número de veces que señaló una misma

⁶⁰ El *subspan*, el *span* y *supraspan* son medidas no-verbales utilizadas con la intención de evaluar problemas de memoria asociados con el TDAH y la discapacidad de lectura (Douglas, Benezra, 1990). También suelen ser usados para evaluar la capacidad de memoria en la enfermedad de Alzheimer (Cherry, Buckwalter, Henderson, 2002).

figura, 3) las omisiones o figuras no señaladas y 4) los aciertos que, en otras palabras, serán las figuras señaladas de manera no contigua y que no hayan sido perseveradas. Como dato adicional, a partir de las 12 figuras señaladas (correctas o no), se podrá contar como acierto una figura señalada que se encuentre contigua a la figura previamente señalada.

7.2.3. Efecto Stroop. *The Stroop Color Word Test* mejor conocido como efecto *Stroop*, fue una prueba diseñada con el fin de encontrar diferencias entre personas con daño cerebral y personas sin daño cerebral (Stroop y Ridley Stroop, 2016). La prueba se basa en la premisa de que las personas pueden leer palabras mucho más rápido de lo que pueden identificar y nombrar colores, evaluando con ello la capacidad de cada sujeto para inhibir una respuesta automática y seleccionar una respuesta con base en un criterio arbitrario (Lázaro et al., 2014). El efecto *Stroop* se debe en primera instancia a una interferencia semántica a consecuencia de la automaticidad de los seres humanos con la lectura y, se ve fácilmente reflejado en el momento en que el significado de una palabra interfiere con la tarea de nombrar el color con el que dicha palabra se encuentra escrita; por ejemplo: de la siguiente lista palabras (figura 16), columna por columna, de arriba abajo y de izquierda a derecha, lea en voz alta cada palabra; al encontrar una palabra subrayada, usted deberá decir el color con el que la palabra está pintada y no lo que está escrito. Intente hacerlo en el menor tiempo posible.

ROJO	<u>AZUL</u>	VERDE
<u>AZUL</u>	AMARILLO	<u>NEGRO</u>
<u>NEGRO</u>	<u>VIOLETA</u>	BLANCO

Figura 16. Ejemplo del juego de efecto *Stroop*.

Para la gran mayoría, la primera palabra de la lista (ROJO) resultará fácil de responder puesto que el color de la palabra corresponde con el significado de la palabra, pero, la dificultad de la prueba viene con la segunda palabra, debido a que hay una cierta disposición lingüística a decir la lo que está escrito (AZUL) antes que el color con que la palabra está escrita (morado).

Los seres humanos, al igual que muchas otras especies, poseen la habilidad de una atención selectiva, lo que significa que pueden controlar o enfocar su atención según sus intereses, dicho de otra manera, pueden prestar atención voluntariamente a todas aquellas cosas que les atraen o que precisan de atender en un momento dado. Pese a esto, la atención también es vulnerable a interferencias y un ejemplo de ello, es el logrado por medio del efecto *Stroop*.

En la prueba de *Stroop* forma A de la BANFE-2 (utilizada en el desarrollo metodológico de esta investigación con el fin de medir la capacidad de inhibición de los participantes), se le pide al participante leer en voz alta cada una de las palabras columna por columna y de arriba abajo excepto cuando alguna de estas palabras se encuentre subrayada; debido a que, en dicho momento, el participante deberá denominar el color con el que la palabra está escrita y no lo que está escrito. Las consideraciones para evaluar en esta prueba son: 1) errores tipo *Stroop* (cuando se dice la palabra subrayada en lugar del color), 2) errores no-*Stroop* (cuando se lee incorrectamente la palabra no subrayada), 3) si hay equivocación parcial (por ejemplo, si la persona dice ro-verde se cuenta como un error tipo *Stroop*), 4) tiempo en segundos y 5) aciertos.

Capítulo III

8. Metodología

Ya que la investigación buscó establecer si el nivel sonoro en la música tiene la capacidad de afectar el desempeño de funciones ejecutivas específicas como lo son la planificación, la inhibición y la memoria de trabajo visuoespacial, se utilizó un diseño de estudio que, con base en sus componentes, fue de tipo cuantitativo, longitudinal, analítico, prospectivo y prolectivo. Aunque, debido al tiempo reducido para concluir un plan de maestría y a los recursos limitados, se optó por llevar a cabo la investigación como prueba piloto a fin de reducir los posibles sesgos, limitaciones y contratiempos de una investigación posterior.

8.1. Diseño de la investigación

Teniendo en cuenta los parámetros en decibeles registrados por Kasof, (1997; 85 dB), Hiller (2006; 90 dB) Wolf y Weiner, (1972; 95 dB) y Martindale y Greenough, (1973; 75 dB) en experimentos llevados a cabo con ruido blanco y rosa, así como el incremento de la dificultad de procesos mentales reportado por Threadgold, Marsh, McLatchie y Ball (2019) ante estímulos sonoros variantes en comparación con sonidos repetitivos, se optó por llevar a cabo una prueba piloto basada en un diseño de estudio cuasiexperimental a fin de evaluar tres funciones ejecutivas (planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial) bajo dos condiciones de sonido diferentes, con estímulo musical (en niveles sonoros entre los 74 y 78 dB) y sin estímulo musical (condiciones de nivel sonoro de laboratorio entre 24 y 30 dB).

8.1.1. Consideraciones de los componentes del diseño de estudio. Con base en lo mencionado por Villasís-Keever y Miranda-Novales, (2016) con respecto a los diseños de estudio para investigación, primero, un estudio puede ser considerado longitudinal desde el momento en que se realizan dos o más mediciones de una misma variable, por ejemplo, a lo largo de la intervención, a cada participante se le hicieron tres mediciones fisiológicas de pulso

cardíaco y nivel de saturación de oxígeno en sangre. Segundo, un estudio se considera analítico si se centra en una relación causa-efecto comparando el efecto con otra parte de la prueba o con un grupo control, tal cual se llevó a cabo en la presente investigación en la cual, el efecto de la primera parte de la prueba fue comparado con el efecto de la segunda parte. Tercero, un estudio prospectivo es aquél en el cual se intenta determinar la posibilidad de que ocurra un evento a partir de una causa, por ejemplo, durante el desarrollo de la investigación se intentó determinar que los participantes tendrían bajo desempeño en tareas de funciones ejecutivas a causa de la interferencia de la música en las regiones de la PFC encargada de la integración de la información. Cuarto, un estudio prolectivo es aquel en el que los datos se empiezan a tomar desde el momento de inicio del estudio.

8.1.2. Diseño cuasiexperimental. Aunque los cuasiexperimentos hacen parte de los diseños experimentales (Villasís-Keever y Miranda-Novales, 2016), para Pedhazur y Schmelkin (1991), un cuasiexperimento es un estudio que posee todas las características de un experimento salvo que los sujetos de prueba no se asignan de forma aleatoria.

8.1.3. Prueba piloto. Es un estudio preliminar desarrollado para evaluar viabilidad, tiempo y costos a fin de reducir adversidades en un proyecto de investigación a gran escala. Las pruebas piloto no suelen ser utilizadas en el desarrollo de estudios de caso (Hulley, 2007).

8.2. Pregunta de investigación

¿Escuchar música en niveles sonoros entre 74 y 78 dB puede afectar el desempeño de procesos mentales relacionados con tareas de planeación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial en personas adultas?

8.3. Objetivo general

Analizar el efecto de escuchar música en niveles sonoros entre 74 y 78 dB en tareas de planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial en personas adultas.

8.3.1. Objetivos específicos.

- 1) Evaluar el desempeño de personas adultas en tareas de planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial ante estímulos musicales en niveles sonoros entre los 74 y 78 decibeles.
- 2) Evaluar el desempeño de personas adultas en tareas de planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial en ausencia de estímulos musicales.
- 3) Comparar los resultados obtenidos de las partes uno y dos de la prueba a fin de hallar la posible interferencia de la escucha musical en el desempeño de tareas de planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial.

8.4. Hipótesis

H₀: Escuchar música en elevados niveles de volumen no afecta el desempeño de procesos mentales conocidos como funciones ejecutivas debido a que no consigue inhibir el correcto funcionamiento de las áreas de la corteza prefrontal relacionadas con procesos de planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial.

H₁: Escuchar música en elevados niveles de volumen afecta el desempeño de procesos mentales conocidos como funciones ejecutivas, ya que consigue inhibir el correcto funcionamiento de las áreas de la corteza prefrontal relacionadas con procesos de planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial.

8.5. Participantes

8.5.1. Criterios de inclusión. Se convocó a personas adultas entre los 18 y 40 años, hispanohablantes y con educación escolar mínima de 10 años que suelen escuchar música de

manera habitual y en cualquier tipo de entorno por prolongados periodos de tiempo al día en niveles cercanos o superiores a los 85 dB.

8.5.2. Criterios de exclusión. En vista de que las instrucciones de las pruebas están dadas en español y el nivel sonoro de la música podría afectar la comunicación entre el emisor y el receptor, no se consideró la participación de personas no-hispanohablantes o hipoacúsicas. Por otra parte, teniendo en cuenta que se trata de una prueba piloto y se desconocía la posible afectación del nivel educativo en el desempeño de las pruebas, se optó por tomar los rangos mínimos de nivel educativo establecidos por la BANFE-2 y que resultaron pertinentes al desarrollo de esta investigación: por esta razón, se excluyeron todas aquellas personas con un nivel de educación escolar inferior a diez años.

Con base en un estudio llevado a cabo en el Reino Unido y publicado por Dawes, Fornum, Moore, Emsley y Norman, et al., (2014), en el cual, tras unas cuantas pruebas basadas en medir el umbral mínimo de audición y recepción del lenguaje hablado en personas entre los 40 y 69 años, encontró que, una de cada 10 personas entre los 40 y 69 años presenta daño auditivo substancial. Por esta razón se excluyeron todas aquellas personas que sobrepasaran los rangos establecidos en los criterios de inclusión: 18 – 40 años.

8.5.3. Participantes. De las 118 participaciones registradas vía *Google Forms*, 85 personas cumplieron con las características requeridas, de las cuales, tan solo 55 confirmaron su asistencia vía correo electrónico. Del total de personas agendadas, se obtuvo una participación voluntaria en la primera semana de 35 personas (16 hombres y 19 mujeres entre 22-47 años). Se excluyeron los resultados de las tres personas que no cumplieron con el rango de edad (ver pág. 114). Dos personas no concluyeron la primera parte de la prueba y ocho más no asistieron a la segunda parte. De esta manera se obtuvo un total de participaciones de $n = 22$ (10 hombres

y 12 mujeres entre 22-39 años, $m = 29.0$ y $sd = 4.95$). Todos los participantes fueron hispanohablantes con reportes de normalidad visual, auditiva, motora y cognitiva⁶¹.

Tabla 1

Datos generales de los participantes.

	Edad	Participantes
N	22-39	22
Media	29.0	11.5
SD	4.95	6.49

8.6. Métodos

8.6.1. Muestra. A fin de llegar a las personas que cumplieran con los criterios de inclusión establecidos dentro del desarrollo metodológico de la presente investigación, se hizo uso de las redes sociales (*Facebook, Instagram y Twitter*) en las cuales, por medio de un cartel publicitario (ver figura 17) se intentó llegar a la población apta para la prueba. Pese a esto, la falta de interés registrado llevó a que se planteara un tipo de muestreo por bola de nieve, en el cual, los primeros participantes contribuyeron en la búsqueda de los siguientes.



Figura 17. Cartel publicitario de la convocatoria utilizado en las redes sociales.

⁶¹ Téngase en cuenta que, siendo un proyecto de maestría llevado a cabo con recursos limitados, no se contó con más que el reporte de normalidad brindado por parte de los propios participantes, salvo el análisis auditivo que se llevó a cabo por medio de una audiometría.

8.6.2. Descripción de los instrumentos neuropsicológicos. Para Muñiz et al., (2020) así como para otros autores, las baterías estandarizadas resultan de gran utilidad en la evaluación neuropsicológica debido a las puntuaciones que manejan, pese a esto, la extensión que suelen poseer este tipo de pruebas puede acabar generando inconvenientes al hacerse largas, tediosas y complicadas. Con frecuencia, las pruebas utilizadas para medir el desempeño de la PFC resultan tener niveles de exigencia disminuidos, lo que, según Stuss y Levine (2002), permite aprovechar de mejor manera y con un mayor nivel de precisión las áreas de la PFC involucradas en el desempeño de procesos mentales específicos; por tal motivo, a fin de evitar sesgos posiblemente inducidos por el tedio ante la extensión de la prueba, tal cual lo menciona Muñiz et al., (2020) y delimitar de mejor manera las áreas de la PFC posiblemente afectadas por la interferencia del nivel sonoro en la música, de las 14 subpruebas incluidas en la BANFE-2 se hizo una selección conforme a los requerimientos metodológicos de la investigación y los procesos a evaluar. De esta manera, las pruebas seleccionadas fueron: laberintos, señalamiento autodirigido y efecto Stroop⁶².

8.6.2.1. BANFE-2. La batería de funciones ejecutivas y lóbulos frontales desarrollada por Julio Flores Lázaro, Feggy Ostrosky Shejet y Azucena Lozano Gutiérrez en el 2012 en la Facultad de Psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), es una herramienta de evaluación neuropsicológica conformada por 14 subpruebas divididas en: (1) Dorsolateral funciones ejecutivas, (2) Dorsolateral memoria de trabajo, (3) Prefrontal anterior y (4) Orbitomedial.

Ventajas de la BANFE-2. Esta batería neuropsicológica de funciones ejecutivas y lóbulos frontales no solo ofrece una descripción neuroanatómica de las regiones de la PFC a estudiar, sino que brinda escalas de puntuaciones que permite evaluar a los participantes tanto por edad como por nivel académico (Ver figura 18) en escalas de puntuación normalizada para la prueba

⁶² Para ver más información sobre las pruebas mencionadas, ver 7.2.

y que van del 25 al 136 dependiendo de variables como rango de edad y nivel de escolaridad. La BANFE-2 ofrece una tabla de puntuaciones y calificaciones en el cual se puede obtener un resultado cualitativo y cuantitativo de cada uno de los participantes (ver figura 19).

Rangos de puntuaciones totales normalizadas de la BANFE-2

Edad	Escolaridad/años	Puntuaciones
6 - 7	N.I. ⁶³	25 - 133
8 - 9	N.I.	44 - 132
10 - 11	N.I.	41 - 136
12 - 13	N.I.	44 - 135
14 - 15	N.I.	40 - 130
16 - 30	4 - 9	42 - 133
16 - 30	10 - 24	42 - 133
31 - 55	4 - 9	30 - 136
31 - 55	10 - 24	29 - 131

Figura 18. Puntuaciones totales normalizadas de la BANFE-2 por edad y escolaridad presentadas por rango.

Puntaje y clasificación de la BANFE-2

Puntuación total por participante	Clasificación
116 - o más	Normal-alto
85 - 115	Normal
70 - 84	Daño medio o moderado
69 o menos	Daño severo

Figura 19. Puntaje y clasificación de la BANFE-2. Tomado de Lázaro, J. C. F., Gutiérrez, A. L., & Ostrosky-Solís, F. (2014). *BANFE-2: Batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales*.

⁶³ No Indicada.

Otra de las ventajas es que, cada una de las pruebas de la BANFE-2 ofrece la facilidad de ser evaluada a partir de variables como el tiempo, los errores, las perseveraciones, las omisiones y los aciertos, entre otros.

Desventajas de la BANFE-2. Pese a ser una herramienta sumamente atractiva, hay básicamente dos puntos por los que la BANFE-2 no resulta del todo práctica: primero, el hecho de que se siga distribuyendo en papel le resta puntos con respecto a opciones digitales que permiten un mejor y más completo análisis de datos como puede serlo el CANTAB. Segundo, las opciones que ofrece ahondadas a su elevado precio son las que, probablemente, le convierten en una herramienta poco habitual dentro de la investigación científica.

8.6.2.2. El Trail Making Test. Esta es probablemente una de las pruebas neuropsicológicas más populares, razón por la cual suele estar incluida en la gran mayoría de las baterías de prueba (Tombaugh, 2004). El TMT se encuentra dividido en dos partes (A y B) y es una herramienta utilizada como indicador en procesos de escaneo visual, velocidad grafomotora, memoria de trabajo, control de inhibición, flexibilidad mental y funciones ejecutivas en general (Llinàs-Reglà et al., 2017; Sánchez-Cubillo et al., 2009). Y aunque sus ventajas pueden ser la facilidad de realización tanto para el evaluador como para el evaluado, el TMT probablemente suela presentar más desventajas que ventajas a su favor. Según Tombaugh (2004) y Spreen y Strauss (1998), cuando distintas pruebas empezaron a revelar que la edad, el nivel educativo y la inteligencia afectan el rendimiento de la prueba, poco a poco fue entrando en desuso. Pese a esto, el TMT ofrece unas puntuaciones que permitirían entre otras cosas, trabajar con poblaciones homogéneas.

Puntuación para el TMT A y B.

	Media	Deficiente	Daño severo
TMT A	29 seg.	78 seg.	Más de 90 seg.
TMT B	75 seg.	173 seg.	Más de 3 min.

Figura 20. Puntuación para el TMT A y B.

8.6.3. Descripción de los instrumentos para la recolección de datos. A lo largo de la investigación se precisó de cuatro herramientas para la toma de mediciones fisiológicas, la edición de los estímulos musicales, la evaluación de los procesos mentales y la evaluación auditiva: (1) Un pulsioxímetro, (2) Un programa de grabación y edición de audio, (3) Dos herramientas de evaluación neuropsicológica y (4) Un audiómetro.

8.6.3.1. Pulsioxímetro. Es un dispositivo portátil en forma de pinza que permite observar el pulso cardíaco y el nivel de saturación de oxígeno en sangre de los participantes con la finalidad de conocer el nivel de estrés del organismo a lo largo de las dos partes de la prueba. No es invasivo, doloroso ni representa riesgo alguno para la salud.

8.6.3.2. DAW. Un DAW o *Digital Audio Workstation*, es una herramienta de edición de audio utilizada en estudios de grabación profesionales. Existen diversas marcas, entre ellas, la requerida durante la realización del experimento, *Studio One 4.5* y que sirvió para la edición y la presentación de la música durante la primera parte de la prueba (con estímulo musical).

8.6.3.3. Herramientas de evaluación neuropsicológica. Con la intención de evaluar el desempeño de los participantes (10 hombres y 12 mujeres) en tareas de planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial, se hizo uso de tres subpruebas de la batería de funciones ejecutivas y lóbulos frontales BANFE-2 y de una prueba estandarizada, el *Trail Making Test* (TMT).

8.6.3.4. Análisis del umbral auditivo por tono puro. Según la Asociación Americana del Habla, el Lenguaje y la Audición⁶⁴, existen tres tipos de análisis del umbral auditivo por tono puro⁶⁵: (1) La audiometría manual, (2) La audiometría automática y (3) La audiometría computarizada. La audiometría automática⁶⁶, también conocida como audiometría de *Békésy*, se lleva a cabo mediante un dispositivo conocido como audiómetro, el cual, haciendo uso de

⁶⁴ *American Speech, Language and Hearing Association*

⁶⁵ *Pure-Tone Threshold Audiometry*.

⁶⁶ Utilizada en el desarrollo de la presente investigación.

tonos puros en rangos desde los -10 hasta los 90 dB y en frecuencias que van desde los 500 hasta los 8000 Hertz, permite medir el umbral de audición en seres humanos.

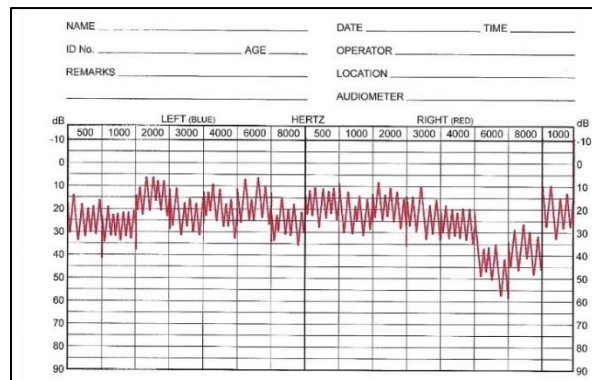


Figura 21. Carta audiométrica de uno de los participantes de la investigación. Las indicaciones Left (blue) y Right (red) hacen referencia al color de los audífonos y sirven como guía en la toma de las muestras: azul en el oído izquierdo y rojo en el oído derecho.

8.6.4. Términos de la prueba.

8.6.4.1. Consideraciones éticas. En la presente investigación se respetaron los principios básicos del código de ética promulgado por la Comisión Internacional de Salud Ocupacional, con gran relevancia en el principio de confidencialidad de los participantes. Además, todos los participantes y colaboradores fueron informados sobre el objetivo de la investigación y su participación en cada una de las partes de la prueba fue por voluntad propia. De igual modo, cada uno de los participantes leyó y firmó un consentimiento informado en el cual se informaba sobre el uso de pruebas no invasivas con la intención de garantizar la conducción de esta investigación con base a los lineamientos éticos propios a investigaciones en las cuales se requiere de la participación de seres humanos.

8.6.5. Análisis de los datos. Para lograr evaluar el impacto de escuchar música en niveles sonoros entre los 74 a 78 dB en las funciones ejecutivas pertinentes a la investigación (planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial), se utilizó una correlación como prueba de hipótesis haciendo uso de la correlación de coeficientes para pruebas no paramétricas

de Spearman con un intervalo de 95% y un margen de error del 5%, $p = 0.05$ ⁶⁷. El análisis de los datos se hizo a través del programa de análisis de datos Jamovi V. 1.0. Estas pruebas apoyan la obtención de resultados teniendo en cuenta que el coeficiente de Spearman permite medir la correlación o asociación entre dos variables cuando no existe una distribución normal.

8.7. Procedimiento

8.7.1. Selección de la música. Como bien se ha mencionado a lo largo del presente trabajo, existe literatura que fundamenta los beneficios de escuchar música en el desempeño de habilidades creativas en cuanto a la resolución de problemas (Ritter y Ferguson, 2017) o la productividad en trabajos repetitivos (Lesiuk, 2005); también, aunque en menor medida, existen aquellos textos que abordan las consecuencias de escuchar música en condiciones que impliquen una alta demanda de procesos mentales conocidos como funciones ejecutivas; bien sea desde el *tempo*⁶⁸ en la toma de decisiones (Day et al., 2009), la melodía en el impacto emocional (Juslin, 2013) o el ritmo en la capacidad de concentración (Berrocal, 2018). Con base en lo mencionado por Berrocal (2018) y Juslin (2013), en el cual se argumenta la capacidad que tiene el ritmo y la melodía de afectar los procesos homeostáticos del organismo, se optó por hacer uso de un *Adagio*⁶⁹ compuesto para orquesta de cámara con sutiles variaciones melódicas y armónicas con la intención de evitar posibles evocaciones emocionales en los participantes producto del léxico musical (García-Casares et al., 2013). La edición del audio fue hecha mediante el uso de *plugins* compatibles con *Studio One* al interior de un estudio semiprofesional con tratamiento acústico. Todos los audios fueron presentados en formato WAV.

⁶⁷ La “*p*” se refiere a la probabilidad de ocurrencia y es usada como medida de significancia.

⁶⁸ Velocidad de la pieza musical.

⁶⁹ *Adagio* hace referencia a una indicación de *tempo* o a un movimiento en una pieza musical. En el caso de la música utilizada durante la primera parte de la prueba, se trató de un movimiento en *tempo Adagio*.

8.7.2. Primera parte de la prueba (con estímulo sonoro). La prueba se realizó en una sala con tratamiento acústico dentro del Laboratorio de Acústica y Vibraciones del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT) de la UNAM.

8.7.2.1. Audiometría. En vista de que las deficiencias auditivas podrían afectar el desempeño de los participantes a lo largo de la primera parte de la prueba, a todos los participantes se les practicó una audiometría con la intención de medir el nivel de deterioro auditivo. El equipo utilizado fue un audiómetro marca Audiometer B&K 1800.

8.7.2.2. Registros fisiológicos. Con la intención de obtener registro del posible aumento de los niveles de estrés en el organismo a causa de los altos niveles sonoros en la música utilizados a lo largo de la primera parte de la prueba, a todos los participantes se les tomaron medidas de pulso cardíaco (PRbpm) y nivel de oxigenación en sangre (SpO₂⁷⁰) haciendo uso de un pulsioxímetro (Smart XIGNAL MD300C2) durante tres momentos a lo largo de la prueba: (1) Antes de dar inicio a la prueba, (2) Finalizando los laberintos y (3) Al concluir el efecto *Stroop*. De esta manera se pudo obtener una medida en tres puntos distintos de los signos vitales de los participantes para evaluar si existieron diferencias entre la primera y la segunda parte de la prueba (ver figura 22).

Esquema de la primera parte de la prueba

<i>Audiometría</i>	Registro fisiológico	TMT A y B	Laberintos	Registro fisiológico	Señalamiento autodirigido	Efecto <i>Stroop</i>	Registro fisiológico
--------------------	----------------------	-----------	------------	----------------------	---------------------------	----------------------	----------------------

Figura 22. Esquema de la primera parte de la prueba, sin estímulo musical.

8.7.2.3. Consideraciones de la prueba. Con base en el estudio de Arbuthnott y Frank (2000), en el cual se habla de cómo el efecto de costo de cambio residual afecta el desempeño de una

⁷⁰ Saturación de oxígeno capilar periférica.

nueva tarea, se brindó un periodo de receso de 60 segundos entre el TMT y las subpruebas de la BANFE-2.

8.7.2.4. Desarrollo de la prueba. Haciendo uso de una laptop (*Toshiba Satellite*) con Windows 10 conectada a una tarjeta de audio (*M-Audio Fast Track Pro*) y a dos monitores de audio de cinco pulgadas (*5" Event Tuned, Reference T5*), se dio paso al estímulo musical a través de *Studio One 4.5*. Todos los niveles de audio fueron tomados con un sonómetro profesional (*Brüel & Kjaer type 2250*) bajo estricta supervisión de calificados ingenieros de audio del Laboratorio de Acústica y Vibraciones del ICAT. A cada participante se le proporcionó el material de trabajo teniendo en cuenta los respectivos recesos entre el TMT y la BANFE-2 con base en el estudio de Arbuthnott y Frank (2000) (mencionado en el 8.7.2.3) y las tomas de registros fisiológicos (ver figura 23). Al concluir con la última subprueba de la BANFE-2 (el efecto *Stroop*) se retiró el estímulo musical; tras lo cual, a cada participante se le proporcionó una hoja con cuatro preguntas de respuesta cerrada en las cuales debían indicar su percepción con respecto a: (1) Estado de ánimo, (2) Percepción del tiempo, (3) Percepción del nivel sonoro (volumen) y (4) Nivel de dificultad percibido a lo largo de la prueba (ver Anexo C).

Al concluir, todos los participantes fueron reagendados con un lapso intermedio de ocho días para la segunda parte de la prueba.

8.7.3. Segunda parte de la prueba. Al igual que en la primera parte de la prueba, a todos los participantes se les condujo a la misma sala dentro del Laboratorio de Acústica y Vibraciones del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT) de la UNAM en donde se les tomaron registros fisiológicos por medio de un pulsioxímetro (*Smart XIGNAL MD300C2*) durante tres momentos a lo largo de la prueba: antes de proporcionar la primera hoja del TMT, finalizando los laberintos y al concluir la última subprueba de la BANFE-2 (mencionado en el 8.7.2.2).

Esquema de la primera parte de la prueba

<i>Registro fisiológico</i>	TMT A y B	Laberintos	Registro fisiológico	Señalamiento autodirigido	Efecto <i>Stroop</i>	Registro fisiológico
-----------------------------	--------------	------------	----------------------	---------------------------	----------------------	----------------------

Figura 23. Esquema de la segunda parte de la prueba.

8.6.3.1. Desarrollo de la prueba. En ausencia de estímulo musical (y al igual que en la primera parte de la prueba), a cada participante se le proporcionó el material de trabajo con el respectivo receso de sesenta segundos entre el TMT y la BANFE-2 con base en el estudio de Arbuthnott y Frank (2000) (mencionado en el 8.7.2.3) y los momentos en que se tomaron las mediciones fisiológicas (ver figura 23). Una vez finalizada la última subprueba de la BANFE-2 (el efecto *Stroop*), cada participante fue proporcionado con una hoja con tres preguntas de respuesta cerrada en las cuales debían indicar su percepción con respecto a: (1) Estado de ánimo, (2) Percepción del tiempo y (3) Nivel de dificultad percibido a lo largo de la prueba (ver Anexo D).

Capítulo IV

9. Resultados

9.1. Resultados generales de la prueba

Mediante una correlación de Spearman, el análisis de los datos recabados permitió observar que hubo un mejor desempeño de todos los participantes durante la prueba en ausencia de estímulo musical: (1) Los procesos de planificación y memoria de trabajo visuoespacial (PI + MTV) evaluados por medio de la BANFE-2 obtuvieron diferencias significativas de $p = 0.012$ mientras, (2) los procesos de planificación, inhibición y memoria de trabajo (MT) evaluados por medio del TMT-B, arrojaron diferencias significativas de $p = 0.020$ (ver tabla 2). No se observó diferencia significativa para los procesos de inhibición evaluados por medio de la BANFE-2 ni los procesos evaluados por medio del TMT-A. Las correlaciones obtenidas para las pruebas de PI y MTV evaluadas por medio de la BANFE-2 y el TMT-B (Spearman's rho = 0.527; Spearman's rho = 0.496 respectivamente) se debe a la dispersión de los datos (ver figura 24) a causa de la posible intervención de variables de confusión no contempladas durante el desarrollo metodológico (ver pág. 112).

Tabla 2

Correlación de Spearman de los resultados generales de la prueba (con y sin estímulo musical).

		Música				
			PI + MTV	Inhibición	TMT A	TMT B
No música						
PI + MTV	Spearman's rho		0.527	0.294	0.070	0.015
	p-value		0.012	0.184	0.757	0.948
Inhibición	Spearman's rho		0.021	0.402	0.173	-0.121
	p-value		0.925	0.063	0.442	0.593
TMT A	Spearman's rho		0.537	-0.165	0.128	0.265
	p-value		0.010	0.463	0.568	0.233
TMT B	Spearman's rho		0.105	-0.320	0.181	0.496
	p-value		0.643	0.147	0.418	0.020

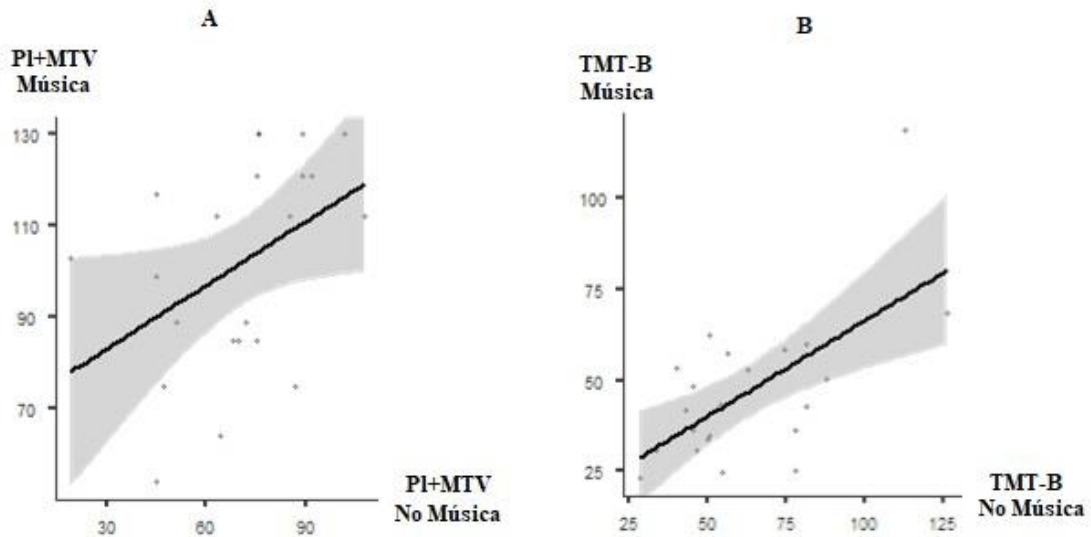


Figura 24. En la figura A: correlación de hipótesis para las pruebas de planificación (PI) y memoria de trabajo visuoespacial (MTV) evaluadas por medio de la BANFE-2 y en la cual se observan mejores resultados para las pruebas realizadas en ausencia de estímulo musical, pese a ello, la diferencia individual de los resultados entre la primera y la segunda parte de la prueba generan dispersión en los datos y con ello bajos niveles de correlación. En la figura B: correlación de hipótesis para las habilidades planificación, inhibición y memoria de trabajo evaluadas por medio del TMT-B y en el cual se observa una disminución en el tiempo de respuesta requerido por cada participante para la realización de la tarea a lo largo de la prueba sin estímulo musical.

Pese a no haberse observado diferencia significativa en las pruebas de inhibición evaluadas por medio de la BANFE-2 (Spearman's rho = 0.402 y $p = 0.063$) (ver tabla 2), al hacer una comparación de medias de cada una de las partes de la prueba, se observó una ligera mejora en el desempeño de todos los participantes durante la prueba en ausencia de estímulo musical (ver tabla 3 y figura 25A). Al igual que con los procesos de inhibición evaluados por medio de la BANFE-2, no se observaron diferencias significativas en el TMT-A para las tareas de escaneo visual, velocidad grafomotora y velocidad del procesamiento visuomotor⁷¹ (Spearman's rho = 0.128 y $p = 0.568$). Pese a esto se observó una ligera disminución de al menos ocho segundos en el tiempo requerido para la resolución de la tarea durante la prueba en ausencia de estímulo musical (ver tabla 3 y figura 25B).

Para los procesos evaluadas por medio de la BANFE-2 (Laberintos, Señalamiento autodirigido (SA) y efecto *Stroop*), cabe tenerse en cuenta que el aumento en los puntajes es

⁷¹ Variables no consideradas en el estudio.

indicador de mejor desempeño, contrario a las habilidades evaluadas por medio del *Trail Making Test*, en el cual, la disminución en los puntajes es sinónimo de mejor rendimiento. De esta manera puede entenderse que, los puntajes expuestos en la tabla 3 permiten observar que hubo un mejor desempeño durante la prueba en ausencia de estímulo musical en todas las tareas.

Tabla 3

Medias y desviación estándar (en paréntesis) de las dos partes de la prueba (con y sin música).

Prueba	Función ejecutiva	Música	No música
TMT - A	Inhibición	32.2 (9.77)	24 (8.42)
TMT - B	MT, Inhibición	62 (24.7)	46 (20.7)
Laberintos, SA	Planificación y MT	70.1 (21.6)	102 (23.1)
Efecto <i>Stroop</i>	Inhibición	100 (17.7)	108 (22.7)

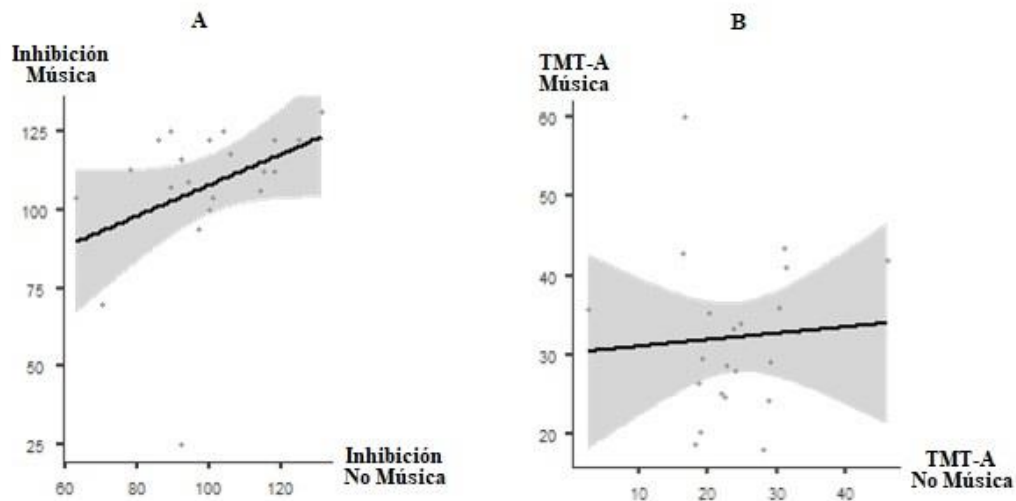


Figura 25. En la figura A: gráfica de correlación de la tarea de inhibición evaluada por medio de la BANFE-2. En la figura B: gráfica de correlación de las tareas evaluadas por medio del TMT-A.

9.2. Resultados de la BANFE-2 por subpruebas

9.2.1. Señalamiento autodirigido. Con base en la correlación de los datos obtenidos de las variables evaluadas en la prueba de SA, se pudo observar que hubo una diferencia significativa (Spearman's rho = 0.479 y $p = 0.024$) para el número de omisiones⁷² de cada participante a lo largo de la prueba en ausencia de estímulo musical. Aun así, en una comparación de medias de cada una de las partes de la prueba (con y sin estímulo musical) se pudo observar un mejor desempeño durante el desarrollo de la tarea (SA) sin estímulo musical (ver tabla 4).

Tabla 4

Medias y desviaciones estándar (en paréntesis) de las variables evaluadas en la prueba de SA con y sin estímulo musical.

Elementos evaluados	Música	No música
Tiempo	68.1 (34.6)	44.0 (25.5)
Perseveraciones	2.73 (2.31)	1.00 (1.34)
Omisiones	4.50 (2.69)	2.59 (2.36)
Aciertos	16.3 (4.27)	19.7 (5.85)

9.2.2. Laberintos. En las variables (toca, atraviesa, sin salida y tiempo) evaluadas por medio de la tarea de los laberintos, se observó un mejor desempeño durante la prueba en ausencia de estímulo musical (ver tabla 5). A esto se suma que se obtuvo una diferencia significativa de $p = 0.005$ con una correlación Spearman's rho = 0.579 para el número de veces que los participantes atravesaron las paredes de cada uno de los laberintos y una diferencia significativa de $p = < 0.001$ con una correlación Spearman's = 0.708 en el tiempo requerido por cada participante para la realización de la tarea.

.

⁷² Las omisiones hacen referencia al número de objetos o figuras que los participantes olvidaron señalar durante la prueba y de los cuales no fueron conscientes.

Tabla 5

Media y desviación estándar (en paréntesis) de las variables evaluadas por medio de la tarea de los laberintos con y sin música.

Elementos evaluados	Música	No música
Toca	5.50 (6.64)	3.64 (3.72)
Atraviesa	2.09 (3.35)	1.86 (3.78)
Sin salida	2.73 (1.91)	1.91 (2.11)
Tiempo	46.1 (40.8)	27.1 (13.7)

9.2.3. Efecto Stroop. El efecto *Stroop*, fue utilizado para evaluar procesos de inhibición relacionados con la atención selectiva y sostenida. Por medio de la correlación de los datos de las variables evaluadas dentro de esta prueba (aciertos, tiempo, errores no-*Stroop*), se obtuvo una diferencia significativa de $p = <.001$ y una correlación Spearman's rho = 0.764 en cuanto al tiempo de respuesta requerido por cada participante para la realización de la tarea, y $p = 0.046$ y correlación Spearman's rho = 0.429 para el número de errores no-*Stroop*⁷³. En una comparación de medias de cada una de las variables evaluadas por la tarea del efecto Stroop bajo las dos condiciones de la prueba (con y sin estímulo musical), se observó un mejor desempeño de los participantes en las tareas llevadas a cabo en ausencia de estímulo musical (ver tabla 6).

Tabla 6

Media y desviación estándar (en paréntesis) de las variables evaluadas por medio de la tarea del efecto Stroop con y sin música.

Elementos evaluados	Música	No música
Aciertos	79.2 (4.12)	81.4 (2.22)
Tiempo	88.4 (17.5)	76.1 (12.9)
Errores	1.32 (1.17)	0.591 (0.908)
Errores no- <i>Stroop</i>	3.59 (3.40)	2.05 (1.70)

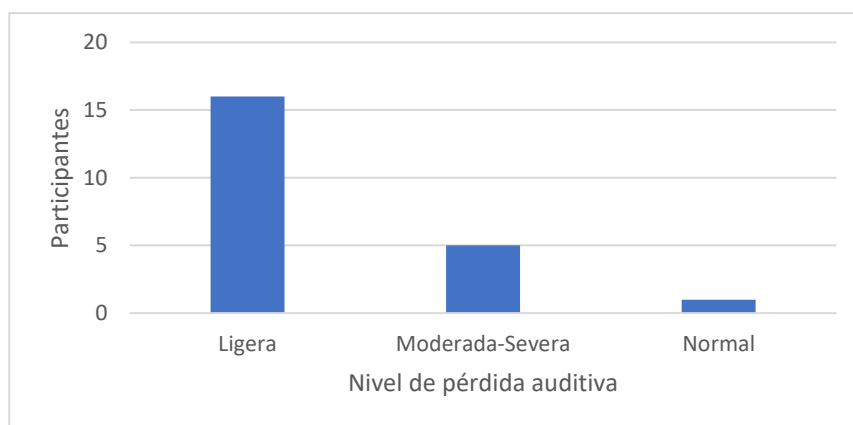
⁷³ Lo errores no-*Stroop* hacen referencia a las veces en que los participantes leyeron de forma incorrecta palabras no señaladas como *Stroop*.

9.3. Resultados de mediciones fisiológicas

En lo referente a las mediciones fisiológicas, se pudo observar un aumento progresivo de los niveles de saturación de oxígeno en sangre durante la primera parte de la prueba en comparación con la segunda; así mismo se observó un aumento en el ritmo cardiaco durante la segunda parte de la prueba. De esta manera se podría inferir que hubo un mayor nivel de estrés en los participantes a lo largo de la prueba sin estímulo sonoro, pese a esto, no se obtuvo diferencia significativa entre la primera y la segunda etapa de la prueba.

9.4. Resultado de las audiometrías.

Por medio de la audiometría se pudo observar que, de los 22 participantes, uno presentó niveles de audición normal con rangos entre -10 y 25 dB, cinco participantes presentaron pérdida auditiva moderada-severa con rangos entre los 55 a 70 dB entre los 3000 y los 8000 Hz, mientras, diecinueve participantes presentaron pérdida auditiva ligera en rangos de 25 a 40 dB⁷⁴.



Gráfica 1. Número de participantes según nivel de pérdida auditiva.

⁷⁴ Los parámetros para determinar los niveles de pérdida auditiva fueron definidos con base en la publicación sobre sordera y pérdida de la audición de la Organización Mundial de la Salud del 15 de marzo del 2019. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>

DISCUSIÓN

Según los resultados obtenidos en la primera y la segunda parte de la prueba, es posible observar que el desempeño de cada una de las tareas evaluadas (tanto en la BANFE-2 como en el TMT A y B) se vieron mayormente afectadas a lo largo de la prueba en presencia de estímulo musical. Lo que resulta concordar con lo dicho por Thompson et al., (2012) al afirmar que escuchar música interfiere en el correcto desempeño de ciertas funciones cognitivas, sobre todo, de aquellas con una alta demanda atencional. A esto, Keeler y Cortina (2018) agregan que, la música, según se ha visto, también puede alterar de manera negativa el desempeño de funciones mentales relacionadas con procesos de planificación y memoria de trabajo, tal cual se puede observar en los resultados de las tablas 3, 4 y 5.

Para algunos autores como Kljajevic y Murasugi (2010), Baddeley (1983, 1986, 1992, 2000, 2012) y Van de Cavey y Hartsuiker (2016), la memoria de trabajo resulta crucial en procesos de integración de la información, lo que, en cierta medida, pudiera estar relacionado con la disminución de los puntajes registrados durante la prueba con estímulo musical, y no solo desde la DLT propuesta por Gibson (2000) que afirma que a mayor distancia entre dos elementos mayor será la dificultad en la integración estructural (ver pág. 78), sino a la susceptibilidad de la memoria de trabajo a las interrupciones, tal cual lo afirma Etchepareborda y Abad-Mas (2005). A esto se suma la afirmación de Koelsch et al., (2005) con respecto a que existen superposiciones en el procesamiento de la integración de la información, tal cual se evidencia cuando, por ejemplo, estímulos musicales y lingüísticos son presentados simultáneamente; lo que quiere decir que, a mayor distancia entre las tareas coincidentes (música y planificación, o música y memoria de trabajo, o música y toma de decisiones, o música y comprensión lectora) mayor será el nivel de dificultad percibido, esto, debido a que las estructura de la DLT se basan en recursos de memoria de trabajo (Van de Cavey . Hartsuiker, 2016). Por tanto, teniendo en

cuenta que la mayoría de los instrumentos de evaluación neuropsicológica implican la vía oral tanto en la comprensión como en la expresión, las superposiciones del procesamiento de la integración de la información ayudan a comprender el porqué del requerimiento de la gran mayoría de los participantes durante la prueba con estímulo musical por escuchar al menos dos veces las instrucciones pertinentes a cada subprueba. De igual modo, la falta de comprensión de las instrucciones durante el desarrollo de la prueba con estímulo musical pueden hallarse relacionadas con la posible interferencia de la música en el bucle fonológico propuesto por Baddeley (1991) en su modelo de memoria de trabajo (ver pág. 50); esto, en vista de que, el bucle articulatorio o fonológico resulta ser indispensable en procesos de tareas lingüísticas como la comprensión del lenguaje, la lectoescritura y la conversación, así como todo lo relacionado con el manejo de palabras, descripciones y números (Baddeley, 2000). También resulta ser el encargado no solo de mantener activa la información relacionada con el lenguaje como ya se ha mencionado, sino de manipularla en miras de lograr un objetivo (Etchepareborda y Abad-Mas, 2005). Otra de las posibles razones del bajo rendimiento en los resultados de la prueba ante estímulo musical, puede deberse a lo agregado por Day et al., (2009) quien menciona que, el efecto de la música de fondo en el desempeño de ciertas tareas depende de la cantidad de recursos que demanda la tarea concurrente, esto debido a que, una sobrecarga de recursos provocará un rendimiento deficiente en las tareas coincidentes; lo que, desde luego, concuerda con la afirmación de Koelsch et al., (2005) y los resultados obtenidos tras el análisis de datos de la presente investigación.

La dlPFC es conocida por ser la estructura cortical encargada de la integración de la información sensorial aferente (Hoshi y Tanji, 2004). También se le reconoce por su importante papel en procesos relacionados con tareas de planificación (Kaller et al., 2011) y memoria de trabajo (Lehner et al., 2016). Con base en los resultados obtenidos en los procesos de planificación y memoria de trabajo evaluados por medio de la BANFE-2 y el TMT-B a lo largo

de la prueba con estímulo musical, se puede entrever que, escuchar música en niveles sonoros entre los 74 y 78 dB podría llegar a afectar el desempeño de los seres humanos en tareas relacionadas con procesos de planificación y memoria de trabajo visuoespacial. Y aunque los resultados obtenidos por medio de las herramientas utilizadas no permiten saber en qué hemisferio cerebral el nivel sonoro generó mayor interferencia, tal cual se puede observar en el estudio llevado a cabo por Knoch et al., (2006) (ver pág. 63), si permite acotar la información a fin de facilitar el abordaje de futuras investigaciones.

Los resultados obtenidos en los procesos de inhibición evaluados por medio de la BANFE-2, con valores de $p = 0.063$, no fueron consistentes con los reportes hechos por Furnham y Allass (1999) y en el cual se afirma que escuchar música puede alterar de manera negativa el desempeño de habilidades mentales relacionadas con tareas de inhibición. Pese a esto, existe una ligera mejora en el desempeño de los participantes a lo largo de la prueba en ausencia de estímulo musical tal cual se observa en las tablas 3 y 6.

En el análisis por subpruebas (ver 9.2) se pudo observar que, en la tarea de señalamiento autodirigido, hubo un mejor desempeño en cada una de las variables evaluadas dentro de esta tarea (tiempo, omisiones, perseveraciones y aciertos) a lo largo de la prueba sin estímulo musical, pese a ello, solo se encontró diferencia significativa en cuanto al número de omisiones con valores de $p = 0.024$. Esta significancia puede estar relacionada con la posible interferencia generada por medio de la música en el bucle visuoespacial⁷⁵ (ver pág. 50), ya que, entre otras cosas, se ha visto que el bucle visuoespacial se encuentra involucrado en el aprendizaje de mapas geográficos y tareas que suponen memoria de objetos o figuras como el ajedrez (Etchepareborda y Abad-Mas, 2005). Otra posible causa de aumento en el número de figuras omitidas (omisiones) a lo largo de la prueba con estímulo musical, puede hallarse relacionada con la aparente interferencia de la música en la dlPFC, lo que, de hecho, generando una sobre

⁷⁵ Propuesto por Baddeley (2000) dentro de su esquema de memoria de trabajo

carga en las redes de procesamiento e integración de la información, podría llegar a afectar el desempeño de las tareas coincidentes, lo que concuerda con lo dicho por Day et al., (2009); Koelsch et al., (2005), Ochsner et al., (2012) y Sturm et al., (2016).

Por otra parte, los posibles efectos de escuchar música en la dlPFC (y que estarían posiblemente involucrados en el bajo desempeño de las tareas relacionadas con la memoria de trabajo visuoespacial), estarían siendo reflejados en los resultados de los procesos de planificación (obtenidos por medio de la prueba de los laberintos de la BANFE-2 y el TMT-B), ya que, al inhibir el correcto desempeño de la dlPFC se afectan los procesos de planificación reflejados no solo en el tiempo requerido por cada participante para la resolución del problema, sino en el número de veces que atravesaron las paredes de los laberintos (ver tabla 5) o perdieron la secuencia en el TMT-B.

Hoshi y Tanji (2004) agregan que la dlPFC está involucrada en la generación de información nueva necesaria en la planeación de respuestas motoras futuras, ya que, entre sus tantas funciones, se ha visto que media las contingencias transversales entre la percepción y el movimiento (Mayer y Saper, 2000), lo que, de cierta manera, contribuiría a explicar las deficiencias observadas tanto en la tarea de laberintos como en el TMT-A y B.

En cuanto a los datos recabados por medio de los análisis fisiológicos de pulso cardíaco (PRbpm) y nivel de saturación de oxígeno en sangre (%SpO₂), se llegó a la conclusión de que los resultados no fueron consistentes con los reportes dados por Greitemeyer (2009) y Bigliassi et al., (2015) con respecto al estrés inducido por medio de la música, ya que, contrario a lo esperado, se evidenciaron mayores niveles de %SpO₂ y menores niveles en el PRbpm a lo largo de la prueba con estímulo musical, lo que se relaciona con menores niveles de estrés fisiológico. Pese a esto, los resultados no fueron estadísticamente significativos. Por otra parte, los resultados referentes a los estados fisiológicos de los participantes ayudan a sustentar las hipótesis de Day et al., (2009), de Bigliassi et al., (2015) y Berrocal (2018) con respecto a la

influencia del ritmo, el *tempo*, el timbre y hasta el género musical en los estados de alerta del organismo. Esto, bajo el precepto de que fueron variables consideradas y controladas durante el proceso de selección de la música (ver pág. 98).

Con respecto al análisis de las audiometrías se encontró que, en 16 participantes con daños auditivos ligeros, se pudo observar un mayor deterioro en rangos de «moderado-severo» en alguno de los oídos, predominando en todos los casos un deterioro significativo en rangos entre los 6000 a los 8000 Hz; lo que, probablemente, pudiera hallarse relacionado con el tipo de audífonos que hayan estado utilizando hasta el momento de la prueba. Un solo caso presentó pérdida auditiva moderada-severa en el oído izquierdo en los 500 Hz.

En vista de la hipótesis propuesta, se esperaba un menor rendimiento de todos los participantes en cada una de las tareas realizadas a lo largo de la primera parte de la prueba, en otras palabras, una correlación positiva que indicase que, a mayor nivel sonoro en la música, menor desempeño en las tareas referentes a los procesos de planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial evaluados por medio de la BANFE-2 y el TMT-A Y B. Y aunque en primera instancia pudiera afirmarse que así fue, el amplio margen de diferencia entre los resultados individuales de la primera y la segunda parte de la prueba y la dispersión de los datos que dieron como resultado los bajos niveles de correlación presentados anteriormente (ver figuras 24 y 25 y tabla 2), no permiten hacerlo del todo.

Con respecto a la dispersión de datos y a los bajos niveles de correlación (Spearman's rho) previamente mencionados, cabe agregar que fue uno de los temas centrales durante el análisis de los resultados. Pero, con respecto a ello Villasis-Keever et al., (2016) agrega que, “En los estudios donde se pretende determinar la relación entre la variable independiente y la dependiente, es posible que los resultados no sean tan reales porque existen factores o circunstancias del paciente que pueden modificar los resultados” (p. 307); por ello se considera que, con un mejor control de las «variables de confusión», se hubiesen podido conseguir

resultados con altos niveles de correlación cercanos al uno (1) y diferencias significativas cercanas al cero (0). Para Hermaus, Quaedflieg, Offermann, Casales y Amelsvoort, (2018), el estrés sostenido afecta el desempeño de la memoria de trabajo al afectar la actividad de la dlPFC, por esta razón y en vista del posible estrés que le haya implicado a cada participante el haberse trasladado desde su origen hasta las instalaciones del Laboratorio de Acústica y Vibraciones del ICAT, ahondado al poco receso que hubo entre la llegada a las instalaciones del laboratorio y el desarrollo de la prueba (± 20 minutos por participante), las condiciones acústicas, la iluminación, el olor e incluso el aspecto de los evaluadores, se considera que, con un periodo de duración de la prueba por participante de al menos 4 horas, en el cual se apliquen terapias de relajación y prácticas de pruebas similares que les permitan familiarizarse con las tareas a evaluar, se podrían conseguir resultados bastante más apegados a la realidad. Como punto adicional, el desarrollo de una aplicación digital que permita al evaluador llevar a cabo la prueba sin mantener contacto directo con el participante, también podría contribuir en el control de las variables de confusión.

Los resultados del TMT-A, aunque se encuentran incluidos en los análisis estadísticos por hacer parte de la prueba conocida como *Trail Making Test* (ver tablas 2 y 3), se desestimaron al no ser considerados relevantes, puesto que, esta primera parte, ha sido utilizada previamente como herramienta de evaluación en procesos de escaneo visual, velocidad grafomotora y velocidad del procesamiento visuomotor (ver pág. 82), variables no consideradas dentro del desarrollo metodológico de la investigación. Pese a ello, aprovechando las ventajas de llevar a cabo una prueba piloto y el poco tiempo requerido por cada participante para la realización del TMT-A, se optó por aplicar esta prueba con la intención de observar si, escuchar música podría afectar procesos diferentes a los considerados en el desarrollo metodológico de esta investigación.

Con respecto a las tres personas que no cumplieron con el rango de edad y pese a ello decidieron tomar parte de la prueba donando su tiempo (ver pág. 91), cabe decir que son factores de tipo humano imposibles de predecir y que fueron atendidos de manera respetuosa, ética y responsable.

Pese a ser varias las limitaciones que hicieron parte del desarrollo de este proyecto, es preciso enumerar tan solo unas cuantas a fin de ponerlas a consideración de futuros investigadores:

1. Si bien son diversos los factores que influyen el hábito de escuchar música en elevados niveles de volumen, lo cierto es que cada día son más las personas que exponen su salud auditiva por medio de audífonos y parlantes en condiciones de ruido superiores incluso a los 95 dB, pese a esto, la falta de consciencia sobre el daño que puede llegar a ocasionar el uso prolongado de este tipo de artefactos a la salud auditiva y la negación constante de este hábito por parte de personas propias y ajenas al mundo de las ciencias cognitivas, sumado a factores de tipo social, cultural y psicológico que pueden de cierta manera propiciar este tipo de conductas, resultan perjudiciales para el desarrollo óptimo de pruebas como esta.
2. Aunque el uso de herramientas estandarizadas facilita la obtención de resultados, causas como el aspecto de las pruebas (de un marcado tinte infantil en las palabras de algunos participantes), el aspecto de los evaluadores e incluso las condiciones ambientales del laboratorio (intensidad de la luz, temperatura, olor, color, reverberancia, entre otras), podrían afectar emocionalmente a los participantes causando con ello alteraciones en el desempeño de sus habilidades cognitivas durante la prueba.

CONCLUSIÓN

¿Escuchar música en niveles sonoros entre 74 y 78 dB puede afectar el desempeño de procesos mentales relacionados con tareas de planeación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial en personas adultas? Con base en la metodología empleada, el número de personas que hicieron parte del estudio y los datos recabados, la respuesta, aunque puede ser un sí, no puede serlo de manera contundente. Por tanto, en respuesta a la pregunta de investigación se concluye qué: «Escuchar música en niveles sonoros entre 74 y 78 dB podría estar relacionado con deficiencias en procesos concernientes a tareas que impliquen planificación y memoria de trabajo visuoespacial».

Con diferencia significativa de $p = 0.012$ para procesos de planificación y memoria de trabajo visuoespacial evaluados por medio de la BANFE-2 y $p = 0.020$ para tareas de planificación, inhibición y memoria de trabajo evaluados por medio del TMT-B, se rechaza la hipótesis nula.

Según Keeler y Cortina (2018), en un estudio llevado a cabo en los Estados Unidos durante la década del 2000 al 2010, se llegó a reportar que cerca del 70% de los trabajadores de tiempo completo escuchan música durante sus horas de trabajo. Por otra parte, Haake (2011) reporta que un alto número de trabajadores en el Reino Unido aseguraron escuchar música al menos el 30 % de sus jornadas laborales, y en vista de que factores como el *tempo*, el ritmo, la melodía o el género (Day et al 2009; Juslin, 2013; Greitemeyer, 2009; Berrocal, 2018) pueden alterar no solo el desempeño de los estados homeostáticos del organismo, sino el funcionamiento del sistema nervioso simpático relacionado con los estados de lucha o huida y el bajo desempeño de la PFC (Bigliassi et al., 2015), se concluye que: con base en los resultados obtenidos en las tareas evaluadas a lo largo de la prueba en presencia de estímulo musical, escuchar música en situaciones de alta demanda cognitiva podría afectar de manera inconsciente el desempeño

emocional y mental de algunas personas causando consigo un aumento en la tasa de errores en tareas específicas y una baja en la productividad.

En lo referente a los objetivos, se cumplió con lo propuesto al desarrollar una metodología práctica y específica que permitiese evaluar de manera preliminar el efecto de escuchar música entre 74 y 78 dB en tres funciones ejecutivas: planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial. Por otra parte, plantear el diseño del proyecto como una prueba piloto, trajo consigo una serie de ventajas:

1. Evaluar la viabilidad de los instrumentos de medición fisiológicos y neuropsicológicos en las condiciones establecidas dentro del marco metodológico.
2. Evaluar el impacto del nivel académico en la resolución de las pruebas a fin de proponer el uso de un grupo control que minimice la posibilidad de sesgos por retención de información.
3. Delimitar las regiones neuroanatómicas posiblemente afectadas por el nivel sonoro en la música, esto, con la intención de sugerir análisis de actividad cerebral por electroencefalograma con mapeo cerebral haciendo uso de la técnica LORETA.

Las personas que reportaron escuchar música en altos niveles de volumen durante más horas al día (sin importar la edad), mostraron un mayor índice de pérdida auditiva en comparación con aquellas que reportaron hacerlo por un rango menor de tiempo. Como dato a considerar, vale tener en cuenta que una de las personas con mayor pérdida auditiva no superaba los 25 años al momento de la prueba, lo que habla no solo de un alto índice de deterioro auditivo provocado por la exposición excesiva a entornos ruidosos, sino que, ahondado a esto, se podría inferir que, en algunas personas, escuchar música no solo podría llegar a afectar el desempeño de ciertas funciones ejecutivas (como las planteadas en el desarrollo metodológica de esta

investigación), sino que, de alguna manera, podría llegar a interferir en el correcto funcionamiento de habilidades relacionadas con el razonamiento lógico, la toma de decisiones y la autoconservación.

Tras el análisis de los resultados se pudo observar que, las posibilidades en cuanto al estudio sobre el efecto de la música en las funciones ejecutivas son amplias y pueden ser abordadas desde diferentes enfoques y puntos de vista, por ejemplo:

1. Llevando a cabo nuevas investigaciones desde las cuales se aborde el impacto de la música en regiones específicas de la corteza prefrontal; ejemplo de ello sería: *el impacto de la música en la corteza prefrontal dorsolateral ante situaciones de toma de decisiones de carácter moral.*
2. Teniendo en cuenta algunas de las limitantes observadas a lo largo de la investigación, se propone el desarrollo de aplicaciones digitales que faciliten el proceso de investigación en el área de cognición musical.

ANEXOS

Anexo A. En apego a la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-011-STPS-2001, CONDICIONES DE SEGURIDAD E HIGIENE EN LOS CENTROS DE TRABAJO DONDE SE GENERE RUIDO, en la cual se establecen los límites máximos de exposición al ruido en jornadas de ocho (8) horas para niveles sonoros de 90 dB en la tabla A.1 de su apéndice A, ahondado a los reportes hechos por (Toplyn y Maguire, 1991), en los cuales se expone que: participantes altamente creativos demostraron mejor rendimiento en otras tareas ante exposición a ruido blanco en 80 dB en comparación con exposiciones hechas a 60 o 100 dB de ruido blanco, se optó, entre otras cosas, en miras de respetar y preservar la salud auditiva de los participantes, por el rango establecido en la prueba: 74 - 78 dB. La determinación del nivel de exposición al ruido (NER) se hizo en apego al inciso B.2 del apéndice B de la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-011-STPS-2001 (ya mencionada en este mismo párrafo) y en la cual se establece el uso de un sonómetro clase 1, un trípode para sonómetro, un cronómetro integrado al instrumento y un medidor de longitud.

Anexo B. La selección de las pruebas y subpruebas utilizadas en la investigación se hizo con base en criterios de anatomía funcional que permitiesen evaluar áreas cerebrales relacionadas en mayor medida con procesos de planificación, inhibición y memoria de trabajo visuoespacial; específicamente: la vmPFC y la dlPFC, relacionadas en procesos de atención, planificación y memoria de trabajo visuoespacial respectivamente (Lázaro y Ostrosky-Solís, 2012).

Anexo C. Cuestionarios**PRIMERA ETAPA**

Fecha: ___/ nov / 2019

Nombre:		Edad:
Correo electrónico:		
Sexo: (F) (M)	Último nivel académico cursado:	

1) ¿Cómo se siente después de la prueba?

a. Muy irritado. b. Irritado. c. Normal. d. Feliz. e. Muy feliz

2) ¿Cuál fue su percepción del paso del tiempo durante la prueba?

a. Muy lento. b. Lento. c. Normal. d. Rápido. e. Muy rápido.

3) ¿Qué tan fuerte sintió la música durante la prueba?

a. Muy poco. b. Poco. c. Normal. d. Alto. e. Muy alto.

4) ¿Qué tan fácil o difícil sintió la prueba?

a. Muy fácil. b. Fácil. c. Normal. d. Difícil. e. Muy difícil.

SEGUNDA ETAPA

Fecha: ___/ nov / 2019

Nombre:		Edad:
Correo electrónico:		
Sexo: (F) (M)	Último nivel académico cursado:	

1) ¿Cómo se siente después de la prueba?

b. Muy irritado. b. Irritado. c. Normal. d. Feliz. e. Muy feliz

2) ¿Cuál fue su percepción del paso del tiempo durante la prueba?

b. Muy lento. b. Lento. c. Normal. d. Rápido. e. Muy rápido.

3) ¿Qué tan fácil o difícil sintió la prueba?

b. Muy fácil. b. Fácil. c. Normal. d. Difícil. e. Muy difícil.

Anexo D. Si bien los siguientes datos no fueron pertinentes para el objetivo de la investigación, cabe mencionar que del total de los participantes encuestados vía *Google Forms*: cerca del 95% reportó escuchar música como mecanismo de aislamiento social, lo que desde luego concuerda con la burbuja psicológica laboral reportada por Lesiuk (2005). El 72% no tenía conocimiento ni formación musical. El 1% reportó estar en una situación sentimental complicada versus el 63% que reportó estar soltero. El 65.3% posee un título de licenciatura, el 9.2% cursa o ha cursado un posgrado y el 2.2% no posee ninguna clase de título o preparación académica. El 94.9% no ha sido diagnosticado con ningún tipo de padecimiento auditivo, trastorno psicológico o psiquiátrico. El 68.9% reportó no tener sentimientos de culpa versus el 21.1% que reportó tener ideas de culpabilidad sobre errores pasados o malas acciones. El 40.2% reportó no manifestar sentimientos relacionados con tristeza, desamparo, desesperanza o inutilidad versus el 59.8% que manifestó poseerlos todos en mayor o menor medida. El 7.8% manifestó haber sentido la necesidad de suicidarse o haberlo intentado. El 80.5% reportó una disminución en la percepción del tiempo al escuchar música. El 58.5% manifestó escuchar música en altos niveles de volumen por la desaparición momentánea de la soledad versus el 41.5% que no encontró diferencia con respecto a este punto. El 65.9% reportó un mayor nivel de concentración en tareas repetitivas mientras el 70.7% aseguró sentir una disminución pasajera de los problemas. En el caso del estado de ánimo, hubo una mejora reportada en el 100% de los participantes. El 88.6% liga sus hábitos de escucha musical a recuerdos agradables. El 74.2% de estas asociaciones psicológicas son de tipo social (amigos, compañeros...) versus el 25.8% de tipo familiar. El 54.3% escucha música con letras agradables (felices) versus el 22.9% que segura no prestar atención a las letras de las canciones. El 51.4% de las personas que escuchan música en altos niveles de volumen aseguraron pensar en la comodidad de sus familiares y vecinos mientras el 48.6% manifestó no hacerlo. De ser el caso, el 88.6% de los participantes aseguró bajar el volumen de su música ante la petición de

un familiar o vecino versus el 11.4% que manifestó dejarlo igual. Para terminar, el 88.6% de las personas manifestaron conocer los riesgos de escuchar música en elevados niveles de volumen.

Y aunque hubo preguntas con respecto a la percepción del desempeño en tareas de planificación y razonamiento ante estímulos musicales, se desestimaron al considerar la posible confusión por parte de las personas ante estos términos.

REFERENCIAS

- Anderson, P., Anderson, V., & Garth, J. (2001). Assessment and Development of Organizational Ability: The Rey Complex Figure Organizational Strategy Score (RCF-OSS)*. In *The Clinical Neuropsychologist* (Vol. 15, Issue 1, pp. 81–94).
<https://doi.org/10.1076/clin.15.1.81.1905>
- Anderson, P., Anderson, V., & Lajoie, G. (1996). The tower of London test: Validation and standardization for pediatric populations. In *The Clinical Neuropsychologist* (Vol. 10, Issue 1, pp. 54–65). <https://doi.org/10.1080/13854049608406663>
- Arbuthnott, K., & Frank, J. (2000). Trail Making Test, Part B as a Measure of Executive Control: Validation Using a Set-Switching Paradigm. In *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology* (Vol. 22, Issue 4, pp. 518–528). [https://doi.org/10.1076/1380-3395\(200008\)22:4;1-0;ft518](https://doi.org/10.1076/1380-3395(200008)22:4;1-0;ft518)
- Archambault, K., Vaugon, K., Deumié, V., Brault, M., Perez, R. M., Peyrin, J., Vaillancourt, G., & Garel, P. (2019). MAP: A Personalized Receptive Music Therapy Intervention to Improve the Affective Well-being of Youths Hospitalized in a Mental Health Unit. *Journal of Music Therapy*, 56(4), 381–402. <https://doi.org/10.1093/jmt/thz013>
- Aschidamini Marcondes, L., Godfried Nachtigall, E., Zanluchi, A., de Carvalho Myskiw, J., Izquierdo, I., & Regina Guerino Furini, C. (2019). Involvement of medial prefrontal cortex NMDA and AMPA/kainate glutamate receptors in social recognition memory consolidation. *Neurobiology of Learning and Memory*, 107153. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2019.107153>
- Baddeley, A. (1986). *Oxford psychology series, No. 11. Working memory*. New York, NY, US. Clarendon Press/Oxford University Press.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556–559.
<https://doi.org/10.1126/science.1736359>

- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1–29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Baddeley, A. D., & Broadbent, D. E. (1983). Working memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 302(1110), 311–324. <https://doi.org/10.1098/rstb.1983.0057>
- Badgaiyan, R. D., & Posner, M. I. (1997). Time course of cortical activations in implicit and explicit recall. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 17(12), 4904–4913. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9169548>
- Ball, P. (2012). *El instinto musical: Escuchar, pensar y vivir la música*. Turner. https://play.google.com/store/books/details?id=Zo-5_izScOMC
- Baltes, P. B., & Kliegl, R. (1986). On the Dynamics Between Growth and Decline in the Aging of Intelligence and Memory. In *Neurology* (pp. 1–17). https://doi.org/10.1007/978-3-642-70007-1_1
- Barbas, H. (1988). Anatomic organization of basoventral and mediodorsal visual recipient prefrontal regions in the rhesus monkey. *The Journal of Comparative Neurology*, 276(3), 313–342. <https://doi.org/10.1002/cne.902760302>
- Barbas, H. (1993). Organization of cortical afferent input to orbitofrontal areas in the rhesus monkey. *Neuroscience*, 56(4), 841–864. [https://doi.org/10.1016/0306-4522\(93\)90132-y](https://doi.org/10.1016/0306-4522(93)90132-y)
- Barbas, H. (1995). Anatomic basis of cognitive-emotional interactions in the primate prefrontal cortex. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 19(3), 499–510. [https://doi.org/10.1016/0149-7634\(94\)00053-4](https://doi.org/10.1016/0149-7634(94)00053-4)

- Barbey, A. K., Koenigs, M., & Grafman, J. (2013). Dorsolateral prefrontal contributions to human working memory. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, *49*(5), 1195–1205. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.05.022>
- Barkley, R. A. (2006). *Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder*. Guilford Publications.
<https://psycnet.apa.org/record/2005-16249-004>
- Barkley, R. A. (2012). *Executive Functions: What They Are, How They Work, and Why They Evolved*. Guilford Press.
https://books.google.com/books/about/Executive_Functions.html?hl=&id=7c39F6qD38IC
- Baumgartner, T., Fischbacher, U., Feierabend, A., Lutz, K., & Fehr, E. (2009). The neural circuitry of a broken promise. *Neuron*, *64*(5), 756–770.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.11.017>
- Baylis, L. L., Rolls, E. T., & Baylis, G. C. (1995). Afferent connections of the caudolateral orbitofrontal cortex taste area of the primate. In *Neuroscience* (Vol. 64, Issue 3, pp. 801–812). [https://doi.org/10.1016/0306-4522\(94\)00449-f](https://doi.org/10.1016/0306-4522(94)00449-f)
- Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. R. (2000). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. *Cerebral Cortex*, *10*(3), 295–307.
<https://doi.org/10.1093/cercor/10.3.295>
- Bechara, A., Tranel, D., & Damasio, H. (2000). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. In *Brain* (Vol. 123, Issue 11, pp. 2189–2202). <https://doi.org/10.1093/brain/123.11.2189>
- Beentjes, J. W. J., Koolstra, C. M., & van der Voort, T. H. A. (1996). Combining background media with doing homework: Incidence of background media use and perceived effects. In *Communication Education* (Vol. 45, Issue 1, pp. 59–72).
<https://doi.org/10.1080/03634529609379032>

- Bell, M. A., & Deater-Deckard, K. (2007). Biological systems and the development of self-regulation: integrating behavior, genetics, and psychophysiology. *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics: JDBP*, 28(5), 409–420.
<https://doi.org/10.1097/DBP.0b013e3181131fc7>
- Benward, B., & Saker, M. (2008). *Music in theory and practice* (M. Ryan (ed.); Vol. 1). McGraw Hill Higher Education.
- Berger, S. E., Harbourne, R. T., & Horger, M. N. (2018). Cognition--action trade-offs reflect organization of attention in infancy. In *Advances in child development and behavior* (Vol. 54, pp. 45–86). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065240717300381>
- Berridge, K. C., & Kringelbach, M. L. (2008). Affective neuroscience of pleasure: reward in humans and animals. *Psychopharmacology*, 199(3), 457–480.
<https://doi.org/10.1007/s00213-008-1099-6>
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A Developmental Perspective on Executive Function. In *Child Development* (Vol. 81, Issue 6, pp. 1641–1660). <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>
- Best, J. R., Miller, P. H., & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. In *Developmental Review* (Vol. 29, Issue 3, pp. 180–200).
<https://doi.org/10.1016/j.dr.2009.05.002>
- Bieńkiewicz, M. M. N., & Craig, C. (2017). *Sound, Music and Movement in Parkinson's Disease*. Frontiers Media SA.
https://books.google.com/books/about/Sound_Music_and_Movement_in_Parkinson_s.html?hl=&id=kvItDwAAQBAJ
- Bigliassi, M., León-Domínguez, U., & Altimari, L. R. (2015). How does the prefrontal cortex “listen” to classical and techno music? A functional near-infrared spectroscopy (fNIRS)

study. In *Psychology & Neuroscience* (Vol. 8, Issue 2, pp. 246–256).

<https://doi.org/10.1037/h0101064>

Blasco, L. C. (2016). *Acústica musical*.

Boer, D. (2012). Music makes the people come together: Social functions of music listening for young people across cultures. In *PsycEXTRA Dataset*. <https://doi.org/10.1037/e508912013-001>

Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, *108*(3), 624–652.

<https://doi.org/10.1037/0033-295x.108.3.624>

Bowmer, A., Mason, K., Knight, J., & Welch, G. (2018). Investigating the Impact of a Musical Intervention on Preschool Children's Executive Function. *Frontiers in Psychology*, *9*, 2389.

<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02389>

Brehmer, Y., Nilsson, J., Berggren, R., Schmiedek, F., & Lövdén, M. (2019). The importance of the ventromedial prefrontal cortex for associative memory in older adults: A latent structural equation analysis. *NeuroImage*, 116475. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116475>

Brown, T. E., & Landgraf, J. M. (2010). Improvements in Executive Function Correlate with Enhanced Performance and Functioning and Health-Related Quality of Life: Evidence from 2 Large, Double-Blind, Randomized, Placebo-Controlled Trials in ADHD. In *Postgraduate Medicine* (Vol. 122, Issue 5, pp. 42–51). <https://doi.org/10.3810/pgm.2010.09.2200>

Buckner, R. and Carroll, DC., (2007). Self-projection and the brain. *Trends Cogn Sci* 11: 49-57.

DOI: [10.1016/j.tics.2006.11.004](https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.11.004)

Carmichael, S. T., Clugnet, M. C., & Price, J. L. (1994). Central olfactory connections in the macaque monkey. *The Journal of Comparative Neurology*, *346*(3), 403–434.

<https://doi.org/10.1002/cne.903460306>

- Carmichael, S. T., & Price, J. L. (1995). Limbic connections of the orbital and medial prefrontal cortex in macaque monkeys. *The Journal of Comparative Neurology*, 363(4), 615–641.
<https://doi.org/10.1002/cne.903630408>
- Cherry, B. J., Buckwalter, J. G., & Henderson, V. W. (2002). Better preservation of memory span relative to supraspan immediate recall in Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 40(7), 846–852. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(01\)00173-7](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(01)00173-7)
- Cock, M. R., Matute, E., & Jurado, M. B. (2008). Las funciones ejecutivas a través de la vida. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría Y Neurociencias*, 8(1), 23–46.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3987451>
- Cromer, J. A., Schembri, A. J., Harel, B. T., & Maruff, P. (2015). The nature and rate of cognitive maturation from late childhood to adulthood. In *Frontiers in Psychology* (Vol. 6).
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00704>
- Cronbach, L. J., & Shapiro, K. (1982). *Designing evaluations of educational and social programs*. Jossey-Bass,.
- Crone, E. A., Donohue, S. E., Honomichl, R., Wendelken, C., & Bunge, S. A. (2006). Brain Regions Mediating Flexible Rule Use during Development. In *Journal of Neuroscience* (Vol. 26, Issue 43, pp. 11239–11247). <https://doi.org/10.1523/jneurosci.2165-06.2006>
- Crossman, A. R. (2008). *Neuroanatomía: texto y atlas en color*.
<https://books.google.com/books/about/Neuroanatom%C3%ADa.html?hl=&id=oCPetAEACA>
AJ
- Culbert, S. S., & Posner, M. I. (1960). Human habituation to an acoustical energy distribution spectrum. In *Journal of Applied Psychology* (Vol. 44, Issue 4, pp. 263–266).
<https://doi.org/10.1037/h0047784>

- Curtis, C. E., & D'Esposito, M. (2003). Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(9), 415–423. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(03\)00197-9](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(03)00197-9)
- Das, J. P., & Misra, S. B. (2014). *Cognitive Planning and Executive Functions: Applications in Management and Education*. SAGE Publications India.
https://books.google.com/books/about/Cognitive_Planning_and_Executive_Functio.html?hl=&id=R1glDAAAQBAJ
- Davidson, M. C., Amso, D., Anderson, L. C., & Diamond, A. (2006). Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: Evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 44(11), 2037–2078.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006>
- Day, R.-F., Lin, C.-H., Huang, W.-H., & Chuang, S.-H. (2009). Effects of music *tempo* and task difficulty on multi-attribute decision-making: An eye-tracking approach. In *Computers in Human Behavior* (Vol. 25, Issue 1, pp. 130–143). <https://doi.org/10.1016/j.chb.2008.08.001>
- Dawes, P., Fortnum, H., Moore, D. R., Emsley, R., Norman, P., Cruickshanks, K., Davis, A., Edmondson-Jones, M., McCormack, A., Lutman, M., & Munro, K. (2014). Hearing in middle age: a population snapshot of 40- to 69-year olds in the United Kingdom. *Ear and hearing*, 35(3), e44–e51. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000010>
- Degé, F., Kubicek, C., & Schwarzer, G. (2011). Music Lessons and Intelligence: A Relation Mediated by Executive Functions. In *Music Perception: An Interdisciplinary Journal* (Vol. 29, Issue 2, pp. 195–201). <https://doi.org/10.1525/mp.2011.29.2.195>
- De Pittà, M., Brunel, N., & Volterra, A. (2016). Astrocytes: Orchestrating synaptic plasticity? *Neuroscience*, 323, 43–61. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2015.04.001>
- d'Errico, F., Henshilwood, C., Lawson, G., Vanhaeren, M., Tillier, A.-M., Soressi, M., eriqueBresson, F. E., Maureille, B., Nowell, A., Lakarra, J., Backwell, L., & Julien., A. M.

ele. (2003). Archaeological Evidence for the Emergence of Language, Symbolism, and Music—An Alternative Multidisciplinary Perspective. *Journal of World Prehistory*, 17(1).
https://www.academia.edu/18801647/dErrico_et_al_2003_Archaeological_Evidence_for_the_Emergence_of_Language_Symbolism_and_Music_An_Alternative_Multidisciplinary_Perspective

D'esposito, M., Cooney, J. W., Gazzaley, A., Gibbs, S. E. B., & Postle, B. R. (2006). Is the Prefrontal Cortex Necessary for Delay Task Performance? Evidence from Lesion and fMRI Data. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, 12(2), 248–260.
<https://doi.org/10.1017/S1355617706060322>

Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. *Principles of Frontal Lobe Function*, 466–503. <http://devcogneuro.com/Publications/ChapterinStuss&Knight.pdf>

Diamond, A. (2006). The Early Development of Executive Functions. In *Lifespan Cognition: Mechanisms of Change* (pp. 70–95).
<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195169539.003.0006>

Diamond, A. (2013a). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168.
<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>

Diamond, A. (2013b). Want to Optimize Executive Functions and Academic Outcomes? Simple, Just Nourish the Human Spirit. In *Minnesota Symposia on Child Psychology* (pp. 203–230).
<https://doi.org/10.1002/9781118732373.ch7>

Douglas, V. I., & Benezra, E. (1990). Supraspan verbal memory in attention deficit disorder with hyperactivity normal and reading-disabled boys. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 18(6), 617–638. <https://doi.org/10.1007/bf01342751>

Drösser, C. (2012). *La seducción de la música: Los secretos de nuestro instinto musical*. Grupo Planeta Spain.

https://books.google.com/books/about/La_seduci%C3%B3n_de_la_m%C3%A9nica.html?hl=&id=IgN6zPHD_sgC

Eickhoff, S. B., Schleicher, A., Zilles, K., & Amunts, K. (2006). The human parietal operculum. I. Cytoarchitectonic mapping of subdivisions. *Cerebral Cortex*, *16*(2), 254–267.

<https://doi.org/10.1093/cercor/bhi105>

Elston, G. N. (2003). Cortex, cognition and the cell: new insights into the pyramidal neuron and prefrontal function. *Cerebral Cortex*, *13*(11), 1124–1138.

<https://doi.org/10.1093/cercor/bhg093>

Etchepareborda, M. C., & Abad-Mas, L. (2005). Memoria de trabajo en los procesos básicos del aprendizaje. *Revista de Neurología*, *40*(1), 79–83.

http://www.academia.edu/download/36801310/Memoria_3.pdf

Farah, M. J. (1988). Is visual imagery really visual? Overlooked evidence from neuropsychology.

Psychological Review, *95*(3), 307–317. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.95.3.307>

Farah, M. J. (1988). Is visual imagery really visual? Overlooked evidence from neuropsychology.

Psychological Review, *95*(3), 307–317. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.95.3.307>

Ferreri L, Bigand E, Perrey S, Muthalib M, Bard P, Bugajska A. Less Effort, Better Results: How Does Music Act on Prefrontal Cortex in Older Adults during Verbal Encoding? An fNIRS Study. *Front Hum Neurosci*. 2014;8:301. Published 2014 May 12.

doi:10.3389/fnhum.2014.00301

Felipe, A. S. de, de Felipe, A. S., & Merino, B. C. (2013). Neuroarquitectura de la emoción musical. In *Revista de Neurología* (Vol. 56, Issue 05, p. 289).

<https://doi.org/10.33588/rn.5605.2013001>

Fernández, P. L. (2000). Conceptos físicos de las ondas sonoras. *Física Y Sociedad*, *11*.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=960657>

- Fernández-Viadero, C., González, M., Verduga, R., Crespo, D., Cruz, L. (2008). La estereología como herramienta de cuantificación del volumen y la atrofia cortical en el cerebro del anciano con demencia. *Revista española de geriatría y gerontología: Organó oficial de la Sociedad Española de Geriatría y Gerontología*, ISSN 0211-139X, ISSN-e 1578-1747, Vol. 43, Nº. 1, 2008, págs. 32-43
- Flores, M. J. R., & Shejet, F. O. (2012). Flexibilidad Cognitiva después de un Traumatismo Craneoencefálico. In *Acta de Investigación Psicológica* (Vol. 2, Issue 1, pp. 582–591). <https://doi.org/10.22201/fpsi.20074719e.2012.1.193>
- Fougnie, D., & Marois, R. (2007). Executive working memory load induces inattentive blindness. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14(1), 142–147. <https://doi.org/10.3758/bf03194041>
- Friederici, A. D., Rüschemeyer, S.-A., Hahne, A., & Fiebach, C. J. (2003). The role of left inferior frontal and superior temporal cortex in sentence comprehension: localizing syntactic and semantic processes. *Cerebral Cortex*, 13(2), 170–177. <https://doi.org/10.1093/cercor/13.2.170>
- Friederici, A. D., & Wartenburger, I. (2010). Language and brain. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Cognitive Science*, 1(2), 150–159. <https://doi.org/10.1002/wcs.9>
- Funahashi, S., & Bruce, C. J. (1993). Dorsolateral prefrontal lesions and oculomotor delayed-response performance: evidence for mnemonic “scotomas.” *Journal of*. <http://www.jneurosci.org/content/13/4/1479.short>
- Funahashi, S., Bruce, C. J., & Goldman-Rakic, P. S. (1989). Mnemonic coding of visual space in the monkey’s dorsolateral prefrontal cortex. *Journal of Neurophysiology*, 61(2), 331–349. <https://doi.org/10.1152/jn.1989.61.2.331>
- Furnham, A., & Allass, K. (1999). The influence of musical distraction of varying complexity on the cognitive performance of extroverts and introverts. *European Journal of Personality*,

13(1), 27–38. [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/\(SICI\)1099-0984\(199901/02\)13:1%3C27::AID-PER318%3E3.0.CO;2-R](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/(SICI)1099-0984(199901/02)13:1%3C27::AID-PER318%3E3.0.CO;2-R)

Fuster, J. M. (2002). Frontal lobe and cognitive development. *Journal of Neurocytology*, 31(3-5), 373–385. <https://doi.org/10.1023/a:1024190429920>

Fuster, J. M. (2008). Anatomy of the Prefrontal Cortex. In *The Prefrontal Cortex* (pp. 7–58). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-373644-4.00002-5>

Fuster, J., (2015). Human Neuropsychology. The Prefrontal Cortex, Fifth Edition. Pp 183-235. doi.org/10.1016/B978-0-12-407815-4.00005-2

Fuster, J. M. (2017). Prefrontal Executive Functions Predict and Preadapt. In *Executive Functions in Health and Disease* (pp. 3–19). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803676-1.00001-5>

García-Casares, N., Berthier Torres, M. L., Froudish Walsh, S., & González-Santos, P. (2013). Modelo de cognición musical y amusia. In *Neurología* (Vol. 28, Issue 3, pp. 179–186). <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2011.04.010>

García-Molina, A., Enseñat-Cantalops, A., Tirapu-Ustárrroz, J., & Roig-Rovira, T. (2009). [Maturation of the prefrontal cortex and development of the executive functions during the first five years of life]. *Revista de neurología*, 48(8), 435–440. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19340785>

García, R. M. B., Rosas, A. R. M., & Vanegas, M. A. A. (2010). Música y neurociencias. *Arch Neurocién (Mex)*. https://www.researchgate.net/profile/Ricardo_Buentello_Garcia/publication/304223688_Musica_y_neurociencias/links/5769fe3608ae7d2478cd8c10.pdf

Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: a review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134(1), 31–60. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31>

- Garon, N., Smith, I. M., & Bryson, S. E. (2014). A novel executive function battery for preschoolers: Sensitivity to age differences. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, 20(6), 713–736.
<https://doi.org/10.1080/09297049.2013.857650>
- Gerardi-Caulton, G. (2000). Sensitivity to spatial conflict and the development of self-regulation in children 24–36 months of age. *Developmental Science*, 3(4), 397–404.
<https://doi.org/10.1111/1467-7687.00134>
- Gibson, E. (2000). The dependency locality theory: A distance-based theory of linguistic complexity. *Image, Language, Brain*, 2000, 95–126.
[https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=8w-Eo3DJsmYC&oi=fnd&pg=PA95&dq=the+dependency+locality+theory+Gibson+\(2000\)&ots=pfSXBqAHkd&sig=9cMpwtassM19u068n_JMSUTmrpQ](https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=8w-Eo3DJsmYC&oi=fnd&pg=PA95&dq=the+dependency+locality+theory+Gibson+(2000)&ots=pfSXBqAHkd&sig=9cMpwtassM19u068n_JMSUTmrpQ)
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A. C., & Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2(10), 861–863.
<https://doi.org/10.1038/13158>
- Girardi, A., Sala, S. D., & MacPherson, S. E. (2018). Theory of mind and the Ultimatum Game in healthy adult aging. *Experimental Aging Research*, 44(3), 246–257.
<https://doi.org/10.1080/0361073X.2018.1449590>
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., Nugent, T. F., 3rd, Herman, D. H., Clasen, L. S., Toga, A. W., Rapoport, J. L., & Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(21), 8174–8179. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101>

- Goldberg, E. (2002). *The Executive Brain: Frontal Lobes and the Civilized Mind*. Oxford University Press, USA.
https://books.google.com/books/about/The_Executive_Brain.html?hl=&id=IS8HCDsKIVAC
- Goldman-Rakic, P. S. (1995). Cellular basis of working memory. *Neuron*, 14(3), 477–485.
[https://doi.org/10.1016/0896-6273\(95\)90304-6](https://doi.org/10.1016/0896-6273(95)90304-6)
- Gorelick, D. A., Zangen, A., & George, M. S. (2014). Transcranial magnetic stimulation in the treatment of substance addiction. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1327, 79–93.
<https://doi.org/10.1111/nyas.12479>
- Grange, J., & Houghton, G. (2014). *Task Switching and Cognitive Control*. Oxford University Press. <https://play.google.com/store/books/details?id=4HCVAwAAQBAJ>
- Greenblatt, M. (1953). Personality and the Frontal Lobes. In *American Journal of Psychiatry* (Vol. 110, Issue 5, pp. 395–396). <https://doi.org/10.1176/ajp.110.5.395>
- Greitemeyer, T. (2009). Effects of songs with prosocial lyrics on prosocial thoughts, affect, and behavior. *Journal of Experimental Social Psychology*, 45(1), 186–190.
<https://doi.org/10.1016/j.jesp.2008.08.003>
- Gutiérrez, A. L., & Solís, F. O. (2011). Desarrollo de las Funciones Ejecutivas y de la Corteza Prefrontal. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría Y Neurociencias*, 11(1), 159–172.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3640871>
- Haake, A. B. (2011). Individual music listening in workplace settings: An exploratory survey of offices in the UK. *Musicae Scientiae: The Journal of the European Society for the Cognitive Sciences of Music*, 15(1), 107–129. <https://doi.org/10.1177/1029864911398065>
- Hanazumi A, Gil D, Iório MCM. Estéreospeçoais: hábitos auditivos e avaliação audiológica. *Audiol Commun Res*. 2013;18(3):179-85. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S2317-64312013000300007>

- Hanser, S. B. (2016). *Integrative Health through Music Therapy: Accompanying the Journey from Illness to Wellness*. Springer.
<https://play.google.com/store/books/details?id=61tBDAAAQBAJ>
- Hasselmo, M. E., Rolls, E. T., & Baylis, G. C. (1989). The role of expression and identity in the face-selective responses of neurons in the *temporal* visual cortex of the monkey. *Behavioural Brain Research*, 32(3), 203–218. [https://doi.org/10.1016/s0166-4328\(89\)80054-3](https://doi.org/10.1016/s0166-4328(89)80054-3)
- Hebb, D. O. (1939). Intelligence in Man after Large Removals of Cerebral Tissue: Report of Four Left Frontal Lobe Cases. *The Journal of General Psychology*, 21(1), 73–87.
<https://doi.org/10.1080/00221309.1939.9710587>
- Hebb, D. O. (1941). Human Intelligence After Removal of Cerebral Tissue from the Right Frontal LOBE. *The Journal of General Psychology*, 25(2), 257–265.
<https://doi.org/10.1080/00221309.1941.10544397>
- Hennessy, S. L., Sachs, M. E., Ilari, B., & Habibi, A. (2019). Effects of Music Training on Inhibitory Control and Associated Neural Networks in School-Aged Children: A Longitudinal Study. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 1080.
<https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01080>
- Henriquez, R. P. (2010). Déficit atencional y conductas antisociales: una mirada desde la corteza orbitofrontal. In *Medwave* (Vol. 10, Issue 5). <https://doi.org/10.5867/medwave.2010.05.4519>
- Herrera, Bender, Lourdes, Rocha, Arruda, Ribeiro, (2016). Amplified music with headphones and its implications on hearing health in teens. *The International Tinnitus Journal*. Vol. 20, Issue 1/June 2016. 10.5935/0946-5448.20160008
- Hernández, J. F., Bello-Dávila, L., Ramírez, S. F., Marin, J., Rudas, J., Ordóñez-Rubiano, E. G., & Vanegas, J. V. (2019). Volumetría de fascículos cerebrales en población sana. In *Revista Argentina de Radiología / Argentinian Journal of Radiology* (Vol. 83, Issue 03, pp. 095–101). <https://doi.org/10.1055/s-0039-1693672>

- Hernaus, D., Quaedflieg, C., Offermann, J. S., Casales Santa, M. M., & van Amelsvoort, T. (2018). Neuroendocrine stress responses predict catecholamine-dependent working memory-related dorsolateral prefrontal cortex activity. *Social cognitive and affective neuroscience*, 13(1), 114–123. <https://doi.org/10.1093/scan/nsx122>
- Hill, J., Inder, T., Neil, J., Dierker, D., Harwell, J., & Van Essen, D. (2010). Similar patterns of cortical expansion during human development and evolution. In *Proceedings of the National Academy of Sciences* (Vol. 107, Issue 29, pp. 13135–13140). <https://doi.org/10.1073/pnas.1001229107>
- Hochheiser, J., Lundin, N. B., & Lysaker, P. H. (2019). The Independent Relationships of Metacognition, Mindfulness, and Cognitive Insight to Self-Compassion in Schizophrenia. *The Journal of Nervous and Mental Disease*. <https://doi.org/10.1097/NMD.0000000000001065>
- Hodgson, T. (2019). *Processes of Visuospatial Attention and Working Memory*. Springer Nature. https://play.google.com/store/books/details?id=SRS_DwAAQBAJ
- Hodgson, T., Chamberlain, M., Parris, B., James, M., Gutowski, N., Husain, M., & Kennard, C. (2007). The role of the ventrolateral frontal cortex in inhibitory oculomotor control. *Brain: A Journal of Neurology*, 130(Pt 6), 1525–1537. <https://doi.org/10.1093/brain/awm064>
- Honing, H., ten Cate, C., Peretz, I., & Trehub, S. E. (2015). Without it no music: cognition, biology and evolution of musicality. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 370(1664), 20140088. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0088>
- Hoshi, E., & Tanji, J. (2004). Area-Selective Neuronal Activity in the Dorsolateral Prefrontal Cortex for Information Retrieval and Action Planning. In *Journal of Neurophysiology* (Vol. 91, Issue 6, pp. 2707–2722). <https://doi.org/10.1152/jn.00904.2003>

- Huizinga, M., Baeyens, D., & Burack, J. A. (2018). *Executive Function and Education*. Frontiers Media SA.
https://books.google.com/books/about/Executive_Function_and_Education.html?hl=&id=yUlvDwAAQBAJ
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, *44*(11), 2017–2036. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.010>
- Hulley, S. B. (2007). *Designing Clinical Research*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Husain, G., Thompson, W. F., & Glenn Schellenberg, E. (2002). Effects of Musical *Tempo* and Mode on Arousal, Mood, and Spatial Abilities. In *Music Perception* (Vol. 20, Issue 2, pp. 151–171). <https://doi.org/10.1525/mp.2002.20.2.151>
- Huttenlocher, P. R. (1990). Morphometric study of human cerebral cortex development. *Neuropsychologia*, *28*(6), 517–527. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(90\)90031-i](https://doi.org/10.1016/0028-3932(90)90031-i)
- Huttenlocher, P. R., & Dabholkar, A. S. (1997). Regional differences in synaptogenesis in human cerebral cortex. *The Journal of Comparative Neurology*, *387*(2), 167–178.
[https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9861\(19971020\)387:2<167::aid-cne1>3.0.co;2-z](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9861(19971020)387:2<167::aid-cne1>3.0.co;2-z)
- Hu, X., Li, T., Zheng, J., Su, N., Liu, Z., & Luo, L. (2015). How Much Do Metamemory Beliefs Contribute to the Font-Size Effect in Judgments of Learning? *PloS One*, *10*(11), e0142351.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142351>
- Jacobs, B., Schall, M., Prather, M., Kapler, E., Driscoll, L., Baca, S., Jacobs, J., Ford, K., Wainwright, M., & Treml, M. (2001). Regional dendritic and spine variation in human cerebral cortex: a quantitative golgi study. *Cerebral Cortex*, *11*(6), 558–571.
<https://academic.oup.com/cercor/article-abstract/11/6/558/370645>

- Jacques, S., & Zelazo, P. D. (2001). The Flexible Item Selection Task (FIST): a measure of executive function in preschoolers. *Developmental Neuropsychology*, 20(3), 573–591.
https://doi.org/10.1207/S15326942DN2003_2
- Jang, H. (2012). A Study about Music Elements Affecting Social Relationships between Students with Disabilities and Their Peers. In *Special Education Research* (Vol. 11, Issue 1, p. 189).
<https://doi.org/10.18541/ser.2012.02.11.1.189>
- Jaschke, A. C., Honing, H., & Scherder, E. J. A. (2018). Exposure to a musically-enriched environment; Its relationship with executive functions, short-term memory and verbal IQ in primary school children. *PloS One*, 13(11), e0207265.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207265>
- Jauset Berrocal, J. A. (2018). *Música y neurociencia: La musicoterapia. Fundamentos, efectos y aplicaciones terapéuticas (nueva edición revisada y ampliada)*. Editorial UOC.
<https://play.google.com/store/books/details?id=NI1ODwAAQBAJ>
- Jiang, X. (2018). Prefrontal Cortex: Role in Language Communication during Social Interaction. In *Prefrontal Cortex*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79255>
- Johnson, S. B., Blum, R. W., & Giedd, J. N. (2009). Adolescent Maturity and the Brain: The Promise and Pitfalls of Neuroscience Research in Adolescent Health Policy. In *Journal of Adolescent Health* (Vol. 45, Issue 3, pp. 216–221).
<https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2009.05.016>
- Juslin, P. N. (2013). What does music express? Basic emotions and beyond. *Frontiers in Psychology*, 4, 596. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00596>
- Juslin, P. N., Barradas, G., & Eerola, T. (2015). From Sound to Significance: Exploring the Mechanisms Underlying Emotional Reactions to Music. *The American Journal of Psychology*, 128(3), 281–304. <https://doi.org/10.5406/amerjpsyc.128.3.0281>

- Kalbfleisch, L. (2017). Neurodevelopment of the Executive Functions. In *Executive Functions in Health and Disease* (pp. 143–168). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803676-1.00007-6>
- Kalgotra, P., & Sharda, R. (2018). BIARAM: A process for analyzing correlated brain regions using association rule mining. In *Computer Methods and Programs in Biomedicine* (Vol. 162, pp. 99–108). <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2018.05.001>
- Kaller, C. P., Rahm, B., Spreer, J., Weiller, C., & Unterrainer, J. M. (2011). Dissociable Contributions of Left and Right Dorsolateral Prefrontal Cortex in Planning. In *Cerebral Cortex* (Vol. 21, Issue 2, pp. 307–317). <https://doi.org/10.1093/cercor/bhq096>
- Kasof, J. (1997). Creativity and Breadth of Attention. In *Creativity Research Journal* (Vol. 10, Issue 4, pp. 303–315). https://doi.org/10.1207/s15326934crj1004_2
- Keeler, K., & Cortina, J. (2018). Working to the beat: A self-regulatory framework linking music characteristics to job performance. In *Academy of Management Review*. <https://doi.org/10.5465/amr.2016.0115>
- Kharitonova, M., Martin, R. E., Gabrieli, J. D. E., & Sheridan, M. A. (2013). Cortical gray-matter thinning is associated with age-related improvements on executive function tasks. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 6, 61–71. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2013.07.002>
- Klahr, D., & Robinson, M. (1981). Formal assessment of problem-solving and planning processes in preschool children. *Cognitive Psychology*, 13(1), 113–148. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(81\)90006-2](https://doi.org/10.1016/0010-0285(81)90006-2)
- Kljajevic, V., & Murasugi, K. (2010). The role of morphology in the comprehension of wh-dependencies in Croatian aphasic speakers. *Aphasiology*, 24(11), 1354–1376. <https://doi.org/10.1080/02687030903515347>
- Knoch, D., Pascual-Leone, A., Meyer, K., Treyer, V., & Fehr, E. (2006). Diminishing reciprocal fairness by disrupting the right prefrontal cortex. *Science*, 314(5800), 829–832. <https://doi.org/10.1126/science.1129156>

- Kobayashi, S. (2009). *Reward Neurophysiology and Primate Cerebral Cortex*.
- Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. *Nature Reviews. Neuroscience*, *15*(3), 170–180. <https://doi.org/10.1038/nrn3666>
- Koelsch, S., Gunter, T. C., Wittfoth, M., & Sammler, D. (2005). Interaction between syntax processing in language and in music: an ERP Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(10), 1565–1577. <https://doi.org/10.1162/089892905774597290>
- Korucu, I., Rolan, E., Napoli, A. R., Purpura, D. J., & Schmitt, S. A. (2019). Development of the Home Executive Function Environment (HEFE) Scale: Assessing its relation to preschoolers' executive function. In *Early Childhood Research Quarterly* (Vol. 47, pp. 9–19). <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2018.09.001>
- Krumhansl, C. L. (1990). Tonal hierarchies and rare intervals in music cognition. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, *7*(3), 309–324. <https://mp.ucpress.edu/content/7/3/39.abstract>
- Kuhl, P. K. (2010). Brain mechanisms in early language acquisition. *Neuron*, *67*(5), 713–727. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.08.038>
- Kuhl, P. K. (2011). Social Mechanisms in Early Language Acquisition: Understanding Integrated Brain Systems Supporting Language. In *Oxford Handbooks Online*. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195342161.013.0043>
- Kuhl, P., & Rivera-Gaxiola, M. (2008). Neural Substrates of Language Acquisition. In *Annual Review of Neuroscience* (Vol. 31, Issue 1, pp. 511–534). <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.30.051606.094321>
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?! *Intelligence*, *14*(4), 389–433. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(05\)80012-1](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(05)80012-1)

- Latarjet, M., & Liard, A. R. (2004). *Anatomía humana*. Ed. Médica Panamericana.
https://books.google.com/books/about/Anatom%C3%ADa_humana.html?hl=&id=Gn64RKKVTw0cC
- Lázaro, J. C. F., Gutiérrez, A. L., & Ostrosky-Solís, F. (2014). *BANFE-2: Batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas y Lóbulos Frontales*.
https://books.google.com/books/about/BANFE_2.html?hl=&id=YedgswEACAAJ
- Lázaro, J. C. F., & Ostrosky-Solís, F. (2012). *Desarrollo neuropsicológico de lóbulos frontales y funciones ejecutivas*. Editorial El Manual Moderno.
<https://play.google.com/store/books/details?id=xNPHCQAAQBAJ>
- Lee, J. (1994). Odds ratio or relative risk for cross-sectional data? *International Journal of Epidemiology*, 23(1), 201–203. <https://doi.org/10.1093/ije/23.1.201>
- Lehner, T., Miller, B. L., & Matthew W. State. (2016). *Genomics, Circuits, and Pathways in Clinical Neuropsychiatry*. Academic Press.
<https://play.google.com/store/books/details?id=It2cBAAAQBAJ>
- Lenroot, R. K., & Giedd, J. N. (2006). Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30(6), 718–729. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.06.001>
- Lesiuk, T. (2005). The effect of music listening on work performance. In *Psychology of Music* (Vol. 33, Issue 2, pp. 173–191). <https://doi.org/10.1177/0305735605050650>
- Levitin, D. J. (1999). Tone deafness: failures of musical anticipation and self-reference. *International Journal of Computing and Anticipatory Systems*, 4, 243–254.
<http://www.academia.edu/download/33539026/1999-Levitin-IJCAS2.pdf>
- Levitin, D. J., & Tirovolas, A. K. (2009). Current advances in the cognitive neuroscience of music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1156, 211–231.
<https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04417.x>

- Li, K., Jiang, Y., Gong, Y., Zhao, W., Zhao, Z., Liu, X., Kendrick, K. M., Zhu, C., & Becker, B. (2019). Functional near-infrared spectroscopy-informed neurofeedback: regional-specific modulation of lateral orbitofrontal activation and cognitive flexibility. *Neurophotonics*, *6*(2), 025011. <https://doi.org/10.1117/1.NPh.6.2.025011>
- Li, P., Jia, X., Li, X., & Li, W. (2016). The effect of animacy on metamemory. *Memory & Cognition*, *44*(5), 696–705. <https://doi.org/10.3758/s13421-016-0598-7>
- Llinàs-Reglà, J., Vilalta-Franch, J., López-Pousa, S., Calvó-Perxas, L., Torrents Rodas, D., & Garre-Olmo, J. (2017). The Trail Making Test. *Assessment*, *24*(2), 183–196. <https://doi.org/10.1177/1073191115602552>
- Luciana, M., Collins, P. F., Olson, E. A., & Schissel, A. M. (2009). Tower of London Performance in Healthy Adolescents: The Development of Planning Skills and Associations With Self-Reported Inattention and Impulsivity. In *Developmental Neuropsychology* (Vol. 34, Issue 4, pp. 461–475). <https://doi.org/10.1080/87565640902964540>
- Luciana, M., Conklin, H. M., Hooper, C. J., & Yarger, R. S. (2005). The development of nonverbal working memory and executive control processes in adolescents. *Child Development*, *76*(3), 697–712. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2005.00872.x>
- Maddio, S. L., & Greco, C. (2010). Flexibilidad Cognitiva para Resolver Problemas entre Pares? Difiere esta Capacidad en Escolares de Contextos Urbanos y Urbanomarginales? *Revista Interamericana de Psicología = Interamerican Journal of Psychology*, *44*(1), 98–109. <https://www.redalyc.org/pdf/284/28420640011.pdf>
- Mangels, J. A. (1997). Strategic processing and memory for *temporal* order in patients with frontal lobe lesions. In *Neuropsychology* (Vol. 11, Issue 2, pp. 207–221). <https://doi.org/10.1037/0894-4105.11.2.207>
- Mansouri, F. A., Acevedo, N., Illipparampil, R., Fehring, D. J., Fitzgerald, P. B., & Jaberzadeh, S. (2017). Interactive effects of music and prefrontal cortex stimulation in modulating

response inhibition. *Scientific Reports*, 7(1), 18096. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18119-x>

Mansouri, F., Tanaka, K., & Buckley, M. J. (2009). The neuronal correlate of conflict-induced behavioral adjustment in prefrontal cortex. In *Neuroscience Research* (Vol. 65, p. S30). <https://doi.org/10.1016/j.neures.2009.09.1667>

Marek, R., Strobel, C., Bredy, T. W., & Sah, P. (2013). The amygdala and medial prefrontal cortex: partners in the fear circuit. *The Journal of Physiology*, 591(10), 2381–2391. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.248575>

Martindale, C., & Greenough, J. (1973). The differential effect of increased arousal on creative and intellectual performance. *The Journal of Genetic Psychology*, 123(2d Half), 329–335. <https://doi.org/10.1080/00221325.1973.10532692>

Martínez-Molina, N., Mas-Herrero, E., Rodríguez-Fornells, A., Zatorre, R. J., & Marco-Pallarés, J. (2019). White Matter Microstructure Reflects Individual Differences in Music Reward Sensitivity. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 39(25), 5018–5027. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2020-18.2019>

Marx, A. B., Girac, E., & Saroni, H. S. (2018). *Theory and Practice of Musical Composition*. Franklin Classics Trade Press. https://books.google.com/books/about/Theory_and_Practice_of_Musical_Compositi.html?hl=&id=-1GRwgEACAAJ

Matarazzo, J. D., Wiens, A. N., Matarazzo, R. G., & Goldstein, S. G. (1974). PSYCHOMETRIC AND CLINICAL TEST-RETEST RELIABILITY OF THE HALSTEAD IMPAIRMENT INDEX IN A SAMPLE OF HEALTHY, YOUNG, NORMAL MEN. In *The Journal of Nervous and Mental Disease* (Vol. 158, Issue 1, pp. 37–49). <https://doi.org/10.1097/00005053-197401000-00006>

- Mavridis, I. N. (2015). Music and the nucleus accumbens. *Surgical and Radiologic Anatomy: SRA*, 37(2), 121–125. <https://doi.org/10.1007/s00276-014-1360-0>
- Mayer, E. A., & Saper, C. B. (2000). *The Biological Basis for Mind Body Interactions*. Elsevier. <https://play.google.com/store/books/details?id=M6Kky0bTDkkC>
- McKendrick, Mehta, Ayaz, Scheldrup and Parasuraman, (2017). Prefrontal Hemodynamics of Physical Activity and Environmental Complexity During Cognitive Work. *Human Factors*. Vol. 59, No. 1 February 2017, pp 147-162. Doi: 10.1177/0018720816675053
- Miguel, E. C., Lopes, A. C., McLaughlin, N. C. R., Norén, G., Gentil, A. F., Hamani, C., Shavitt, R. G., Batistuzzo, M. C., Vattimo, E. F. Q., Canteras, M., De Salles, A., Gorgulho, A., Salvajoli, J. V., Fonoff, E. T., Paddick, I., Hoexter, M. Q., Lindquist, C., Haber, S. N., Greenberg, B. D., & Sheth, S. A. (2019). Evolution of gamma knife capsulotomy for intractable obsessive-compulsive disorder. *Molecular Psychiatry*, 24(2), 218–240. <https://doi.org/10.1038/s41380-018-0054-0>
- Millan, M. J., Agid, Y., Brüne, M., Bullmore, E. T., Carter, C. S., Clayton, N. S., Connor, R., Davis, S., Deakin, B., DeRubeis, R. J., Dubois, B., Geyer, M. A., Goodwin, G. M., Gorwood, P., Jay, T. M., Joëls, M., Mansuy, I. M., Meyer-Lindenberg, A., Murphy, D., ... Young, L. J. (2012). Cognitive dysfunction in psychiatric disorders: characteristics, causes and the quest for improved therapy. *Nature Reviews. Drug Discovery*, 11(2), 141–168. <https://doi.org/10.1038/nrd3628>
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167–202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The Nature and Organization of Individual Differences in Executive Functions: Four General Conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8–14. <https://doi.org/10.1177/0963721411429458>

- Moffitt, R., & Gottschalk, P. (2011). *Trends in the Transitory Variance of Male Earnings in the U.S., 1970-2004*. <https://doi.org/10.3386/w16833>
- Moghimi, D., Scheibe, S., & Freund, A. M. (2019). Chapter 4 - The Model of Selection, Optimization, Compensation. In B. B. Baltes, C. W. Rudolph, & H. Zacher (Eds.), *Work Across the Lifespan* (pp. 81–110). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812756-8.00004-9>
- Mortier, K., & Logan, G. D. (2009). Task switching: Switching within and between response dimensions. In *PsycEXTRA Dataset*. <https://doi.org/10.1037/e520562012-329>
- Mulder, H., Verhagen, J., Van der Ven, S. H. G., Slot, P. L., & Leseman, P. P. M. (2017). Early Executive Function at Age Two Predicts Emergent Mathematics and Literacy at Age Five. *Frontiers in Psychology*, 8, 1706. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01706>
- Muñiz, J., Hernández, A., & Fernández-Hermida, J. R. (2020). Utilización de los test en España: el punto de vista de los psicólogos. *Papeles Del Psicólogo*. <http://www.papelesdelpsicologo.es/pdf/2921.pdf>
- Niazy, R. K., Xie, J., Miller, K., Beckmann, C. F., & Smith, S. M. (2011). Spectral characteristics of resting state networks. *Progress in Brain Research*, 193, 259–276. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53839-0.00017-X>
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, 126(2), 220–246. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.2.220>
- Ochsner, K. N., Silvers, J. A., & Buhle, J. T. (2012). Functional imaging studies of emotion regulation: a synthetic review and evolving model of the cognitive control of emotion. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1251, E1–E24. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2012.06751.x>

- Oikkonen, J., & Järvelä, I. (2014). Genomics approaches to study musical aptitude. *BioEssays: News and Reviews in Molecular, Cellular and Developmental Biology*, *36*(11), 1102–1108. <https://doi.org/10.1002/bies.201400081>
- Ongür, D., Ferry, A. T., & Price, J. L. (2003). Architectonic subdivision of the human orbital and medial prefrontal cortex. *The Journal of Comparative Neurology*, *460*(3), 425–449. <https://doi.org/10.1002/cne.10609>
- Owen, A. M. (1997). Cognitive planning in humans: neuropsychological, neuroanatomical and neuropharmacological perspectives. *Progress in Neurobiology*, *53*(4), 431–450. [https://doi.org/10.1016/s0301-0082\(97\)00042-7](https://doi.org/10.1016/s0301-0082(97)00042-7)
- Palacios, E., & Clavijo-Prado, C. (2016). Fascículo longitudinal inferior: una nueva mirada del lenguaje. *Repertorio de Medicina Y Cirugía*, *25*(4), 232–234. <https://doi.org/10.1016/j.reper.2016.11.007>
- Pannu, J. K., & Kaszniak, A. W. (2005). Metamemory experiments in neurological populations: a review. *Neuropsychology Review*, *15*(3), 105–130. <https://doi.org/10.1007/s11065-005-7091-6>
- Perea Bartolomé, M. V., & Ladera Fernández, V. (2004). El tálamo: aspectos neurofuncionales. *Revista de Neurología*, *38*(07), 687. <https://doi.org/10.33588/rn.3807.2003565>
- Peretz, I. (2006). The nature of music from a biological perspective. *Cognition*, *100*(1), 1–32. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.11.004>
- Peretz, I. (2013). The Biological Foundations of Music. In *The Psychology of Music* (pp. 551–564). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-381460-9.00013-4>
- Peretz, I., & Coltheart, M. (2003). Modularity of music processing. *Nature Neuroscience*, *6*(7), 688–691. <https://doi.org/10.1038/nn1083>
- Peretz, I., & Kolinsky, R. (1993). Boundaries of Separability between Melody and Rhythm in Music Discrimination: A Neuropsychological Perspective. In *The Quarterly Journal of*

Experimental Psychology Section A (Vol. 46, Issue 2, pp. 301–325).

<https://doi.org/10.1080/14640749308401048>

Petrides, M. (1995). Impairments on nonspatial self-ordered and externally ordered working memory tasks after lesions of the mid-dorsal part of the lateral frontal cortex in the monkey.

The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience, 15(1 Pt 1), 359–375. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7823141>

Petrie, A. (1952). *Personality and the frontal lobes: An investigation of the psychological effects of different types of leucotomy*. <https://doi.org/10.1037/14904-000>

Petrie, A. (1952). A comparison of the psychological effects of different types of operations on the frontal lobes. *The Journal of Mental Science*, 98(411), 326–329.

<https://doi.org/10.1192/bjp.98.411.326>

Piaget, J. (1977). Problems of Equilibration. In *Topics in Cognitive Development* (pp. 3–13).

https://doi.org/10.1007/978-1-4613-4175-8_1

Piaget, J., & Cook, M. (1952). *The origins of intelligence in children* (Vol. 8). International Universities Press New York.

http://www.bxscience.edu/ourpages/auto/2014/11/16/50007779/Piaget%20When%20Thinking%20Begins10272012_0000.pdf

Pincus, D. B., & Friedman, A. G. (2004). Improving Children's Coping With Everyday Stress: Transporting Treatment Interventions to the School Setting. In *Clinical Child and Family*

Psychology Review (Vol. 7, Issue 4, pp. 223–240). <https://doi.org/10.1007/s10567-004-6087-8>

Pinker, S. (2001). *Cómo funciona la mente*. Destino.

<https://play.google.com/store/books/details?id=3MylQwAACAAJ>

Piston, W. (1987). *Armonia*.

<https://books.google.com/books/about/Armonia.html?hl=&id=m6iFngEACAAJ>

- Plomp, R. (2002). *The Intelligent Ear. On the Nature of Sound Perception*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Pripfl, J., Tomova, L., Riecanaky, I., & Lamm, C. (2014). Transcranial magnetic stimulation of the left dorsolateral prefrontal cortex decreases cue-induced nicotine craving and EEG delta power. *Brain Stimulation*, 7(2), 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2013.11.003>
- Qin, X., Li, L., Nie, X., & Niu, Q. (2019). Effects of Chronic Aluminum Lactate Exposure on Neuronal Apoptosis and Hippocampal Synaptic Plasticity in Rats. In *Biological Trace Element Research*. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-02007-8>
- Ramirez-García, S., Carranza-Castro, H., Gutiérrez-Salinas, J., García-Ortiz, L., y Hernández-Rodríguez, S.(2012). Aplicación en medicina de la espectroscopia de infrarrojo cercano. *Medicina Interna de México*. Vol. 28 núm.4, pp. 365-370.
- Ramirez-Mahaluf, J. P., Perramon, J., Otal, B., Villoslada, P., & Compte, A. (2018). Author Correction: Subgenual anterior cingulate cortex controls sadness-induced modulations of cognitive and emotional network hubs. *Scientific Reports*, 8(1), 11237. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29005-5>
- Ransdell, S. E., & Gilroy, L. (2001). The effects of background music on word processed writing. In *Computers in Human Behavior* (Vol. 17, Issue 2, pp. 141–148). [https://doi.org/10.1016/s0747-5632\(00\)00043-1](https://doi.org/10.1016/s0747-5632(00)00043-1)
- Reitan, R. M., & Wolfson, D. (1985). *The Halstead-Reitan Neuropsychological Test Battery: Theory and Clinical Interpretation*. Reitan Neuropsychology. https://books.google.com/books/about/The_Halstead_Reitan_Neuropsychological_T.html?hl=&id=-VghAQAAMAAJ
- Rilling, J. K., & Sanfey, A. G. (2011). The neuroscience of social decision-making. *Annual Review of Psychology*, 62, 23–48. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.121208.131647>

- Ritter, S. M., & Ferguson, S. (2017). Happy creativity: Listening to happy music facilitates divergent thinking. In *PLOS ONE* (Vol. 12, Issue 9, p. e0182210).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182210>
- Rodríguez-Fornells, A., Cunillera, T., Mestres-Missé, A., & de Diego-Balaguer, R. (2009). Neurophysiological mechanisms involved in language learning in adults. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 364(1536), 3711–3735. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0130>
- Rodríguez, J. S., & Paule, M. G. (2009). Working memory delayed response tasks in monkeys. In *Methods of Behavior Analysis in Neuroscience. 2nd edition*. CRC Press/Taylor & Francis.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK5227/>
- Roederer, J. G. (2009). *The Physics and Psychophysics of Music*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-09474-8>
- Rohrmeier, M. (2011). Towards a generative syntax of tonal harmony. *Journal of Mathematics & Music. Mathematical and Computational Approaches to Music Theory, Analysis, Composition and Performance*, 5(1), 35–53. <https://doi.org/10.1080/17459737.2011.573676>
- Rolls, E. T. (2002). The Functions of the Orbitofrontal Cortex. In *Principles of Frontal Lobe Function* (pp. 354–375). <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195134971.003.0023>
- Rolls, E. T. (2017). The roles of the orbitofrontal cortex via the habenula in non-reward and depression, and in the responses of serotonin and dopamine neurons. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 75, 331–334. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.02.013>
- Rolls, E. T., & Baylis, L. L. (1994). Gustatory, olfactory, and visual convergence within the primate orbitofrontal cortex. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 14(9), 5437–5452. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8083747>

- Rolls, E. T., & Grabenhorst, F. (2008). The orbitofrontal cortex and beyond: from affect to decision-making. *Progress in Neurobiology*, *86*(3), 216–244.
<https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2008.09.001>
- Rolls, E. T., McCabe, C., & Redoute, J. (2008). Expected value, reward outcome, and temporal difference error representations in a probabilistic decision task. *Cerebral Cortex*, *18*(3), 652–663. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhm097>
- Rubiales, J., Bakker, L., & Urquijo, S. (2013). Estudio comparativo del control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva en niños con TDAH. *Cuadernos de Neuropsicología-Panamerican Journal of Neuropsychology*, *7*(1), 50–69. <https://www.academica.org/sebastian.urquijo/34>
- Rudebeck, P. H., & Rich, E. L. (2018). Orbitofrontal cortex. *Current Biology: CB*, *28*(18), R1083–R1088. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.07.018>
- Sabagh Sabbagh, S. (2008). Solution of written arithmetic problems and inhibitory cognitive control. *Universitas Psychologica*, *7*(1), 217–229.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-92672008000100016
- Sacks, O. (2019). *El Hombre Que Confundio a Su Mujer Con Un Sombrero*. ANAGRAMA.
<https://play.google.com/store/books/details?id=mNUHxwEACAAJ>
- Salimpoor, V. N., & Zatorre, R. J. (2013). Neural interactions that give rise to musical pleasure. In *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts* (Vol. 7, Issue 1, pp. 62–75).
<https://doi.org/10.1037/a0031819>
- Sánchez-Cubillo, I., Periañez, J. A., Adrover-Roig, D., Rodríguez-Sánchez, J. M., Ríos-Lago, M., Tirapu, J., & Barceló, F. (2009). Construct validity of the Trail Making Test: role of task-switching, working memory, inhibition/interference control, and visuomotor abilities. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, *15*(3), 438–450.
<https://doi.org/10.1017/S1355617709090626>

- Scanlon, J. E. M., Cormier, D. L., Townsend, K. A., Kuziek, J. W. P., & Mathewson, K. E. (2019). The ecological cocktail party: Measuring brain activity during an auditory oddball task with background noise. *Psychophysiology*, *56*(11), e13435. <https://doi.org/10.1111/psyp.13435>
- Schmolck, H., Qureshi, S. U., & Schulz, P. E. (2010). Neuropsychiatry and Behavioral Neurology. In *Neurology Secrets* (pp. 247–260). <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-05712-7.00015-5>
- Schulz, P., Wymann, K., & Penner, Z. (2001). The Early Acquisition of Verb Meaning in German by Normally Developing and Language Impaired Children. In *Brain and Language* (Vol. 77, Issue 3, pp. 407–418). <https://doi.org/10.1006/brln.2000.2411>
- Shankle, W. R., Rafii, M. S., Landing, B. H., & Fallon, J. H. (1999). Approximate doubling of numbers of neurons in postnatal human cerebral cortex and in 35 specific cytoarchitectural areas from birth to 72 months. *Pediatric and Developmental Pathology: The Official Journal of the Society for Pediatric Pathology and the Paediatric Pathology Society*, *2*(3), 244–259. <https://doi.org/10.1007/s100249900120>
- Shimamura, A. P., Jurica, P. J., Mangels, J. A., Gershberg, F. B., & Knight, R. T. (1995). Susceptibility to Memory Interference Effects following Frontal Lobe Damage: Findings from Tests of Paired-Associate Learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *7*(2), 144–152. <https://doi.org/10.1162/jocn.1995.7.2.144>
- Slevc, L. R., Rosenberg, J. C., & Patel, A. D. (2009). Making psycholinguistics musical: self-paced reading time evidence for shared processing of linguistic and musical syntax. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*(2), 374–381. <https://doi.org/10.3758/16.2.374>
- Sowell, E. R., Thompson, P. M., Holmes, C. J., Jernigan, T. L., & Toga, A. W. (1999). In vivo evidence for post-adolescent brain maturation in frontal and striatal regions. In *Nature Neuroscience* (Vol. 2, Issue 10, pp. 859–861). <https://doi.org/10.1038/13154>

- Sowell, E. R., Thompson, P. M., Leonard, C. M., Welcome, S. E., Kan, E., & Toga, A. W. (2004). Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in normal children. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 24(38), 8223–8231. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1798-04.2004>
- Sowell, E. R., Trauner, D. A., Gamst, A., & Jernigan, T. L. (2002). Development of cortical and subcortical brain structures in childhood and adolescence: a structural MRI study. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 44(1), 4–16. <https://doi.org/10.1017/s0012162201001591>
- Spreen, O., & Strauss, E. (1998). *A Compendium of Neuropsychological Tests: Administration, Norms, and Commentary*. Oxford University Press. https://books.google.com/books/about/A_Compendium_of_Neuropsychological_Tests.html?hl=&id=CIy0_GH4ubIC
- Stevens, M. C., Kaplan, R. F., & Hesselbrock, V. M. (2003). Executive–cognitive functioning in the development of antisocial personality disorder. In *Addictive Behaviors* (Vol. 28, Issue 2, pp. 285–300). [https://doi.org/10.1016/s0306-4603\(01\)00232-5](https://doi.org/10.1016/s0306-4603(01)00232-5)
- Stroop, J. R., & Ridley Stroop, J. (2016). Stroop Color Interference Test. In *PsycTESTS Dataset*. <https://doi.org/10.1037/t31299-000>
- Sturm, V. E., Haase, C. M., & Levenson, R. W. (2016). Chapter 22 - Emotional Dysfunction in Psychopathology and Neuropathology: Neural and Genetic Pathways. In T. Lehner, B. L. Miller, & State, Matthew W. (Eds.), *Genomics, Circuits, and Pathways in Clinical Neuropsychiatry* (pp. 345–364). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800105-9.00022-6>
- Sturm, V., Levenson, R., (2016). Emotional Dysfunction in Psychopathology and Neuropathology. *Genomics, Circuits, and Pathways in Clinical Neuropsychiatry*. Pp. 345-364. doi.org/10.1016/B978-0-12-800105-9.00022-6

- Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychological Research*, 63(3-4), 289–298. <https://doi.org/10.1007/s004269900007>
- Stuss, D. T., & Knight, R. T. (2013). *Principles of Frontal Lobe Function*. OUP USA.
<https://play.google.com/store/books/details?id=GHRAhCMGj2EC>
- Stuss, D. T., & Levine, B. (2002). Adult Clinical Neuropsychology: Lessons from Studies of the Frontal Lobes. In *Annual Review of Psychology* (Vol. 53, Issue 1, pp. 401–433).
<https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135220>
- Swensson JRP, Swensson RP, Swensson RC. Ipod®, MP3 players e a audição. *Rev FacCiêncMéd. Sorocaba*. 2009;11(2):4-5.
- Szczepanski, S. M., & Knight, R. T. (2014). Insights into human behavior from lesions to the prefrontal cortex. *Neuron*, 83(5), 1002–1018. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.08.011>
- Tan, S.-L., Pfordresher, P., & Harré, R. (2017). The psychology of music performance. In *Psychology of Music* (pp. 183–203). <https://doi.org/10.4324/9781315648026-11>
- Teffer, K., & Semendeferi, K. (2012). Human prefrontal cortex: evolution, development, and pathology. *Progress in Brain Research*, 195, 191–218. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53860-4.00009-X>
- Thompson, W. F., Schellenberg, E. G., & Letnic, A. K. (2012). Fast and loud background music disrupts reading comprehension. *Psychology of Music*, 40(6), 700–708.
<https://doi.org/10.1177/0305735611400173>
- Threadgold, E., Marsh, J. E., McLatchie, N., & Ball, L. J. (2019). Background music stints creativity: Evidence from compound remote associate tasks. In *Applied Cognitive Psychology* (Vol. 33, Issue 5, pp. 873–888). <https://doi.org/10.1002/acp.3532>
- Tiffin, J., & McCormick, E. J. (1965). *Industrial psychology*.
<https://psycnet.apa.org/record/1965-35013-000>

- Tillman, C., Brocki, K. C., Sørensen, L., & Lundervold, A. J. (2015). A longitudinal examination of the developmental executive function hierarchy in children with externalizing behavior problems. *Journal of Attention Disorders, 19*(6), 496–506.
<https://doi.org/10.1177/1087054713488439>
- Tillmann, B. (2012). Music and language perception: expectations, structural integration, and cognitive sequencing. *Topics in Cognitive Science, 4*(4), 568–584.
<https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2012.01209.x>
- Tirapu-Ustárroz, J., García-Molina, A., Luna-Lario, P., Roig-Rovira, T., & Pelegrín-Valero, C. (2008). [Models of executive control and functions (I)]. *Revista de neurologia, 46*(11), 684–692. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18509828>
- Tombaugh, T. (2004). Trail Making Test A and B: Normative data stratified by age and education. In *Archives of Clinical Neuropsychology* (Vol. 19, Issue 2, pp. 203–214).
[https://doi.org/10.1016/s0887-6177\(03\)00039-8](https://doi.org/10.1016/s0887-6177(03)00039-8)
- Toplyn, G., & Maguire, W. (1991). The differential effect of noise on creative task performance. In *Creativity Research Journal* (Vol. 4, Issue 4, pp. 337–347).
<https://doi.org/10.1080/10400419109534410>
- Travis, K., Ford, K., & Jacobs, B. (2005). Regional dendritic variation in neonatal human cortex: a quantitative Golgi study. *Developmental Neuroscience, 27*(5), 277–287.
<https://doi.org/10.1159/000086707>
- Trehub, S. E. (2001). Musical predispositions in infancy. *Annals of the New York Academy of Sciences, 930*, 1–16. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2001.tb05721.x>
- Trehub, S. E. (2003). The developmental origins of musicality. *Nature Neuroscience, 6*(7), 669–673. <https://doi.org/10.1038/nn1084>
- Truffino, J. C. (2004). Neuropsicología del síndrome de Korsakoff. *Neurologia* .
https://www.researchgate.net/profile/Javier_Cabanyes-

Truffino/publication/299031497_Neuropsychology_of_Korsakoff's_syndrome/links/5a8ff5b0aca272140560fcf1/Neuropsychology-of-Korsakoffs-syndrome.pdf

- Tsuchida, A., & Fellows, L. K. (2009). Lesion evidence that two distinct regions within prefrontal cortex are critical for n-back performance in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(12), 2263–2275. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.21172>
- Turner, M. S., Cipolotti, L., Yousry, T. A., & Shallice, T. (2008). Confabulation: damage to a specific inferior medial prefrontal system. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 44(6), 637–648. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.01.002>
- Uribe, L. G., Pérez, M. A., Lara, C. A., Rueda, N., & Hernández, J. A. (2017). Presentación del síndrome de Wernicke-Korsakoff secundario a encefalitis por citomegalovirus, a propósito de un caso. *Biomédica*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-41572017000400444&script=sci_abstract&tlng=en
- Urios, G. S., Juan, P. D. S., & Moreno, J. M. G. (2011). Música y cerebro: fundamentos neurocientíficos y trastornos musicales. In *Revista de Neurología* (Vol. 52, Issue 01, p. 45). <https://doi.org/10.33588/rn.5201.2010578>
- Uytun, M. C. (2018). Development Period of Prefrontal Cortex. In *Prefrontal Cortex*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78697>
- Valdés, J. L., & Torrealba, F. (2006). La corteza prefrontal medial controla el alerta conductual y vegetativo: Implicancias en desórdenes de la conducta. *Revista Chilena de Neuro-Psiquiatría*, 44(3), 195–204. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-92272006000300005&script=sci_arttext&tlng=e
- Van de Cavey, J., & Hartsuiker, R. J. (2016). Is there a domain-general cognitive structuring system? Evidence from structural priming across music, math, action descriptions, and language. *Cognition*, 146, 172–184. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2015.09.013>

- Vanzela, A., de Oliveira, L. C., & de Carvalho, M. A. (2016). Música, tecnologia e educação musical: a guitarra em foco. In *Música em Perspectiva* (Vol. 9, Issue 2).
<https://doi.org/10.5380/mp.v9i2.51491>
- Villasís-Keever, M. Á., & Miranda-Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación II: los diseños de estudio para investigación clínica. In *Revista Alergia México* (Vol. 63, Issue 1, p. 80). <https://doi.org/10.29262/ram.v63i1.163>
- Wallis, J. D. (2007). Orbitofrontal cortex and its contribution to decision-making. *Annual Review of Neuroscience*, 30, 31–56. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.30.051606.094334>
- Watts, A. G. (2007). Brain and Brain Regions. In *Encyclopedia of Stress* (pp. 351–357).
<https://doi.org/10.1016/b978-012373947-6.00059-3>
- Waytz, A., Zaki, J, AND Mitchell, J., (2012) Response of Dorsomedial Prefrontal Cortex Predicts Altruistic Behavior. *Journal of Neuroscience*. 30 May 2012, 32 (22) 7646-7650;
DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.6193-11.2012>
- Welsh, M. C., Pennington, B. F., & Groisser, D. B. (1991). A normative-developmental study of executive function: A window on prefrontal function in children. In *Developmental Neuropsychology* (Vol. 7, Issue 2, pp. 131–149).
<https://doi.org/10.1080/87565649109540483>
- Wolf, R. H., & Weiner, F. F. (1972). Effects of four noise conditions on arithmetic performance. *Perceptual and Motor Skills*, 35(3), 928–930. <https://doi.org/10.2466/pms.1972.35.3.928>
- Yang, C., Sun, B., & Shanks, D. R. (2018). The anchoring effect in metamemory monitoring. *Memory & Cognition*, 46(3), 384–397. <https://doi.org/10.3758/s13421-017-0772-6>
- Yang, Y., & Raine, A. (2009). Prefrontal structural and functional brain imaging findings in antisocial, violent, and psychopathic individuals: a meta-analysis. *Psychiatry Research*, 174(2), 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2009.03.012>

- Yaxley, S., Rolls, E. T., & Sienkiewicz, Z. J. (1990). Gustatory responses of single neurons in the insula of the macaque monkey. *Journal of Neurophysiology*, *63*(4), 689–700.
<https://doi.org/10.1152/jn.1990.63.4.689>
- Zaitchik, D., Iqbal, Y., & Carey, S. (2014). The effect of executive function on biological reasoning in young children: an individual differences study. *Child Development*, *85*(1), 160–175. <https://doi.org/10.1111/cdev.12145>
- Zhao, J., Liu, J., Jiang, X., Zhou, G., Chen, G., Ding, X. P., Fu, G., & Lee, K. (2016). Linking Resting-State Networks in the Prefrontal Cortex to Executive Function: A Functional Near Infrared Spectroscopy Study. *Frontiers in Neuroscience*, *10*, 452.
<https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00452>
- Zheng, K.-Z., Wang, H.-N., Liu, J., Xi, Y.-B., Li, L., Zhang, X., Li, J.-M., Yin, H., Tan, Q.-R., Lu, H.-B., & Li, B.-J. (2018). Incapacity to control emotion in major depression may arise from disrupted white matter integrity and OFC-amygdala inhibition. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, *24*(11), 1053–1062. <https://doi.org/10.1111/cns.12800>
- Zuk, J., Benjamin, C., Kenyon, A., & Gaab, N. (2014). Behavioral and neural correlates of executive functioning in musicians and non-musicians. *PloS One*, *9*(6), e99868.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099868>