

Revisión de las evidencias investigativas de los efectos de la enseñanza de la música, como estimulación neurosensorial de escolares, en las funciones cognitivas.

David Humberto Ocampo Osorio

dhumberto.ocampo@udea.edu.co

Universidad de Antioquia

Facultad de Artes

Licenciatura en Música

Medellín

2020

Revisión de las evidencias investigativas de los efectos de la enseñanza de la música, como estimulación neurosensorial de escolares, en las funciones cognitivas.

David Humberto Ocampo Osorio

Monografía presentada como requisito para optar al título de
Licenciado en Música

Asesora: Ana Catalina Muñoz Arbeláez

Psicóloga, especialista en Neurodesarrollo y Aprendizaje, MSc

Universidad de Antioquia

Facultad de Artes

Licenciatura en Música

Medellín

Tabla de contenido

1. Introducción	4
2. Justificación	7
3. Objetivos	9
3.1. Objetivo general	
3.2. Objetivos específicos	
4. Metodología	10
5. Marco teórico	11
5.1. Neurociencias cognitivas y música	11
5.2. Neuroanatomía de la música	12
5.3. Tono	12
5.4. Ritmo	12
5.5. La música y procesamiento auditivo.	14
5.6. La interpretación musical	15
5.7. Producción musical y sistemas de control motor	15
5.8. Nexos entre el sistema auditivo y el motor	17
5.9. Definiciones funciones cognitivas	18
5.9.1. Atención	18
5.9.2. Memoria	19
5.9.3. Funciones ejecutivas	22
6. Referentes investigativos	23
6.1. Música y neonatos	23
6.2. Música y escolares	25
6.3. Adultos con práctica musical	32
6.4. Música y estimulación en esclerosis múltiple	40
7. Hallazgos	42
8. Limitaciones	43
9. Conclusiones	44
10. Referencias bibliográficas	45

1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza debe partir de una reflexión responsable e integradora de la relación con el maestro y los procesamientos que se dan en el aprendiz, sin desconocer que **el todo no es la suma de las partes**, existen unos componentes para que se dé el aprendizaje (Pozo, 2008), los cuales se pueden analizar por separado para mejorar las comprensiones y realizar así un mejor servicio docente.

El aprendizaje entendido como un sistema, está compuesto por: resultados, procesos y condiciones, que responden a las preguntas respectivamente del **¿Qué?, ¿cómo? y al ¿Cuándo, ¿cuánto, ¿quién, etc.?** (Pozo, 2008). En este sentido, al abocarse a una respuesta desde un enfoque de las neurociencias, se busca responder el **¿cómo es el funcionamiento?**, en este caso para entender la manera que opera la música como agente de estimulación para las funciones cognitivas, y así generar estrategias de enseñanza - aprendizaje más eficaces, satisfactorias y perdurables en el tiempo (Pozo, 2008).

La música, es una forma de comunicación y lenguaje para el ser humano, con beneficios más evidentes en edades escolares: su enseñanza facilita la inclusión, puesto que permite la participación de todos, estimula, fortalece y mejora las habilidades a nivel cognitivo, comportamental y socio afectivo (Pérez Aldeguer, 2012). De esta manera la música brinda un aporte significativo en el quehacer pedagógico, debido a que aumenta los niveles de complejidad en los aprendices, optimiza y favorece herramientas didácticas en los medios instruccionales, para lo cual el maestro debe hacer una reflexión continua para ayudar a desarrollar competencias con esta herramienta.

En relación con las prácticas de enseñanza de la música, se ha encontrado que se hace por medio de métodos tradicionales, utilizando los modelos de pedagogía clásica de la música. Aunque existen aspectos positivos en esta pedagogía, como la presencia de estructuras, es posible que los maestros sean resistentes a la apertura de investigaciones en las que se evidencien de forma cuantitativa los resultados de sus acciones. De ahí la importancia de identificar enfoques más amplios que ayuden a tener mejores comprensiones que potencialicen las labores educativas que se hacen desde la música.

Retomando y en línea con lo anterior, la perspectiva de las neurociencias ayuda a obtener otros conocimientos relacionados con niveles de procesamiento de los dispositivos básicos de aprendizaje en dos sentidos: por un lado, en el mejoramiento de habilidades musicales; y por el otro, en el desarrollo de funciones cognitivas estimuladas por los tiempos de formación en actividades musicales. Ambas fundamentales en el neurodesarrollo.

Los maestros de música, en la preparación de sus clases y en sus desarrollos investigativos, tienden a prácticas técnicas, que si bien, están de acuerdo a los lineamientos preestablecidos por la teoría clásica, no se evidencia una apertura a otras explicaciones con fundamentos cuantitativos relacionados con funcionamiento cognitivo, que pueden obtener mayores impactos de los conocidos hasta el momento como la optimización en las estrategias de enseñanza - aprendizaje y a su vez, permiten justificar de forma científica los beneficios en escolares de la enseñanza de la música. Como ejemplo de esto, en las casas de la cultura o escuelas de música los resultados de los procesos, tanto individuales como colectivos, son buenos, sin embargo, carecen de fundamentación científica con modelos de cuantificación, que evidencien de forma precisa los efectos del entrenamiento musical y no solo en impactos sociales.

Por otro lado, los docentes de música en la investigación y en su servicio educativo, recurren a autores como Jaques Dalcroze, Carl Orff, Edgar Willems, Maurice Martenot entre otros, evidenciándose un interés centrado en la utilidad y practicidad que tienen estos autores en los métodos de enseñanza de la música en los niños, desde niveles iniciales hasta los más avanzados, pero se corre el riesgo de solo realizar una aplicación técnica sin encontrar otras variables que pueden ser útiles y de relevancia para su quehacer.

En relación con lo anterior, quienes han avanzado en el conocimiento de los procesamientos y efectos dados por el entrenamiento musical, no son precisamente músicos, sino personas de otras profesiones que tienen su interés particular, y así aplicarlo en la rehabilitación de pacientes con alteraciones neuropsicológicas y en alteraciones del aprendizaje. Es importante que los docentes de música reconozcan los procesos cognitivos requeridos y estimulados con las actividades musicales con el fin de optimizar su trabajo en la enseñanza realizando acciones más puntuales y precisas para obtener mejores niveles en los educandos.

De acuerdo con los hallazgos de los efectos de la música desde las neurociencias, se abre un camino hacia la justificación con evidencia científica, debido a que según la literatura y los resultados de

recientes investigaciones, la enseñanza de la música puede volverse indispensable para el currículo en la primera infancia e incluso en la adolescencia, por sus alcances en los resultados de rendimiento académico y por las implicaciones que tiene en las funciones cognitivas.

Teniendo en cuenta estos postulados, es importante hacer revisiones que estén fundamentadas en evidencias científicas, de corte cuantitativas con publicación de hallazgos en revistas indexadas de la enseñanza de la música en edad escolar, así como la estimulación y potencialización de habilidades cognitivas en todas las poblaciones. De esta manera se plantea la pregunta de investigación: ¿Cuáles son los hallazgos de corte cuantitativo sobre las relaciones existentes entre estimulación musical en las funciones cognitivas y estructuras corticales?

2. JUSTIFICACIÓN

La educación en Colombia es entendida desde la Ley General de Educación como: “un proceso de formación permanente, personal, cultural y social que se fundamenta en una concepción integral de la persona humana, de su dignidad, de sus derechos y de sus deberes” (Congreso de la República de Colombia, ley 115 de 1994, P. 1), teniendo así diferentes connotaciones significativas en la formación, reconociendo dimensiones humanas de forma integral. La música es una herramienta de gran impacto que puede favorecer de forma preponderante la transversalidad de la enseñanza partiendo de una estimulación sensorio-motora, transmisión de conocimientos culturales, principios ciudadanos y de comportamiento social, enseñanza de diferentes conceptos, encontrándose inmersos los dispositivos básicos de aprendizaje, o también denominadas funciones mentales superiores.

Teniendo en cuenta las necesidades actuales de la cuantificación, como sustento para la planeación y ejecución de acciones en diferentes estamentos gubernamentales y académicos, se considera importante retomar las neurociencias cognitivas en relación con los efectos de la estimulación a través de la música como una rica fuente de información brindada por los avances de las ciencias, que ayudan a fortalecer la eficacia de la formación en el quehacer pedagógico con herramientas teóricas y metodológicas, y entregan a su vez, argumentos válidos del impacto de la enseñanza de la música en el rendimiento académico y en el desarrollo de competencias comportamentales y socio-afectivas.

En esta instancia, es importante recordar retos de la globalización representado en acuerdos de la OCDE, la UNESCO y diferentes entes gubernamentales, además de una implementación por ley de la inclusión educativa, reglamentada en el decreto 1421 (Ministerio De Educación Nacional, 2017), donde la música puede cumplir con aspectos del DUA (Diseños Universal del Aprendizaje), permitiendo adicionalmente la transversalidad en el currículo. Es fundamental dar las garantías a los menores de edad de acceso, permanencia y promoción, un tránsito exitoso por el sector educativo que puede ser dado a partir de un lenguaje universal como lo es la música.

De esta forma, aunar esfuerzos para la consecución de metas son siempre el camino a seguir, en este caso, con la enseñanza de la música favorecerá un currículo que garantiza la calidad, la integralidad, la transversalidad y la inclusión en los términos previstos para el acceso a la educación en menores de edad como un derecho según la diversidad del aprendizaje, aun mas en edades de

primera infancia (preescolares y escolares), y así inclusive se optimizan recursos con mejores resultados.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Describir las relaciones existentes entre estimulación musical de las funciones cognitivas y las estructuras corticales a partir de los hallazgos en investigaciones de corte cuantitativa.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar los efectos neurocognitivos del aprendizaje de la música en la edad escolar, con miras a mejorar rendimientos académicos de los estudiantes.
- Relacionar procesamientos cognitivos con la práctica musical para ser estimulados durante el proceso de enseñanza – aprendizaje de la música.
- Establecer la importancia de la estimulación neurosensorial en el desarrollo de las funciones cognitivas en los niños que inician su ciclo de formación en básica primaria.

4. METODOLOGÍA

La metodología del trabajo fue de revisión de literatura científica cuantitativa, siendo este un enfoque con características del método científico: medir el problema y establecer relaciones estadísticamente significativas a través de herramientas informáticas y matemáticas para obtener resultados generalizables. Con esta mirada se hicieron búsquedas a partir de conceptos claves que estuvieran en relación con la música, tales como: estimulación cognitiva, funciones mentales superiores, rendimiento cognitivo, escolares y rehabilitación. Se empleó Google Scholar como motor de búsqueda y se rescataron los documentos de bases de datos que provee la Universidad de Antioquia.

Inicialmente se buscaron artículos de investigación y de revisión, considerando aportes de investigaciones previas como posible vestigio de metodologías e indicios de aspectos relevantes para el propósito, posteriormente se fueron depurando y se seleccionaron aquellas que fueran más recientes, tuvieran mayor correlato neuroanatómico con la música y las funciones cognitivas en el período escolar, y además con un impacto de los procesos de estimulación y rehabilitación neuropsicológica a través de la música, teniendo como base la necesidad de que los hallazgos presentaran un alto nivel de significancia, con el fin de considerar la relevancia de los resultados.

Posterior al mencionado cribado, se inició con el análisis de cada uno de los artículos seleccionados empleando un formato de revisión de antecedentes en el cual se incluía título, autores, tipo de material, referencia bibliográfica, resumen, objetivos de la investigación, conceptos fundamentales, metodología, instrumentos, resultados, conclusiones y citas textuales relevantes, en consecuencia se realizó una síntesis y elaboración de un texto articulado en el cual se presenten los hallazgos encontrados, y la correlación entre ellos.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Neurociencias Cognitivas y Música

La neurociencia cognitiva es un campo científico de convergencia de la neurociencia y la psicología cognitiva, empleando técnicas y métodos específicos, con el interés de comprender como funciona la mente y la actividad cerebral, con la ayuda de nuevas técnicas de neuroimagen y de registro electrofisiológico. Se identifican diferentes niveles para analizar la neurociencia cognitiva, esto debido a los múltiples factores relacionados con su objeto de estudio, que incluye desde lo molecular, lo celular, sistémico, conductual y cognitivo. De igual manera tiene en cuenta los procesos evolutivos de la especie y el individuo. (Redolar, 2014).

A nivel cognitivo se interesa en comprender los procesamientos neuronales que explican las funciones mentales superiores distintivas del ser humano (Redolar, 2014), los cuales son producto de funcionamientos de niveles físicos y representacionales (Pozo, 2008) que se van generando asociaciones simples hasta llevar a metacogniciones, que están mediadas por la motivación y la memoria (Pozo, 2008; Redolar, 2014). Teniendo en cuenta las características de las neurociencias cognitivas, la música puede ser de gran interés para este estudio, debido a su carácter interdisciplinario y por los diferentes procesamientos que se presentan, es decir, la música es procesada mediante un sistema modular y distintas áreas del cerebro se encargan de procesar sus distintos componentes.

En el caso de las funciones mentales superiores, la música, se puede investigar como el lenguaje, debido a que es sintáctica y está formada por diversos símbolos y elementos organizados jerárquicamente (tonos, intervalos y acordes). Los hallazgos de los estudios realizados evidencian que la música y el lenguaje tienen representaciones corticales diferentes y, además, se pueden ver alteradas de manera independiente, pero, si se centra la atención en el mecanismo sintáctico de la música, se ha visto la activación del área de Broca y su homóloga derecha. (Patel, 2003) Por otro lado, la ejecución musical, como acto motor voluntario, supone la implicación de áreas motoras que interactúan con áreas auditivas, de manera que resulte posible controlar los actos motores que implican la correcta interpretación que está realizando el músico. (Soria-Urios, Duque, & García-Moreno, 2011a)

5.2. Neuroanatomía de la música

Los procesamientos musicales deben ser estudiados en relación con las estructuras y a los circuitos que se encargan de llevar a cabo la comprensión y la ejecución musical, por redes que van desde la activación sensorial del sonido hasta el interior de nuestro oído, luego viaja la información través del tallo cerebral y el mesencéfalo hasta llegar al córtex auditivo (Izquierdo, Oliver, & Malmierca, 2010).

El circuito acústico primario consta del nervio auditivo, tronco cerebral, tálamo (principalmente el cuerpo geniculado medial) y corteza auditiva. Luego que la música llega a la cóclea en el oído interno, la información se desplaza por el nervio auditivo a través del mesencéfalo, para hacer sinapsis en el núcleo coclear, de donde se dirige hacia el cuerpo geniculado medial o tálamo auditivo (Boso, Politi, Barale, & Emanuele, 2006).

La información es procesada por el córtex auditivo primario (AB 41 y 42, incluida la parte media del giro temporal superior) y el córtex auditivo secundario (AB 22). Las pruebas científicas nos muestran que la percepción musical está basada en dos procesamientos distintos por dos subsistemas neurales diferentes: organización temporal y organización del tono. (Peretz & Zatorre, 2005)

5.3 Tono

El tono se conoce como un sonido musical diferenciado, es la secuenciación de diferentes tonos da la posibilidad de percibir una melodía, y en caso de tener una secuencia alterada genera percepciones distorsionadas de la pieza musical. Existen diferentes análisis que se realizan con el tono, los cuales implican diversas áreas auditivas primarias y secundarias, las cuales interaccionan con áreas frontales, predominantemente en el hemisferio derecho (Perani *et al.*, 2010; Zatorre, Evans, & Meyer, 1994)

5.4 Ritmo

La manera como se organiza una pieza musical está basada de dos maneras: realizar una fracción de una secuencia con base en su duración temporal y la extracción de una regularidad temporal subyacente o compás. En ello no sólo están involucradas las áreas auditivas, sino también el cerebelo y los ganglios basales, el córtex premotor dorsal y el área motora suplementaria, que se

encargan del control motor y la percepción temporal. (Chen, Zatorre, & Penhune, 2006) (B Penhune, J Zatorre, & C Evans, 1998).

Para los procesamientos musicales, en los cuales el ritmo tiene un importante papel, existen muchas áreas auditivas dentro del córtex cerebral involucradas en este mecanismo. Entre ellas, está la corteza auditiva primaria, localizada en el giro transverso de Heschl en la fisura lateral, donde, una pequeña extensión conecta con la superficie lateral del lóbulo temporal. Aquella, la corteza auditiva primaria, está tonotópicamente organizada, es decir, que diferentes partes de esta sofisticada área pueden ser activadas por sonidos de diferentes tonos. La corteza auditiva secundaria, el área auditiva posterior y anterior son otros sitios del cerebro que están comprometidos en el procesamiento del sonido.

Por lo anterior, la totalidad del análisis perceptual de la música se da en la corteza auditiva, donde se extrae información específica de características acústicas como el tono, timbre, la intensidad y textura (Buentello, Martínez, & Alonso, 2010; Soria-Urios *et al.*, 2011a). La corteza auditiva (AC) primaria y sus áreas temporales superiores vecinas analizan las claves acústicas básicas del sonido, incluyendo la frecuencia, el tono, el nivel del sonido, la variación temporal, el movimiento y la ubicación espacial (Hall, Hart, & Johnsrude, 2003).

En este sentido, el ritmo en los procesamientos musicales es detectado mediante un sistema modular donde diferentes áreas del cerebro se encargan de decodificar sus distintos componentes. Por ejemplo, al escuchar una canción, lo primero que se realiza es un análisis acústico para determinar qué módulo se encargará de qué componente: la letra de la canción será analizada por el sistema de procesamiento del lenguaje y, el componente musical, será examinado por dos subsistemas: organización temporal (ritmo y compás) y organización del tono (análisis del contorno y los intervalos).

El sistema léxico musical es el almacén donde se guarda toda la información musical que vamos recibiendo a lo largo de nuestra vida, es el que nos facilita el reconocimiento de una canción. Si lo que queremos es ponernos a cantar dicha pieza, este se conecta y activa con el plano fonológico, de manera que forman una planificación vocal que nos llevará al canto. Por otro lado, la experiencia que la canción rememora (quizá, un viaje realizado en otro tiempo) activará la ‘memoria asociativa’, también relacionada con el léxico musical. (Soria-Urios *et al.*, 2011a; Soria-Urios, Duque, & García-Moreno, 2011b).

5.5 La música y procesamiento auditivo

La música es, sin embargo, mucho más que la suma de sus características acústicas básicas. Tras su codificación y percepción inicial, la música desencadena una secuencia de procesos cognitivos, motores y emocionales en el cerebro que se rigen por numerosas áreas corticales y subcorticales.

A continuación, esbozamos cinco procesos de este tipo:

- 1) La percepción de características musicales de orden superior, como acordes, armonías, intervalos y ritmos, requiere un análisis sintáctico basado en reglas de los complejos patrones de fluctuaciones espectrales y temporales dentro de la corriente de sonido. Según los estudios de neuroimagen, esto tiene lugar en una red que comprende la corteza prefrontal inferior y media, la corteza premotora, las partes anterior y posterior del giro temporal superior, y el lóbulo parietal inferior (Bharucha, 2014; Patel, 2003).
- 2) El seguimiento continuo de la música, que siempre se desarrolla a lo largo del tiempo, requiere el compromiso del sistema de atención y memoria de trabajo, que se extiende por muchas zonas prefrontales (especialmente la corteza prefrontal dorsolateral), la corteza cingulada y las zonas parietales inferiores (Bharucha, 2014; Janata, Tillmann, & Bharucha, 2002; Zatorre *et al.*, 1994).
- 3) Escuchar música que es familiar para el oyente por experiencias pasadas desencadena un procesamiento especialmente en el hipocampo, así como en las áreas temporales y parietales medias, que están involucradas en la memoria episódica (Janata, 2009; Platel, Baron, Desgranges, Bernard, & Eustache, 2003).
- 4) Escuchar música que nos toca emocionalmente compromete una red de muchas áreas límbicas y paralímbicas profundas, incluyendo varias áreas del mesencéfalo, áreas estriatales (especialmente el núcleo accumbens), la amígdala, el hipocampo, la corteza cingulada y la corteza orbitofrontal (Blood & Zatorre, 2001) (Koelsch, 2010). Esta red dopaminérgica se conoce como el sistema mesolímbico o de recompensa del cerebro y ha sido implicada en la experiencia de las emociones, el placer y la recompensa y en la regulación del sistema nervioso autónomo (SNA) y el sistema endocrino u hormonal. Recientemente se demostró la participación directa de la dopamina estriatal en la reacción emocional a la música en un estudio combinado de psicofisiología, PET y fMRI (Salimpoor, Benovoy, Larcher, Dagher, & Zatorre, 2011).

- 5) Percibir el ritmo de la música, moverse al ritmo de la música o producir música (cantando o tocando un instrumento) involucra las redes sensoriales y motoras del cerebro, incluyendo áreas en el cerebelo, los ganglios basales y las corticales motoras y somato sensoriales. (Grahn & Rowe, 2009).

5.6 La interpretación musical

La interpretación musical incluye diferentes tareas, por lo que requiere de la combinación de habilidades motoras y cognitivas de parte del músico, que debe contar con tres controles motores básicos: coordinación, secuenciación y organización espacial del movimiento (Zatorre *et al.*, 2007). La coordinación implica una buena organización del ritmo musical, la organización espacial y secuenciación del movimiento suponen que el músico toque las diferentes notas en su instrumento musical.

Diversos estudios de neuroimagen funcional con pacientes con daño cerebral relacionan la coordinación con diversas regiones corticales y subcorticales, incluyendo al cerebelo, los ganglios basales, el área motora suplementaria y el córtex premotor dorsal. Respecto a la secuenciación de los movimientos, incluimos al cerebelo, ganglios basales, área motora y premotora suplementarias y, al córtex premotor y prefrontal. Se ha podido observar que aquellas secuencias más complejas requieren de la actividad de los ganglios basales, el córtex premotor dorsal y el cerebelo. En cuanto a la organización espacial de los movimientos para tocar el instrumento, esta supone la activación del córtex parietal, sensoriomotor y premotor, ya que implica la integración de información espacial, sensorial y motora (Soria-Urios *et al.*, 2011a).

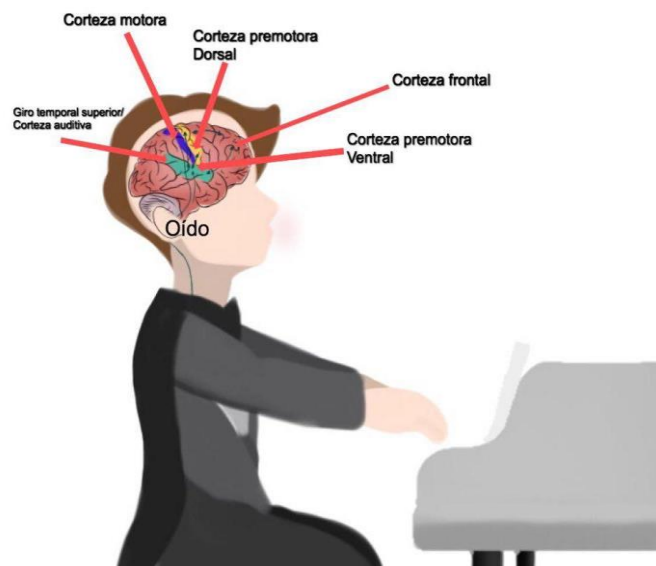
Al tocar un instrumento, e incluso al escuchar música, nuestro cerebro lleva a cabo interacciones auditivo-motoras. Estas interacciones pueden ser de dos tipos: la proalimentación y la retroalimentación. La proalimentación consiste en que el sistema auditivo influye predominantemente en el acto motor, a menudo de manera predictiva (Large & Palmer, 2002). Por otro lado, la retroalimentación radica en que al tocar o cantar, el músico debe controlar el tono continuamente, escuchando y realizando los ajustes motores apropiados.

5.7 Producción musical: sistemas de control motor

Cuando un músico actúa, se requieren, al menos, de tres funciones básicas del control motor: sincronización, secuenciación y organización espacial del movimiento. El tiempo exacto de los

movimientos está relacionado con la organización del ritmo musical, mientras que la secuenciación y los aspectos espaciales del movimiento corresponden con la ejecución de notas individuales en el instrumento. Además, en un gran estudio longitudinal del funcionamiento neuropsicológico a lo largo de la infancia, las puntuaciones directas en las tareas del intelecto global aumentaron significativamente entre las edades de 6 a 10 años alcanzando los niveles de los adultos a la edad de 12 a 13 años.

Estos cambios de maduración coinciden con el momento en que los niños de nuestra muestra comienzan las clases de música, y por lo tanto los cambios en las capacidades cognitivas con la maduración también pueden contribuir al rendimiento en las tareas de música. En conjunto, nuestros resultados proporcionan pruebas de que el entrenamiento musical antes de los siete años de edad da lugar a ganancias específicas en la simple discriminación del tono, que probablemente estén relacionadas con los picos de desarrollo en las regiones del cerebro que soportan el procesamiento auditivo básico y con el desarrollo cognitivo global (Waber *et al.*, 2007).



Esta figura ilustra la retroalimentación y las interacciones de retroalimentación que ocurren durante la ejecución de la música. Cuando un músico toca un instrumento, los sistemas motores controlan los finos movimientos necesarios para producir el sonido. El sonido es procesado por los circuitos auditivos, que a su vez se utilizan para ajustar la salida del motor para lograr el efecto deseado. También se piensa que las señales de salida de las corticales premotoras influyen en las respuestas

dentro de la corteza auditiva, incluso en ausencia de sonido, o antes del sonido; por el contrario, se piensa que las representaciones motoras están activas incluso en ausencia de movimiento en el sonido auditivo. Por lo tanto, existe un estrecho vínculo entre los mecanismos sensoriales y de producción (Zatorre *et al.*, 2007).

5.8 Nexo entre el sistema auditivo y el motor.

Se tienen evidencias de conexión que existe entre los sistemas auditivo y motor. Es el caso del córtex premotor, la cual es un área implicada en las transformaciones sensoriomotoras. La parte ventral del córtex premotor y regiones posteriores del giro inferoposterior son importantes para el procesamiento de sonidos relacionados con un acto motor. Para que ocurra esta activación, la persona tiene que tener identificada una relación sonido acción (Zatorre *et al.*, 2007).

Una parte muy importante de la producción musical es la capacidad para leer partituras estudios con resonancia magnética funcional han indicado que regiones temporooccipitales derechas están implicadas en descifrar una partitura frente a un teclado (D Schön, Anton, Roth, & Besson, 2002). Asimismo, también desempeña un papel importante el córtex parietal superior, ya que integra la información visual y auditiva para planificar el acto motor (Sergent, Zuck, Terriah, & MacDonald, 1992).

La lectura de una partitura requiere que la persona procese gran cantidad de información, que será utilizada inmediatamente: el músico ha de interpretar el tono y duración de las notas teniendo en cuenta la clave y el compás, anticipar cómo sonará la música y generar un plan motor para su ejecución. En una partitura, ritmo y tono se representan de manera diferente. Al igual que tienen representación diferente en la partitura, también están representados de forma distinta en el cerebro, ya que alteraciones en la lectura del ritmo no implican alteraciones en la lectura del tono y viceversa (Midorikawa, Kawamura, & Kezuka, 2003). En el caso de la ejecución de la partitura del músico también la lee, en el cual se requiere una activación cortical amplia, participando regiones temporoparietooccipitales, encargadas del control del tono, y factores visuoespaciales, que permitirán la correcta ejecución motora de las notas que se están leyendo. (Midorikawa *et al.*, 2003).

5.9 Definiciones funciones cognitivas

5.9.1 Atención

La atención es la función cognitiva fundamental para generar y mantener un estado de activación necesario para realizar un adecuado procesamiento de la información, es un factor base para los procesos cognitivos, en ella se miden la adecuada ejecución, la velocidad y la capacidad de mantenerse en una respuesta determinada (Ríos y Periañez citado por Muñoz & Ustároz, 2001). Por su parte Posner y Petersen presentan un modelo de tres redes neurales encargadas de los procesos atencionales, estas son independientes anatómica y funcionalmente, pero con interacciones durante la respuesta a estímulos (Citado por Muñoz *et al.*, 2009).

1. **La red de orientación** tiene como misión elegir la información sensorial y está muy relacionada con procesamientos atencionales visoespaciales, y de esta manera cumple el rol de seleccionar estímulo relevante de entre otros estímulos. Las áreas cerebrales propias de esta red son la corteza parietal, el giro precentral, la corteza oculomotora frontal, el tálamo, los colículos superiores (para estímulos visuales) y los colículos inferiores (para estímulos auditivos).

2. **La red de vigilancia** tiene como función sostener el estado de alerta de forma adecuada por un espacio de tiempo, también identifica alteraciones en el medio mientras realiza una tarea. A nivel cerebral las áreas relacionadas están la fronto-parietal, frontal derecha cuando tiene como función mantener la atención de manera voluntaria y parietal derecha cuando es alerta y orientación.

3. **La red ejecutiva** está relacionada con funciones atencionales de mayor nivel de complejidad, donde tiene la necesidad de una mayor exigencia cognitiva porque identifica el de cambio, detección de errores, resolución de conflictos y está relacionado con control inhibitorio, así como planeación y procesamiento de novedades ambientales y realización de nuevas conductas. Las áreas identificadas con esta red son el cíngulo anterior, área motora suplementaria, la corteza orbitofrontal, corteza prefrontal dorsolateral, y a nivel subcortical los ganglios basales y el tálamo (Muñoz *et al.*, 2009).

5.9.2 Memoria

La música tiene claramente implicaciones mnémicas que son entendidas de manera modular a través de redes y empaquetamientos (Soria-Urios *et al.*, 2011b), por lo que para su comprensión requiere acercamientos más amplios, sin embargo se cuentan con pruebas neuropsicológicas que pueden quedarse cortas ante los procesamientos musicales, por consiguiente la memoria se puede definir como una función mental superior encargada de codificar, almacenar, consolidar y recuperar información, puede decirse que por medio de esta función cognitiva es posible el aprendizaje (Muñoz *et al.*, 2009). Los distintos tipos de conocimientos, habilidades, experiencias pasadas, destrezas motoras o información enciclopédica, desempeña un papel crucial en la adaptación a un medio fundamentalmente cambiante.

Las cuatro etapas dentro del proceso de la memoria mencionadas se pueden definir como:

1. **Codificación:** es la transformación de la estimulación sensorial en diferentes códigos de almacenamiento, con el fin de poder almacenar la información recibida. Este proceso puede ser consciente o inconsciente.
2. **Almacenamiento:** mantiene la información en memoria de corto plazo y por eso es temporal.
3. **Consolidación:** es la transferencia de la información desde los sistemas de memoria a corto plazo a los sistemas mnésicos a largo plazo (Redolar, 2014).
4. **Recuperación:** es el acceso y evocación verbal o procedimental de la información almacenada previamente.

La investigación de la memoria desde la neurociencia cognitiva ha revelado la existencia de múltiples sistemas, los cuales se pueden dividir en categorías funcionales, varias regiones cerebrales desempeñan un papel diferencial en distintos tipos de memoria y en diversos estadios del proceso relacionado a la memoria. Existe una clasificación por sistemas de memoria planteadas por (Shiffrin & Atkinson, 1969) y según estos autores, la memoria está constituida por tres almacenes: la memoria sensorial, memoria a corto plazo y memoria a largo plazo, cada uno de los cuales posee unas características diferenciadas y unas reglas específicas de funcionamiento. La capacidad de almacenamiento de cada almacén, la persistencia temporal de la información y el tipo de procesamiento que realizan son diferentes.

Memoria Sensorial (MS): Es un registro mnésico de gran capacidad, pero en el cual el mantenimiento de la información es de muy escasa duración (unos 250 milisegundos). La memoria sensorial está fuera del control voluntario del sujeto, siendo su funcionamiento automático y espontáneo, es decir, sin mediación de la conciencia.

Memoria a corto plazo (MCP): es una memoria transitoria y de codificación rápida, en el cual la información es analizada, interpretada y organizada para su posterior almacenamiento en la memoria a largo plazo. Este sistema de memoria posee una capacidad limitada y la permanencia de la información es breve (unos 20 segundos).

Memoria a largo plazo (MLP): La información transferida desde los otros sistemas es almacenada en la MLP. Ésta constituye un depósito permanente en el cual se retiene el conocimiento que se ha ido acumulando a lo largo de la vida, su capacidad de almacenamiento es ilimitada y la persistencia de la información en este almacén también lo es.

El hipocampo es la estructura cerebral más directamente relacionada con la memoria y el aprendizaje. El hipocampo desempeña un papel determinante en la adquisición de nueva información; interviene tanto en la codificación como en la consolidación de nuevos contenidos y posibilita la transferencia de dicho material de la memoria a corto plazo a largo plazo. Por lo tanto, sin la intervención del hipocampo, el almacenamiento a largo plazo de la información sería improbable.

El hipocampo no funciona de manera aislada, sino que forma parte del sistema neural del lóbulo temporal medial compuesto por las cortezas entorrinal, perirrinal y parahipocampal y el hipocampo. El proceso de adquisición y consolidación de la memoria comienza con el registro y procesamiento de los estímulos que llegan del exterior, en una o más de las áreas de asociación heteromodal (áreas cerebrales que están involucradas en varias funciones) de la corteza cerebral, las cuales codifican e integran información de todas las modalidades sensoriales.

La información aquí sintetizada es enviada a las cortezas parahipocampal y perirrinal, a través de la ruta descendente corticohipocampal, llegando posteriormente a la corteza entorrinal, la puerta de entrada al hipocampo más importante. Desde aquí se proyecta, a través de la vía perforante, a la circunvolución dentada, para llegar finalmente al hipocampo. Además, el hipocampo también recibe información procedente de la amígdala, la cual posee un papel modulador sobre el

aprendizaje, potenciando los aprendizajes declarativos de los estímulos y las situaciones con carga emocional.

Una vez que el proceso de codificación llevado a cabo por el hipocampo ha finalizado, la información es enviada de nuevo a la corteza cerebral. Son el campo CA1 del hipocampo y el subículo las principales estructuras encargadas de generar dichas eferencias por un lado, envían la información a la corteza a través de la corteza entorrinal desde donde se dirige, en un viaje de vuelta, a la corteza parahipocampal y a la corteza perirrinal y finaliza en las áreas de asociación polimodal de la corteza cerebral en las que se originó el proceso. Además, desde la formación hipocampal también se envía información, a través del fórnix, a los cuerpos mamilares del hipotálamo. Posteriormente la información es remitida al tálamo posterior, desde donde viaja a las áreas de asociación de la corteza cerebral para ser finalmente almacenada.

En esta instancia, es importante hacer hincapié en la función que cumplen las estructuras temporales mediales, puesto que aunque resultan imprescindibles para la consolidación y el almacenamiento de la información a largo plazo, es en las regiones de la corteza de asociación en las cuales la información se procesó por primera vez donde se almacenará de forma definitiva, de manera que la función de la corteza perirrinal se puede disociar de la del hipocampo y de la corteza parahipocampal. Éstas están relacionadas con el reconocimiento visual de objetos, inclusive con las palabras y con las caras junto con la corteza perirrinal el hipocampo y la corteza parahipocampal se encargaría de sustentar la memoria de tipo contextual. Hace parte del circuito anterior. La corteza perirrinal se conecta fundamentalmente con las regiones visuales de alto nivel en la corteza temporal.

Por su parte los ganglios basales y el cerebelo constituyen dos estructuras determinantes en la formación de hábitos, la adquisición de habilidades y destrezas, el aprendizaje por condicionamiento y la memoria procedimental. Por el contrario, parece que no intervienen de forma o de manera decisiva en la memoria declarativa. Los ganglios basales tienen una especial implicación en la formación de los hábitos, puesto que facilitan el establecimiento de la relación entre un objeto determinado y una respuesta motora asociada. Además, dicha asociación es inconsciente, por lo que los ganglios basales también están implicados en la facilitación o *priming*.

La memoria ha sido un concepto en evolución, Joaquin M. Fuster (2010) brinda una comprensión modular desde un modelo conexionista de N. Geschwind que hace referencia a la base conectiva

de los trastornos de la corteza asociativa. Así, un concepto fundamental para su comprensión es el de **cógnito**, definido como una red de neuronas corticales diseminadas por la corteza en relación sináptica con conexiones propias de experiencias vividas, a través de procesos de asociación sinápticos filogenéticos, ontogenéticos y conectivos para formarse o reformarse desde regiones sensoriales y motoras hasta áreas asociativas.

5.9.3 Funciones ejecutivas

Las funciones ejecutivas están asociadas a áreas del lóbulo frontal, y se encargan de actividades como: la anticipación, selección de metas, planeación, iniciación de la actividad, autorregulación, flexibilidad mental, control de la atención, uso de la retroalimentación, inhibición y memoria de trabajo, así como la orientación para consecución de metas (Lozano Gutierrez & Ostrosky-Solís, 2011). Además constituyen mecanismos de integración intermodal e intertemporal que permiten proyectar cogniciones y emociones (Quintana et al., 1999).

6. REFERENTES INVESTIGATIVOS

Teniendo en cuenta el contexto actual, donde se requiere una mayor exigencia a nivel de competencias por aumentos de requerimientos adaptativos, los sistemas educativos deben fortalecer acciones de transversalidad e inclusión, con impacto más alto de sus estrategias pedagógicas en el desarrollo de habilidades cognitivas, comportamentales y socioafectivas, en este sentido la música ha mostrado que responde al desarrollo de habilidades requeridas, aportando elementos de estimulación y desarrollo significativos para tal fin, incluso con impacto en procesos de rehabilitación en caso de alteraciones neurocognitivas (Thaut, Peterson, McIntosh, & Hoemberg, 2014), con impacto en la calidad de vida de los pacientes y sus familias.

Las neurociencias tienen múltiples herramientas de corte cuantitativa que ayuda a sustentar los esfuerzos que se hacen desde la enseñanza de la música. Es una necesidad urgente y emergente que los pedagogos de la música realicen un correlato de su trabajo con procesamientos y resultados evaluables a través de herramientas propias de la neuropsicología y la neuropsicopedagogía, así como hallazgos neuroanatómicos y neuroquímicos, lo cual permite justificar las acciones y fortalecen los argumentos para implementar metodologías basadas en la música para estimular habilidades cognitivas (Chen, Penhune, & Zatorre, 2008; Habibi, Damasio, Ilari, Sachs, & Damasio, 2018; Peretz & Zatorre, 2005; Zatorre, Belin, & Penhune, 2002; Zatorre, Chen, & Penhune, 2007). De esta manera se realiza una presentación de investigaciones que permiten establecer conexiones entre estimulación cognitiva a través de la música.

6.1 MÚSICA Y NEONATOS

Perani *et al.* (2010) usando fMRI con una muestra de 18 recién nacidos sanos en sus primeros tres días de vida. Los bebés escucharon estímulos musicales de 21 segundos alternando con bloques de silencio de 21 segundos. Se tuvieron tres sesiones de estímulos musicales de la siguiente manera: en el primer repertorio de la denominada **música original** consistía en extractos instrumentales originales en piano, extraídos de música occidental tonal mayor-menor de los siglos XVIII y XIX. De estos extractos originales se crearon los conjuntos 2 y 3 de **música alterada**. En el conjunto 2 todas las voces se desplazaban un semitono hacia arriba y hacia abajo y en el conjunto 3, la voz superior o melodía se desplazó permanentemente un semitono hacia arriba, lo que generó los extractos permanentemente disonantes.

Como resultados se evidenció que en el efecto principal de la música original vs. el silencio, mostró un grupo de activación hemisférico derecho extendido y enfocado en el giro superior temporal, con su pico de activación ubicado en la corteza auditiva (primaria giro temporal transversal), que se extiende hacia la corteza auditiva secundaria, y anteriormente en el plano polar, así como posteriormente en el plano temporal, temporo parietal en unión con lóbulo parietal inferior. En el hemisferio izquierdo, se vio activación de las cortezas auditivas primarias y secundarias, siendo más débil que en el hemisferio derecho; esta observación se confirmó por análisis de región de interés. Además, se observó activación en la ínsula derecha y el complejo derecho de amígdala-hipocampo.

Luego se abordó las diferencias en la activación entre las dos condiciones alteradas del grupo de sonidos 2 y 3 vs. el silencio de la siguiente manera: cambios de clave vs. el silencio y disonancia vs. el silencio. Ambas comparaciones mostraron una activación menos extendida en regiones temporal derecho (en comparación con el efecto principal de la música original frente al silencio) y, en cambio los grupos de activación hemisférica izquierda en las regiones temporales superior medias incluyendo la corteza auditiva primaria, giro frontal inferior, amígdala y estriado ventral.

El efecto principal de la música alterada vs. el silencio, presentó una mayor activación hemisférica derecha de la corteza auditiva primaria y la circunvolución temporal superior posterior que se observó hasta la unión temporoparietal y fue menos pronunciada en comparación con el efecto principal de la música original vs. el silencio. En cuanto a el efecto principal de la música alterada vs. el silencio también mostró la activación de la circunvolución frontal inferior izquierda (que no se observó en la comparación de música original vs. el silencio) y activación de la corteza auditiva primaria izquierda que fue comparable a la observada en el efecto de música original vs. el silencio.

Posteriormente en otro estudio (Lordier *et al.*, 2019) en la identificación de un mejoramiento de las redes cerebrales en bebés prematuros a través de estimulación musical. Para este estudio se valoraron recién nacidos a término después de 37 semanas. El análisis final después de la extracción de las resonancias magnéticas con alteración del movimiento se realizó en 16 recién nacidos (9 niñas, edad promedio gestacional de $39,51 \pm 1,08$ semanas) escaneado los primeros 4 días de vida; 15 bebés prematuros del grupo de intervención musical prematura (8 niñas, edad promedio gestacional al nacer: $28,95 \pm 1,84$ semanas) y 14 bebés prematuros del grupo de intervención musical prematura (9 niñas, edad promedio gestacional al nacer: $28,33 \pm 2,06$ semanales)

En cuanto a la metodología primero se evaluó las características de conectividad del cerebro en los controles a término y prematuros: es decir, los bebés que no habían sido expuestos a la intervención musical. Utilizando métodos de descomposición basados en la modularidad, se identificaron tres módulos. El primer módulo (M1) involucra las redes frontales media superior (SF1), auditiva y sensoriomotora (SM). El segundo módulo (M2) involucra el tálamo, el precuneus (Prec), y el giro temporal posterior derecho. El tercer módulo (M3) involucra la corteza orbitofrontal, la corteza cingulada posterior (PCC), la corteza visual y el giro temporal posterior izquierdo.

La intervención musical tuvo como procedimiento exponer a la escucha durante 8 minutos de música creada específicamente, compuesta por un fondo relajante, campanas, arpa y punji. Los bebés fueron monitoreados (frecuencia cardíaca y nivel de oxígeno) durante todas las resonancias magnéticas. Se usaron auriculares compatibles con la RM para proteger a los recién nacidos del ruido de la resonancia. Como resultados se observó que los bebés prematuros de control, el grupo de música de prematuros mostró una tasa significativamente más alta en las siguientes conexiones: auditiva-SM, saliente-SM, saliente -SF1, auditiva-SF1, saliente-tálamo, y saliente.

6.2 MÚSICA Y ESCOLARES

Habibi *et al.* (2018) en un estudio longitudinal de con una muestra de sesenta y ocho niños en edades de 6 y 7 años de las escuelas primas públicas de bajos ingresos de los Ángeles, fueron seleccionados en tres grupos, el primer grupo con veintiún niños fue llamado **grupo de música**, el segundo grupo con veintitrés niños fue llamado **grupo deportes** y el tercer grupo con veinticuatro niños fue llamado **grupo control**.

La investigación se realizó a partir de una evaluación, la cual se desarrolló en dos tiempos: el primer momento se determinó como línea de base de la evaluación y en el segundo momento de la evaluación fue después de dos años. En los dos momentos se aplicó la escala abreviada de inteligencia de Weschler WASI-II con las subpruebas de: vocabulario, razonamiento matricial y memoria con dígitos (orden directo e inverso), así mismo, en ambos momentos se aplicó medidas de audición musical de Gordon para valorar la aptitud musical. En el segundo momento, se les aplicó la prueba *Stroop* color-palabra para evaluar la inhibición medida por tiempo de reacción y precisión, en esta instancia se les evaluó la tarea de discriminación tonal, diseñada para evaluar la

escucha musical y habilidades de discriminación de tono, donde los participantes debían elegir una respuesta **igual o diferente** de dos frases musicales cortas usando un botón respuesta.

Se tuvieron como resultados neuroanatómicos en el grupo de niños con entrenamiento musical un aumento en las conexiones entre la circunvolución frontal superior, circunvolución pre central y la circunvolución pos central del cuerpo caloso (CC), en comparación con los otros grupos en el momento 2, además los niños evidenciaron una mayor actividad neuronal durante la tarea *Stroop* de color-palabra, específicamente cuando los ensayos incongruentes fueron contrastados con ensayos congruentes. Esta diferencia se observó en una red de regiones cerebrales que son conocidas por participar en la inhibición de la respuesta e incluye la circunvolución frontal inferior bilateral, área motora suplementaria, cíngulo anterior, giro pre central e ínsula.

Por último, en el segundo momento, al cabo de 2 años de entrenamiento, los niños en el grupo de música superaron a los niños de los dos grupos de control en la discriminación tonal, así mismo, a nivel neuroanatómico, mostraron mayor nivel de fibras cruzadas que conectan segmentos frontales, sensoriales y motores superiores a través del cuerpo caloso, el cual evidencia mayor volumen y conectividad más alta, en especial en la parte anterior, con mejor rendimiento cognitivo, esto debido a que la ejecución de un instrumento musical requiere de un procesamiento cortical bilateral del sonido, la coordinación de ambas manos y la integración de las acciones de sistemas auditivos y motor, es posible que estas demandas conduzcan a una mayor interacción interhemisféricas entre las regiones sensomotoras que, a su vez, promoverían una maduración acelerada de las conexiones que las unen.

De igual forma, en otra investigación similar se encontró una mejora significativa en las puntuaciones del WISC-III DS en niños asignados a 9 meses de entrenamiento musical en comparación con los niños de control el entrenamiento musical mejora el WM verbal, se esperaba que los niños que reciben lecciones de música muestren mayores mejoras.

Por otro lado Slevc, Davey, Buschkuehl, & Jaeggi (2016) por medio de unas series de evaluaciones aplicadas a 96 participantes de la Universidad de Maryland con una amplia difusión de la experiencia musical, para empezar se dividieron en dos grupos con igual número de personas; el primero de ellos con menos de dos años de formación musical formal y el otro grupo con al menos cinco años de formación musical formal. Se tuvieron dos sesiones experimentales con una duración de 75 minutos.

Con las diferentes pruebas realizadas, una de ellas se desarrolló la tarea *Stroop* auditivo para determinar las diferencias individuales en la capacidad de control inhibitorio con tareas auditivas y visuales además con auto informes que evaluaban la experiencia, habilidad musical, el índice de sofisticación musical de Ollen y una prueba de oído musical (MET). Se obtuvo como resultados de que la experiencia musical y la habilidad musical predicen un mejor desempeño en las tareas de actualización de la memoria de trabajo tanto auditivo como visual.

Al respecto Carioti *et al.* (2019) realizaron un estudio longitudinal sobre el entrenamiento musical en preadolescentes de la Escuela Media Negri-Calasanzio de San Siro, Milán. Ninguno de los participantes tenía antecedentes médicos de trastornos neurológicos, de desarrollo o psiquiátricos. Con una muestra de 128 estudiantes (56 hombres y 72 mujeres) conformados por 4 grupos: el Grupo de Música sin experiencia musical previa (MG), el Grupo de Música con experiencia musical previa (MGEXP), el Grupo Estándar sin experiencia musical previa (SG) y el Grupo Estándar con experiencia musical previa (SGEXP). En cada grupo la edad de los participantes oscilaba entre 10 y 14 años.

Como instrumentos de evaluación cognitiva emplearon la versión italiana del WISC-IV (razonamiento no verbal y la velocidad de procesamiento), así mismo evaluaron memoria (memoria verbal a largo plazo, la memoria a corto plazo y la memoria de trabajo), el acceso léxico, la conciencia fonológica, la capacidad de lectura, la capacidad de cálculo y la conciencia morfo-sintáctica. La valoración de la investigación se hizo a lo largo de un año, todos los participantes para completar toda la batería psicológica fueron evaluados durante dos sesiones individuales de una hora aproximadamente, con un intervalo de aproximado de una semana entre la primera y la segunda evaluación.

Como resultado se evidenció que los estudiantes incluidos en el grupo MGEXP superaron a sus compañeros a nivel de habilidades cognitivas generales, también con la exactitud en la lectura y pruebas de memoria, además se presentó una tendencia en los componentes viso espacial y habilidades numéricas. Así mismo se identificó que los grupos de MGEXP y el MG fueron superiores por sus habilidades cognitivas generales y su precisión en las pruebas de lectura y memoria desde el principio (en T0) y que estas diferencias se mantuvieron a lo largo del tiempo (en T1). En la misma línea, los estudiantes de los MG tuvieron mejores actuaciones independientemente de si tenían o no una experiencia musical previa. Estas observaciones sugieren

que los estudiantes que eligieron comenzar el estudio de un instrumento tenían, en general, una ventaja cognitiva, al menos en este punto de su desarrollo.

En otro estudio realizado por Hyde *et al.* (2009) con una muestra de 31 participantes en edades de 5 y 6 años de las escuelas públicas de Boston. Los niños fueron divididos en dos grupos, el primero denominado **instrumental** compuesto por 15 niños, que tenían semanalmente fuera del sistema escolar clases particulares de teclado de media hora por un período de 15 meses. Por su parte el grupo **control** que no recibiría ningún tipo de formación musical durante este mismo periodo. Las evaluaciones del estudio se desarrollaron en dos momentos, en el primero a todos los participantes se les hizo valoración de comportamiento, pruebas cognitivas y se sometieron a una resonancia magnética.

En un segundo momento, 15 meses después, todos los niños fueron reexaminados en las pruebas de comportamiento, cognitivas y se sometieron a una segunda resonancia magnética. Se tuvieron en cuenta las sub pruebas de ensamblaje de objetos, diseño de bloques y vocabulario del WISC-III, las matrices progresivas de Raven (matrices progresivas coloreadas y matrices progresivas estándar), la sub prueba de vocabulario del WISC que se usó como sustituto del coeficiente intelectual verbal, y la conciencia fonética con la prueba de análisis auditivo de Rosner y Simon.

Los resultados mostraron cambios en los niños después de los quince meses de entrenamiento musical, en las áreas frontales, temporales y parieto-occipital. Así mismo mostraron mayor tamaño en las áreas motoras, el giro pre central derecho (área motriz) y el cuerpo calloso. Se demostró que la plasticidad cerebral a nivel estructural y regional desarrollada en los 15 meses de formación musical instrumental en la primera infancia produjo cambios estructurales del cerebro en las áreas motoras y auditivas (de importancia crítica para el entrenamiento de la música instrumental) y que a su vez se correlacionaron con mejoras de comportamiento en las pruebas motoras y auditivas-musicales. En el desempeño de interpretación musical los niños mostraron mayores mejoras en la capacidad motora (medida por la destreza de los dedos tanto en la mano izquierda como en la derecha) y en las habilidades auditivas de discriminación melódica y rítmica.

En otro estudio realizado por Schlaug *et al.* (2009) a través de una muestra de 31 niños en un rango de edad de 5 a 7 años, de los cuales 18 niños asistieron semanalmente a clases instrumentales privadas o semiprivadas de media hora (11 niños aprendieron el piano y siete aprendieron instrumentos de cuerda), mientras que los otros 13 niños sirvieron como controles no

instrumentales y no recibieron capacitación instrumental. Los niños se sometieron a escáneres cerebrales MR con ponderación en T1 de alta resolución (tamaño de vóxel: $0,93 \times 0,93 \times 1,5$ mm) tanto en la línea base como después de una media de casi 30 meses de entrenamiento musical.

Los niños también completaron una tarea de secuenciación de motricidad fina de 4 dedos, en ambos puntos de tiempo. Comenzando con su mano no dominante, los niños realizaron tres pruebas de 30 segundos de una tarea de secuencia de 4 dedos en las teclas numéricas de un teclado de computadora alfanumérico con cada mano, con un período de descanso de 30 segundos entre las pruebas. Como resultados se evidenció que el entrenamiento musical instrumental incidió significativamente el desarrollo del tercio medio del cuerpo anterior del cuerpo calloso (CC), la cual contiene fibras que atraviesan la corteza pre frontal, la región pre motora y las áreas motoras suplementarias.

La investigación, en reciprocidad con otras pesquisas, encontró relación e importancia de la estructura del cuerpo calloso (CC) debido a que los músicos que simultáneamente involucran partes de ambos hemisferios para procesar y reproducir música, incluso, los músicos profesionales con inicio del entrenamiento musical antes de los 7 años tienen áreas CC anteriores más grandes que los no músicos, sugiriendo así plasticidad de esta estructura cerebral debida al entrenamiento musical durante la primera infancia.

El efecto diferencial del entrenamiento de música instrumental en el desarrollo estructural del CC podría deberse al crecimiento de la mielinización (axones con láminas de mielina más gruesas), el tamaño del axón, el aumento de la formación de colaterales del axón o el número de fibras transcallosales que podrían resultar de la interferencia de fibras inter hemisféricas durante el desarrollo. Los resultados del estudio proporcionan evidencia de que el aprendizaje temprano, intensivo y prolongado de habilidades conduce a cambios estructurales significativos en el cerebro, asociados con cambios en la habilidad conductual relacionada.

Por otro lado, Ireland, Iyer, & Penhune (2019) a través de un estudio realizado con 130 niños músicos canadienses con un rango de edades entre los 6 y 14 años. La denominación de **músicos** se les da a los niños que cumplen con los siguientes criterios: a) tener al menos 2,5 años consecutivos de lecciones de música semanales e individuales en el mismo instrumento, b) asistir a lecciones de música en el momento de la contratación; y c) practicar la música al menos media hora por semana fuera de las lecciones y en el mismo instrumento. En cuanto a la modalidad de

evaluación se aplicó tareas de discriminación de melodías, tarea de sincronización de ritmos y la realización de pruebas cognitivas de la Escala de Inteligencia Wechsler para Niños, cuarta edición (WISC-IV) con las sub pruebas de: Span de Dígitos (DS), Secuenciación de Letras-Números (LNS), y Razonamiento de Matriz (MR).

Los resultados de este estudio mostraron que los niños que comenzaron a recibir entrenamiento musical antes de los siete años de edad se desempeñaron mejor con las tareas de discriminación de melodías comparadas con los que comenzaron más tarde el entrenamiento musical. En la muestra, la capacidad de discriminación era más alta en aquellos que habían comenzado las clases de música antes de los seis y siete años. En los hallazgos para la discriminación de tonos fue soportado por estudios longitudinales relacionados con períodos cortos de entrenamiento musical durante la infancia, resultando mejorías en la discriminación de tonos y melodías simples y precisión en el canto de una melodía simple.

En otro estudio posterior de Assal Habibi *et al.* (2017) por medio de un estudio longitudinal se recogió una muestra con niños en edades de 6 y 7 años de las escuelas primarias públicas de bajos ingresos de los Ángeles, fueron seleccionados en tres grupos, el primer grupo con veintiún niños fue llamado **grupo de música**, el segundo grupo con veintitrés niños fue llamado **grupo deportes** y el tercer grupo con veinticuatro niños fue llamado **grupo control**. Entre la inducción inicial y 2 años más tarde en el curso del estudio longitudinal, 15 participantes (5 de música, 4 de control deportivo y 6 de control no deportivo).

En todos los momentos de la evaluación, los participantes fueron examinados mediante una entrevista con sus padres para asegurarse de que no tenían ningún diagnóstico de trastorno del desarrollo o neurológico y fueron sometidos a una prueba con la escala abreviada de inteligencia de Wechsler (WASI-II) para asegurar un desarrollo cognitivo igual y normal. Los procedimientos experimentales fueron evaluados como parte de la prueba de Bruininks-Oseretsky de habilidad motora (BOT 2-Breve).

Se dan como resultados principales, la reducción asimétrica del espesor cortical y el volumen del segmento posterior del giro temático superior (más grande a la izquierda que a la derecha) en el grupo de música. Hallazgo que proviene de la comparación del escáner 1 (antes del entrenamiento musical) con el escáner 2 (después de 2 años de entrenamiento musical). Un aumento de la FA en 3 segmentos del cuerpo calloso para el grupo musical complementado a los grupos de control

después de 2 años de entrenamiento musical; los segmentos que muestran diferencias entre los grupos corresponden al cruce de las conexiones sensoriales, motoras y del área frontal superior del giro superior del área motora. Estas diferencias microestructurales no estaban presentes en el momento del primer escaneo.

Utilizando una técnica morfométrica basada en vóxeles (VBM), Gaser y Schlaug informaron de una correlación positiva entre la competencia musical y la densidad de materia gris del giro de Heschl izquierdo, al comparar músicos profesionales y no músicos (Gaser y Schlaug citado por Assal Habibi *et al.*, 2017). Por su parte Hyde y sus colegas, en el primer estudio longitudinal de los cambios estructurales relacionados con el aprendizaje de un instrumento musical, demostraron que los niños de seis años que recibieron entrenamiento musical instrumental durante 15 meses mostraron un aumento de la densidad de materia gris en la corteza auditiva primaria derecha (giro temporal de Heschl/trans-verso), mientras que los niños de la misma edad que no recibieron entrenamiento musical no lo hicieron (Hyde *et al.* citado por Assal Habibi *et al.*, 2017).

Se han demostrado correlaciones positivas entre la trayectoria de maduración del espesor cortical y el coeficiente intelectual (Shaw *et al* citado por Assal Habibi *et al.*, 2017) y, por separado, con el tiempo tocando un instrumento musical (Hudziak *et al* citado por Assal Habibi *et al.*, 2017) durante la etapa de desarrollo de la infancia tardía (8-10 años). Por lo tanto, los resultados sugirieron que la exposición temprana al entrenamiento musical puede estar relacionada con los efectos a largo plazo del aumento del espesor cortical en las áreas auditivas previamente reportadas en músicos (Bermúdez *et al.* citado por Assal Habibi *et al.*, 2017).

La maduración mejorada de estas capacidades auditivas también puede conducir, quizás más tarde, a un desarrollo más rápido y eficiente de las capacidades del lenguaje, el habla y la memoria auditiva, dado que algunos de los sustratos neuronales de estos diferentes procesos son de hecho compartidos. En cuanto al entrenamiento musical y al desarrollo micro estructural del cuerpo calloso se evidenció que los niños con 2 años de entrenamiento musical tienen mayor anisotropía fraccionada en el cuerpo calloso, específicamente a nivel de las fibras cruzadas que conectan los segmentos frontales superiores, sensoriales y motores a través del calloso, comparado con los niños de los dos grupos de control.

Por su parte James J. Hudziak *et al.* (2014) realizaron un estudio con participantes que formaron parte del Estudio de Imágenes por Resonancia Magnética (IRM) del Desarrollo Normal del Cerebro

de los Institutos Nacionales de Salud (NIH). Este estudio siguió un diseño longitudinal de tal manera que los participantes se sometieron a una resonancia magnética y a pruebas de comportamiento en hasta 3 visitas separadas, en intervalos de 2 años. Se contó con la participación de 232 jóvenes con entrenamiento musical en edades comprendidas entre los 6 y los 18 años. El procedimiento para analizar el espesor cortical se realizó utilizando *SurfStat*, una caja de herramientas creada para MATLAB 7.

Se evidencia que el entrenamiento musical se asoció con la tasa de maduración del grosor cortical en una serie de áreas cerebrales distribuidas a lo largo de los pre motores corticales y primarios derechos, los motores corticales primarios y suplementarios izquierdos, los corticales parietales bilaterales, los corticales orbito frontales bilaterales, así como los giros parahipocampales bilaterales. Se halló que el entrenamiento musical se asoció con el desarrollo del grosor cortical en las áreas motoras y pre motoras primarias, dado que ambas regiones contribuyen al control y la ejecución del movimiento. Se postula que la región premotora desempeña un rol significativo en la preparación y la orientación sensorial del movimiento, características fundamentales del entrenamiento musical.

De la misma manera, se cree que el área motora suplementaria juega un papel en la planificación y coordinación del movimiento, de nuevo habilidades clave en la producción musical. En lo que respecta a las asociaciones parietales bilaterales, la corteza parietal posterior sirve para integrar información multisensorial que puede estar relacionada con la actividad motora. El entrenamiento musical también se asoció con la tasa de desarrollo del grosor cortical en las corticales pre frontales orbitofrontales y ventromediales, áreas del cerebro que juegan un papel muy importante en el control inhibitorio, así como en aspectos del procesamiento de las emociones.

6.3 ADULTOS CON PRÁCTICA MUSICAL

Elmer, Hänggi, Meyer, & Jäncke (2013), contaron con la participación de 13 músicos profesionales con una media en la edad de 25,15 años, y 13 personas en el grupo control sin educación en música, quienes nunca tuvieron ninguna práctica musical con la excepción de las lecciones obligatorias de flauta en la escuela, con una media en la edad de 25,30 años. Los sujetos no informaron de ningún

problema neurológico, psiquiátrico o neuropsicológico pasado o actual, y negaron el consumo de drogas o medicamentos ilegales.

Se emplearon datos de comportamiento con pruebas de capacidad cognoscitiva KAI, además una prueba de aptitud musical. En el material de estímulos todos los sujetos escucharon dos clases diferentes de estímulos auditivos en el contexto de una tarea de categorización fonética. Los datos sobre el comportamiento y la anatomía se reunieron en el contexto de un estudio de imágenes por resonancia magnética funcional. La reconstrucción de la superficie cortical y la segmentación volumétrica se realizó con el paquete de análisis de imágenes *FreeSurfer*, la resonancia magnética estructural en 3D ponderada por T1 se utilizó para construir modelos de la superficie cortical de cada sujeto para medir características cerebrales como la TC y las áreas corticales (SA).

La investigación encontró una correlación positiva que revelamos en los músicos entre la SA cortical del PT izquierdo y la actuación conductual durante la condición de espectro reducido sugiriendo que la musicalidad facilita el procesamiento de la información segmentaria del habla, lo anterior a través de los análisis anatómicos del PT (plano temporal) que dieron como resultado un aumento de la SA (áreas corticales) en el grupo de músicos en un cúmulo situado en el hemisferio izquierdo.

En otro estudio realizado por Bengtsson *et al.* (2009) contaron con la participación de 17 personas, en un rango de edad entre los 20 y 36 años (14 hombres y 3 mujeres), sin antecedentes de enfermedad neurológica. En el procedimiento experimental, los participantes recibieron instrucciones de escuchar atentamente la estructura temporal de la serie de estímulos auditivos que serían presentados, los participantes se familiarizaron con los estímulos mientras escuchaban cada secuencia de ritmo y una secuencia aleatoria de 20 segundos cada una.

Para el estímulo de la prueba los participantes escucharon secuencias de ritmos que tenían el mismo tono auditivo y solo diferían en su estructura repetitiva de intervalos temporales, las secuencias se presentaron con tres ritmos de diversos grados de complejidad. Cinco condiciones fueron incluidas: en la secuencia de ritmo isócrono: ISO, todas las duraciones de los intervalos fueron de 355 ms además se presentaron secuencias impredecibles con distribución aleatoria de intervalos. Se utilizaron imágenes de resonancia magnética funcional (fMRI) para identificar áreas del cerebro involucradas en la percepción del ritmo auditivo.

Se encontraron como resultados que la corteza pre motora dorsal y cerebelo lateral fueron más activos cuando los participantes escucharon el ritmo secuencial, comparadas con secuencias aleatorias. El patrón de actividad en el área motora suplementario (SMA) sugirió una modulación dependiente de la previsibilidad de la secuencia, indicando fuertemente un papel en la predicción sensorial temporal. Además, se plantea la hipótesis de que cuanto más compleja sea la secuencia rítmica, más comprometerá la memoria a corto plazo con procesamientos de la corteza pre frontal.

En otro estudio realizado por Duke, Cash, & Allen (2011) se contó con la participación voluntaria de adultos entre los 25 y 57 años de la Escuela de Música Sarah y Ernest Butler de la Universidad de Texas en Austin. Siete de ellos tenían una amplia formación en instrumentos de orquesta y los otros cuatro participantes eran pianistas. Los participantes tocaron una secuencia de 13 notas compuesta de semicorcheas alternadas, utilizando los dedos índice y anular de la mano derecha en un piano digital Roland KR-4700. Para comparar los efectos de diferentes focos de atención, se indicó a los participantes que se concentraran en sus dedos, las teclas o el sonido producido.

Se llevaron a cabo una serie de sesiones para las pruebas: la primera fue de tiempo máximo, en un segundo momento cuatro bloques de entrenamiento, en la tercera parte una nueva prueba de rendimiento en la tarea entrenada, y por último, en el cuarto momento se llevó a cabo una prueba de transferencia. Se evidenció afectación de la uniformidad temporal de manera diferencial por el foco de atención. Esta es la primera instancia en la que se ha demostrado que enfocarse en un objetivo auditivo (en este caso, el sonido producido por el piano) produce un efecto en el comportamiento motor similar al producido al enfocarse en objetivos físicos distales.

En otro estudio realizado por Assal Habibi *et al.* (2012) en el que participaron 20 músicos (19 diestros, 16 mujeres) y 20 no músicos (20 diestros, 15 mujeres). Los músicos y los no músicos no difieren en edad, los músicos entre los 19 y 22 años, y los no músicos entre los 18 y 25 años. Los músicos tenían significativamente más años de entrenamiento musical que los no músicos, el rango de los músicos = 7-16 años, el rango de los no músicos = 0-1 años.

Se evaluó el comportamiento de las habilidades musicales a través de Escala y Ritmo de la Batería de Evaluación de Amusia de Montreal (MBEA), en dos secciones: escala (Tono) y Ritmo, siendo las más relevantes. Para probar cualquier diferencia en la respuesta cortical de músicos y no músicos a los estímulos musicales en general y a las desviaciones de tono en particular, se hicieron dos mediciones de amplitud. Una medida dependiente, la amplitud media, era el voltaje medio en

el intervalo de tiempo de las formas de onda promediadas. Cuantificaron el voltaje medio de las PRE para cada categoría de estímulo a partir de 15 electrodos (F3, Ez, E4, EC3, ECz, EC4, CP3, CPz, CP4, C3, Cz, C4, P3, Pz4) en ventanas de tiempo centradas en el pico del componente respectivo en la forma de onda del gran promedio

En este estudio se definen algunos hallazgos relacionados con otras investigaciones que son clave en los efectos del entrenamiento musical como la asimetría de la activación hemisférica en los músicos que favorecen las áreas corticales auditivas izquierdas durante las tareas relacionadas, con la música se puede reflejar la reorganización estructural como funcional de la corteza auditiva durante el entrenamiento musical a largo plazo. Por ejemplo, el volumen de materia gris en el giro izquierdo de Heschl es mayor en los músicos que en los no músicos, lo que facilita la capacidad de los músicos para procesar la música de manera diferente a la de los no músicos. Los músicos conservan las capacidades del hemisferio derecho para procesar los tonos, pero pueden analizar la música como un **lenguaje**, involucrando preferentemente las habilidades semánticas del hemisferio izquierdo.

En otro estudio realizado por Hansen, Wallentin, & Vuust (2013) con una muestra de sesenta adultos entre los 18 y 29 años, todos nativos de Dinamarca, participaron en el experimento. Reclutamos tres grupos de 20 participantes voluntarios por muestreo de conveniencia: no músicos, músicos aficionados y músicos expertos. Todos los participantes habían asistido a escuelas primarias danesas y por lo tanto habían asistido a clases generales de música obligatorias.

Se administraron las pruebas de dígitos en orden directo e inverso del WAIS-III, además también utilizaron el WMS-III SS y el MET (grabación de frases musicales dividido en dos subpruebas: rítmica y melódica). En los hallazgos de esta investigación se evidencia que los músicos expertos superaron significativamente a los no músicos en el MET, mientras que los expertos lograron mayores puntajes promedio de MET que los no músicos. A nivel verbal los músicos tienden a tener una notable mejor percepción por la estimulación auditiva.

La investigación encontró en sus hallazgos correlación con los resultados de otras investigaciones de músicos con mejor discriminación lingüística, habilidad en el habla emocional, tono léxico y capacidad del habla con ruido. Se podría decir entonces que esta mayor capacidad de diferenciar y percibir las sutilezas del sonido, incluido el habla, podría mejorar la memoria, tal como la capacidad en los músicos de almacenar material auditivo por medio de la formación musical, aunque los no

músicos y músicos activan un conjunto similar de redes neuronales durante ensayos de estímulos verbales y tonales. También en consonancia con hallazgos previos a esta investigación, se identificaron debido al entrenamiento musical mejoras en la mielinización y aumentos del volumen de la materia gris de las estructuras cerebrales implicadas en la ejecución de la música.

Por otro lado (Daniele Schön, Magne, & Besson, 2004) con la participación de 18 adultos, con una edad media de 31 años, en ellos se encontraban nueve músicos con 15 años de formación musical. Todos eran diestros, tenían una audición normal y eran hablantes nativos de francés. Los estímulos estaban compuestos por 120 frases declarativas en francés y 120 melodías, con un número igual de frases/melodías (40) presentadas en cada una de las tres condiciones experimentales: la última palabra o nota siendo prosódica o melódicamente congruente, débilmente incongruente o fuertemente incongruente. Cada sesión comenzó con un bloque de práctica para familiarizar a los participantes con la tarea y entrenarlos a parpadear durante el intervalo entre estímulos, seguido de dos bloques de material musical y dos bloques de material prosódico.

Como hallazgo de la investigación se tiene que la experiencia musical influye en el procesamiento del tono, así como el entrenamiento musical, al perfeccionar la red de procesamiento de frecuencias, facilita la detección de los cambios de tono no sólo en la música, sino también en el lenguaje, otros de los resultados evidencia que la influencia del entrenamiento musical los músicos tienen mayor precisión tanto en la detección de tonos erróneos en la prueba musical como en la prueba de tonos en el lenguaje.

Posteriormente, (Fauvel *et al.*, 2014) con la participación de treinta y tres voluntarios, de los cuales 16 eran estudiantes que actualmente tocaban un instrumento musical con una edad promedio de 24 años. Los diecisiete estudiantes restantes eran estrictamente no músicos (ninguno había participado nunca en actuaciones musicales o recibido clases de música, excepto la hora semanal de educación musical básica en la escuela secundaria). Se evaluó a través de herramientas de neuroimagen, para los datos estructurales ponderados T1 de cada participante se normalizaron espacialmente según la plantilla del Instituto Neurológico de Montreal (MNI) y se segmentaron para aislar las particiones de materia gris utilizando la caja de herramientas de morfometría basada en vóxeles.

Para determinar si uno de los dos grupos tenía un volumen de materia gris significativamente más alto en el cerebro, se realizó una prueba *t* de dos muestras en los datos de volumen materias gris segregado. El contraste de los músicos y los no músicos dio cuatro grupos: giro cingulado posterior

derecho, giro cingulado medio derecho, giro temporal superior izquierdo, y giro orbitofrontal inferior derecho; para evidenciar una mayor conectividad funcional en estado de reposo entre los cuatro grupos o semillas con mayor volumen de materia gris comparadas con otras regiones del cerebro, se generaron mapas de conectividad funcional.

Semilla 1: Giro cingulado posterior derecho, la prueba t de dos muestras que se utilizó para comparar los mapas de conectividad funcional de los grupos para la primera semilla (grupo dentro del giro cingulado posterior derecho), reveló una correlación significativamente más fuerte en el grupo experimentado musicalmente que en el no músico entre la actividad de series temporales en estado de reposo de esta zona y las de los vóxeles situados en el giro orbitofrontal inferior derecho, que se extiende hasta la corteza cingulada anterior.

Semilla 2: Giro cingulado medio derecho, la prueba t de dos muestras que comparaba los mapas de conectividad funcional generados a partir de la segunda semilla (dentro del giro cingulado medio derecho) mostraba que esta región tenía más conectividad funcional en reposo con el polo temporal superior izquierdo y el giro frontal inferior derecho en el grupo con experiencia musical, en comparación con el grupo sin experiencia musical.

Semilla 3: Giro temporal superior izquierdo, la comparación de los mapas de conectividad funcional en estado de reposo para la tercera semilla (dentro del giro temporal superior izquierdo) puso de relieve varios grupos significativos cuando se comparó el grupo con experiencia musical con el grupo sin experiencia musical. En el hemisferio izquierdo, el análisis reveló una conectividad funcional mejorada en reposo con la corteza premotora, el giro temporal anterior medio y el giro frontal medio. También encontraron una mayor conectividad con el *globus pallidus* en el hemisferio derecho y, bilateralmente, con la parte inferior del giro precentral y el giro supramarginal.

Semilla 4: Giro orbitofrontal inferior derecho, la última prueba t de dos muestras realizada en los mapas de conectividad funcional para la cuarta semilla (dentro del giro orbitofrontal inferior derecho) mostró que la serie de tiempo en estado de reposo del claustro (bilateralmente) estaba más sincronizada con la de la semilla en el grupo de músicos experimentados que en el grupo de no músicos. Como resultados de esta investigación se tuvo que el grupo de músicos experimentados tenía significativamente más volumen materia gris dentro de la corteza cingulada posterior derecha y media, la corteza auditiva primaria izquierda y el giro frontal inferior derecha.

La investigación encontró correlaciones con otros trabajos tales como la plasticidad estructural de la corteza auditiva primaria izquierda, inducida por la práctica musical y un aumento de los organismos genéticamente modificados dentro del giro cingulado (especialmente en su parte posterior) en niños después de 15 meses de formación musical. En cuanto al giro frontal inferior derecho, un reciente estudio transversal mostró que su densidad de materia gris aumenta con la cantidad de experiencia musical, por otra parte; los resultados mostraron que cada una de estas cuatro áreas mostraba unas mayores conectividades funcionales en estado de reposo, con una o varias regiones del cerebro en el grupo con experiencia musical que en el grupo sin experiencia musical.

Los investigadores identificaron antecedentes con músicos que exhibieron una mayor conectividad en el área subcortical (globo pálido derecho), las áreas motoras bilaterales (parte inferior del giro precentral), la corteza premotora izquierda, el giro supramarginal bilateral, un área auditiva asociativa (giro temporal anterior medio izquierdo) y el giro frontal medio izquierdo. Es interesante observar que todas estas regiones podrían pertenecer a la red auditiva del estado de reposo y que, durante el estado activo, todas ellas (excepto el globo pálido) han estado vinculadas a una o varias etapas de percepción, comprensión y/o producción del lenguaje.

Lo anterior, es debido a las regiones del comportamiento auditivo-motor (incluyendo a la práctica musical) que están relacionadas con el habla, evidenciado por el acoplamiento funcional de las áreas motoras primarias y auditivas durante la percepción y producción del habla y la interpretación musical. Por su parte, las áreas auditivas y motoras secundarias están activas durante la imagen mental del habla y la música. Luego, el papel del giro supramarginal en la lectura a la vista de las palabras también ha sido demostrado para las partituras musicales, y el giro frontal dorsolateral medio izquierdo parece jugar un papel en la atribución de etiquetas verbales a las notas musicales.

En otro estudio de (Zuk *et al.*, 2014) con una muestra de 30 adultos saludables, diestros, monolingües, de habla inglesa. En un primer grupo 15 músicos (9 hombres, 6 mujeres) y 15 no músicos (9 hombres y 6 mujeres) rango de edad de 18 a 35 años y una media de 24.80 años. En este participaron 27 niños, de los cuales 15 presentaban entrenamiento musical (7 hombres, 8 mujeres) y 12 sin entrenamiento (4 hombres, 8 mujeres), con un rango de edad: 9-12 años, con un promedio de 10,9 años. Los niños con formación musical habían tocado un instrumento durante un mínimo de dos años en clases privadas regulares, y con un inicio de formación a la edad de 5 años y habían

estudiado su instrumento en promedio 5,2 años, los niños no entrenados no tenían formación musical fuera de los requisitos del plan de estudios de música general en la escuela.

Los participantes adultos completaron el Sistema de Función Ejecutiva de Delis-Kaplan y las subpruebas *Trail Making*, Fluidez Verbal, Interferencia de Color-Palabras basada en la prueba *Stroop* y Fluidez de Diseño. Los niños completaron un subconjunto de subpruebas de DKEFS para maximizar la atención y evitar la fatiga. La subprueba de *Trail Making* evalúa el escaneo visual, la secuencia numérica y alfabética, la velocidad motriz y la flexibilidad cognitiva. La memoria de trabajo y la velocidad de procesamiento fueron evaluadas a través de subpruebas de dígitos en orden directo e inverso de la WAIS-IV para adultos y para los niños con las subpruebas de la escala de Inteligencia Wechsler para Niños IV (WISC-IV)

Como resultados se evidenció que los niños entrenados musicalmente sobre niños no entrenados tienen una mayor activación en las regiones prefrontales bilaterales, además de una mejor activación en el giro supramamario derecho se encontró también en niños entrenados musicalmente sobre niños no entrenados. Y por otro lado contrario a estos hallazgos, los niños no entrenados musicalmente una mayor activación del parietal superior izquierdo con respecto a los entrenados. En la exploración de relaciones significativas con otras pesquisas, los investigadores encontraron correlatos neurales asociados de la conmutación de tareas en niños entrenados musicalmente en lugar de niños no entrenados a través de la fMRI.

En general, los músicos adultos y los niños entrenados musicalmente mostraron un mayor rendimiento, los niños demostraron además una mayor activación cerebral en las regiones tradicionales de EF durante un paradigma de cambio de tareas. Se observaron diferencias de comportamiento entre los músicos adultos y los que no lo son en cuanto a las medidas de flexibilidad cognitiva (como la fluidez verbal, la fluidez de diseño, la elaboración de senderos) y la memoria de trabajo. Los niños con y sin entrenamiento musical también difieren significativamente en cuanto a las medidas de flexibilidad cognitiva (fluidez verbal y realización de pistas) y la velocidad de procesamiento también.

Estos resultados apoyan la hipótesis de trabajo de que la formación musical puede promover el desarrollo y el mantenimiento de la EF, lo que podría mediar en los vínculos previamente reportados entre la formación musical y el aumento de los logros académicos, se podría concluir

con base en todo lo anterior que los niños y adultos con un extenso entrenamiento musical muestran un mejor rendimiento en un número de construcciones de funciones ejecutivas, en comparación con los que no son músicos, especialmente en cuanto a la flexibilidad cognitiva, la memoria de trabajo y la velocidad de procesamiento.

6.4 MÚSICA Y ESTIMULACIÓN EN ESCLEROSIS MÚLTIPLE

Thaut, Peterson, McIntosh, & Hoemberg (2014) con una muestra de 54 voluntarios diestros (38 mujeres y 16 hombres) con esclerosis múltiple (EM) recurrente-remitente, con audición normal y sin antecedentes de otras condiciones neurológicas o psiquiátricas, al menos cinco lesiones cerebrales identificadas a través del análisis de imagen por resonancia magnética (IRM). Para la valoración se usaron archivos de sonido pregrabados y se repitió una única lista estándar de 15 palabras semánticamente no relacionadas durante 10 ensayos presentadas a un ritmo de uno por segundo y en el mismo orden uno por cada uno. En cada presentación de la lista se les pidió a los sujetos que volvieran a recordar tantas palabras como fuera posible, después de veinte minutos con distractores no verbales, se les solicitó que recordaran libremente las palabras.

Los sujetos no fueron retroalimentados sobre cualquier ensayo. En ambas condiciones, se les indicó adicionalmente que renombraran los artículos en el orden en que fueron presentados en la lista de palabras. Como resultados se evidenció que, en la memoria general, cuando los participantes habían tenido estimulación con sonidos musicales produjo resultados estadísticamente significativos más altos que en la condición hablada. El análisis del aprendizaje del orden de las palabras por parejas mostró una ventaja estadísticamente significativa para la memoria en la música que el aprendizaje hablado al final del último ensayo de aprendizaje y los dos ensayos posteriores de memoria, también el aprendizaje verbal musical indujo un mayor aumento en el recuerdo del orden de las palabras en las fases temprana y tardía del aprendizaje,

Los sujetos en la condición musical mostraron una memoria total de palabras significativamente mejor, y más específicamente, también emparejaron el orden de las palabras en memoria que los sujetos en la condición hablada. Curiosamente, el rendimiento general en la memoria de las palabras se predijo significativamente en la condición de la música mediante el recuerdo correcto del orden de las palabras, enfatizando el papel crítico de la estructura temporal en el aprendizaje y

la recuperación de la información verbal. Los sujetos que tenían mejor memoria de orden de palabras mostraron mejor memoria de palabras en general. Este hallazgo apoya las nociones de que el mecanismo facilitador de la música está impulsado por su estructura temporal que secuencializa y fragmenta las unidades de información no relacionadas en segmentos simples.

7. HALLAZGOS

Se identificó hallazgos en relación con la población neonatal, evidenciando resultados de la estimulación musical desde los inicios de la vida con efectos en la estructura cerebral, al mostrar mayor activación en el hemisferio derecho extendido enfocado en el superior giro temporal, con su pico de activación ubicado en la corteza auditiva primaria (giro temporal transversal), que se extiende hacia la corteza auditiva secundaria. Permitiendo también enfocar acciones educativas en las familias para favorecer el desarrollo de habilidades cognitivas a través de actividades de estimulación musical concretas.

De igual manera se encontró un mejoramiento en el funcionamiento cognitivo en personas con esclerosis múltiple cuando su proceso de rehabilitación se hizo con música. Se encontró que hay una mayor ventaja para recordar palabras cuando se hace cantado que cuando se hace de manera hablada.

8. LIMITACIONES

Inicialmente este proyecto de investigación tenía un diseño metodológico transversal para evaluación de niños en funciones cognitivas y rendimiento en pruebas de ritmo, se tenía elaborado el protocolo incluyendo el consentimiento informado, sin embargo, por razones de la contingencia por la COVID-19 se tuvo que migrar a una metodología de carácter documental, ampliando los conceptos que se tenían inicialmente, para dar un carácter de mayor profundización teórica en la revisión de literatura.

9. CONCLUSIONES

De acuerdo con la literatura se encontraron altos beneficios de la educación musical, especialmente en los primeros años de la infancia porque facilita la adquisición de nuevas destrezas, potencializa las habilidades propias de cada etapa del desarrollo y estimula las funciones cognitivas, además el aprendizaje temprano, intensivo y prolongado de la música promueve habilidades que conducen a cambios estructurales significativos en el cerebro, esto se demostró en los resultados de las pruebas comparativas a nivel de lenguaje, atención, memoria y percepción, aplicadas a niños y adultos, teniendo un mejor desempeño los que habían tenido un entrenamiento musical.

La música tiene efectos positivos en diferentes ámbitos, tales como el desarrollo cognitivo, creativo, intelectual y psicológico de los niños. Se evidenció que la música estimula el hemisferio izquierdo del cerebro, el encargado del aprendizaje, del lenguaje, los números y el uso de la lógica, además de aumentar la capacidad de memoria, atención y concentración de los niños, de ahí la importancia de la enseñanza musical en el currículo educativo colombiano en la educación básica primaria. Es importante el fortalecimiento de las diferentes metodologías para transversalizar el currículo con otras asignaturas, mejorando el DUA, de obligatorio cumplimiento de acuerdo al decreto 1421.

La realización de actividades que involucren la parte melódica favorece la memorización de textos, el mejoramiento de la acentuación de las palabras y dicción en los niños, también el trabajo auditivo con melodía y timbre esto les dará a los estudiantes la capacidad de concentración y aprendizaje de otras lenguas, el desarrollo del ritmo favorece la comprensión de las relaciones matemáticas y permitirte al niño explotar sus habilidades motrices, emotivas. Por ello; es de suma importancia la estimulación neurosensorial con la música en los niños en pro de obtener un mejor e integral desarrollo, y en esta revisión se encuentran argumentos válidos para continuar investigaciones y presentar evidencia contenida en el presente documento sobre los alcances de la enseñanza musical al respecto con resultados en el mejoramiento de competencias.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- B Penhune, V., J Zatorre, R., & C Evans, A. (1998). Cerebellar contributions to motor timing: A PET study of auditory and visual rhythm reproduction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *10*(6), 752–765. Retrieved from <http://www.mendeley.com/research/cerebellar-contributions-motor-timing-pet-study-auditory-visual-rhythm-reproduction-1/>
- Bengtsson, S. L., Ullén, F., Henrik Ehrsson, H., Hashimoto, T., Kito, T., Naito, E., ... Sadato, N. (2009). Listening to rhythms activates motor and premotor cortices. *Cortex*, *45*(1), 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.07.002>
- Bharucha, J. J. (2014). The Cortical Topography of Tonal Structures Underlying Western Music
Author (s): Petr Janata, Jeffrey L. Birk, John D. Van Horn, Marc Leman , Barbara Tillmann, *298*(5601), 2167–2170.
- Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *98*(20), 11818–11823. <https://doi.org/10.1073/pnas.191355898>
- Boso, M., Politi, P., Barale, F., & Emanuele, E. (2006). Neurophysiology and neurobiology of the musical experience. *Functional Neurology*, *21*(4), 187–191.
- Buentello, R., Martínez, A., & Alonso, M. (2010). Música y neurociencias. *Archivos de Neurociencias*, *15*(3), 160–167. Retrieved from <http://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2010/ane103f.pdf>
- Carioti, D., Danelli, L., Guasti, M. T., Gallucci, M., Perugini, M., Steca, P., ... Paulesu, E. (2019). Music Education at School: Too Little and Too Late? Evidence From a Longitudinal Study on Music Training in Preadolescents. *Frontiers in Psychology*, *10*(December), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02704>
- Chen, J. L., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2008). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cerebral Cortex*, *18*(12), 2844–2854. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn042>
- Chen, J. L., Zatorre, R. J., & Penhune, V. B. (2006). Interactions between auditory and dorsal

- premotor cortex during synchronization to musical rhythms. *NeuroImage*, 32(4), 1771–1781. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.04.207>
- Duke, R. A., Cash, C. D., & Allen, S. E. (2011). Focus of attention affects performance of motor skills in music. *Journal of Research in Music Education*, 59(1), 44–55. <https://doi.org/10.1177/0022429410396093>
- Elmer, S., Hänggi, J., Meyer, M., & Jäncke, L. (2013). Increased cortical surface area of the left planum temporale in musicians facilitates the categorization of phonetic and temporal speech sounds. *Cortex*, 49(10), 2812–2821. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2013.03.007>
- Fauvel, B., Groussard, M., Chételat, G., Fouquet, M., Landeau, B., Eustache, F., ... Platel, H. (2014). Morphological brain plasticity induced by musical expertise is accompanied by modulation of functional connectivity at rest. *NeuroImage*, 90, 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.12.065>
- Fuster, J. M. (2010). El paradigma reticular de la memoria cortical, 50(3), 3–10.
- Goldberg, E. (2004). *El cerebro ejecutivo* (Segunda ed). Madrid: Drakontos.
- Grahn, J. A., & Rowe, J. B. (2009). Feeling the beat: Premotor and striatal interactions in musicians and nonmusicians during beat perception. *Journal of Neuroscience*, 29(23), 7540–7548. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2018-08.2009>
- Habibi, A., Damasio, A., Ilari, B., Sachs, M. E., & Damasio, H. (2018). Music training and child development: A review of recent findings from a longitudinal study. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1423(1), 73–81. <https://doi.org/10.1111/nyas.13606>
- Habibi, A., Damasio, A., Ilari, B., Veiga, R., Joshi, A. A., Leahy, R. M., ... Damasio, H. (2018). Childhood music training induces change in micro and macroscopic brain structure: Results from a longitudinal study. *Cerebral Cortex*, 28(12), 4336–4347. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhx286>
- Hall, D. A., Hart, H. C., & Johnsrude, I. S. (2003). Relationships between human auditory cortical structure and function. *Audiology and Neuro-Otology*, 8(1), 1–18. <https://doi.org/10.1159/000067894>
- Hansen, M., Wallentin, M., & Vuust, P. (2013). Working memory and musical competence of

- musicians and non-musicians. *Psychology of Music*, 41(6), 779–793. <https://doi.org/10.1177/0305735612452186>
- Hudziak, J. J., Albaugh, M. D., Ducharme, S., Karama, S., Spottswood, M., Crehan, E., ... Botteron, K. N. (2014). Cortical thickness maturation and duration of music training: Health-promoting activities shape brain development. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 53(11), 1153–1161.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jaac.2014.06.015>
- Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., & Schlaug, G. (2009). The Effects of Musical Training on Structural A Longitudinal Study, 186, 182–186. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04852.x>
- Ireland, K., Iyer, T. A., & Penhune, V. B. (2019). Contributions of age of start, cognitive abilities and practice to musical task performance in childhood. *PLoS ONE*, 14(4), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216119>
- Izquierdo, M. A., Oliver, D. L., & Malmierca, M. S. (2010). [Functional and activity-dependent plasticity mechanisms in the adult and developing auditory brain]. *Revista de Neurologia*, 48(8), 421–429. <https://doi.org/10.33588/rn.4808.2009038>
- Janata, P. (2009). The neural architecture of music-evoked autobiographical memories. *Cerebral Cortex*, 19(11), 2579–2594. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp008>
- Janata, P., Tillmann, B., & Bharucha, J. J. (2002). Listening to polyphonic music recruits domain-general attention and working memory circuits. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 2(2), 121–140. <https://doi.org/10.3758/CABN.2.2.121>
- Koelsch, S. (2010). Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(3), 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.01.002>
- Large, E. W., & Palmer, C. (2002). Perceiving temporal regularity in music. *Cognitive Science*, 26(1), 1–37. [https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(01\)00057-X](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(01)00057-X)
- Lordier, L., Meskaldji, D. E., Grouiller, F., Pittet, M. P., Vollenweider, A., Vasung, L., ... Hüppi, P. S. (2019). Music in premature infants enhances high-level cognitive brain networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(24), 12103–12108. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817536116>

- Lozano Gutierrez, A., & Ostrosky-Solís, F. (2011). Desarrollo de las Funciones Ejecutivas y de la Corteza Prefrontal. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, *11*, 159–172.
- Midorikawa, A., Kawamura, M., & Kezuka, M. (2003). Musical alexia for rhythm notation: A discrepancy between pitch and rhythm. *Neurocase*, *9*(3), 232–238. <https://doi.org/10.1076/neur.9.3.232.15558>
- Ministerio De Educación Nacional. Decreto 1421 de 2017, 29 Agosto 2017 § (2017). Bogotá.
- Muñoz, J. M. M., & Ustárrroz, J. T. (2001). *Rehabilitación neuropsicológica*. Síntesis. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=bajWAAAACAAJ&pgis=1>
- Patel, A. D. (2003). Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, *6*(7), 674–681. <https://doi.org/10.1038/nm1082>
- Perani, D., Saccuman, M. C., Scifo, P., Spada, D., Andreolli, G., Rovelli, R., ... Koelsch, S. (2010). Functional specializations for music processing in the human newborn brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *107*(10), 4758–4763. <https://doi.org/10.1073/pnas.0909074107>
- Peretz, I., & Zatorre, R. J. (2005). Brain Organization for Music Processing. *Annual Review of Psychology*, *56*(1), 89–114. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.56.091103.070225>
- Pérez Aldeguer, S. (2012). Una forma creativa de mejorar la evaluación y clasificar las prácticas en educación musical. *Revista Iberoamericana Sobre Calidad, Eficacia y Cambio En Educación*, *10*(2), 148–158.
- Platel, H., Baron, J. C., Desgranges, B., Bernard, F., & Eustache, F. (2003). Semantic and episodic memory of music are subserved by distinct neural networks. *NeuroImage*, *20*(1), 244–256. [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00287-8](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00287-8)
- Pozo, J. I. (2008). *Aprendices y maestros. La psicología cognitiva del aprendizaje* (Segunda Ed). Madrid: Alianza Editorial.
- Redolar, D. (2014). *Neurociencia Cognitiva* (Primera ed). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Salimpoor, V., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nat Neurosci*, *14*, 257–262.

- Schlaug, G., Forgeard, M., Zhu, L., Norton, A., Norton, A., & Winner, E. (2009). Training-induced neuroplasticity in young children. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*(Cc), 205–208. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04842.x>
- Schön, D., Anton, J., Roth, M., & Besson, M. (2002). An fMRI study of music sightreading. *Neuroreport*, *13*.
- Schön, Daniele, Magne, C., & Besson, M. (2004). The music of speech: Music training facilitates pitch processing in both music and language. *Psychophysiology*, *41*(3), 341–349. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.00172.x>
- Sergent, J., Zuck, E., Terriah, S., & MacDonald, B. (1992). Distributed neural network underlying musical sightreading and keyboard performance. *Science*, *257*.
- Shiffrin, R., & Atkinson, R. (1969). Storage and retrieval processes in long-term memory. *Psychological Review*, *76*(2), 179–193.
- Slevc, L. R., Davey, N. S., Buschkuhl, M., & Jaeggi, S. M. (2016). Tuning the mind: Exploring the connections between musical ability and executive functions. *Cognition*, *152*, 199–211. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.03.017>
- Soria-Urios, G., Duque, P., & García-Moreno, J. M. (2011a). Música y cerebro : fundamentos neurocientíficos y trastornos musicales. *Revista de Neurología*, *52*(1), 45–55.
- Soria-Urios, G., Duque, P., & García-Moreno, J. M. (2011b). Música y cerebro (II): evidencias cerebrales del entrenamiento musical. *Revista de Neurología*, *53*, 739–746.
- Thaut, M. H., Peterson, D. A., McIntosh, G. C., & Hoemberg, V. (2014). Music mnemonics aid verbal memory and induce learning - Related brain plasticity in multiple sclerosis. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*(JUNE), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00395>
- Tirapú-Ustárróz, J., Muñoz-Céspedes, J. M., & Pelegrín-Valero, C. (2002). Funciones ejecutivas : necesidad de una integración conceptual. *Revista de Neurología*, *34*(7), 673–685.
- Waber, D., Moor, C. De, Peter, W., Forbes, C., Botteron, K., Leonard, G., & Milovan, D. (2007). The NIH MRI study of normal brain development: performance of a population based sample of healthy children aged 6 to 18 years on a neuropsychological battery. *Int Neuropsychol Soc.*, *13*, 729–46.

- Zatorre, R. J., Belin, P., & Penhune, V. B. (2002). Structure and function of auditory cortex: Music and speech. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(1), 37–46. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01816-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01816-7)
- Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: Auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(7), 547–558. <https://doi.org/10.1038/nrn2152>
- Zatorre, R. J., Evans, A. C., & Meyer, E. (1994). Neural mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch. *Journal of Neuroscience*, 14(4), 1908–1919. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.14-04-01908.1994>
- 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). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099868>