



Facultad de Psicología

Trabajo de
fin de grado

Modalidad 1
“Trabajos de revisión bibliográfica”

Autor del TFG

Aspectos
neuropsicológicos de la
música

Guillermo Rubén Pérez López

Grado en Psicología

Año 2014

Trabajo de Fin de Grado presentado en la Facultad de Psicología de la Universidad de Santiago de Compostela para la obtención del Grado en Psicología

Resumen

Desde hace aproximadamente dos décadas el estudio de los aspectos neuropsicológicos relacionados con la música ha venido cobrando gran importancia en el ámbito de la Neurociencia. La música constituye un estímulo multimodal que transmite información visual, auditiva y motora a nuestro cerebro, que a su vez, como el lenguaje, cuenta con una red neural específica para su procesamiento. De este modo, la percepción y producción musical implican una gran parte de nuestras capacidades cognitivas, involucrando una amplia cantidad de áreas de activación encefálica.

Las evidencias nos indican que el procesamiento de la música se lleva a cabo de una forma modular, diferenciándose redes neurales específicas para cada componente. El daño congénito o adquirido en estas estructuras implicaría la aparición de diversas patologías como las amusias, las alucinaciones musicales o la distonía focal del músico. Por otro lado, en ocasiones, la misma música es capaz de desencadenar la patología como en el caso de la epilepsia musicogénica.

El efecto Mozart enlazó la música con la mejora en otras tareas cognitivas del ser humano, consiguiendo incrementar la curiosidad sobre los posibles beneficios cognitivos y conductuales que nos puede aportar este arte. Así, han surgido numerosos estudios que relacionan el entrenamiento musical con la mejora en otras habilidades cognitivas, de hecho, las asimetrías neuroanatómicas encontradas entre músicos y no músicos podrían ayudar a asentar las bases científicas de estas mejoras. Parece lógico, entonces, que la música sea usada como terapia en multitud de patologías, y es por esto que su uso está experimentando un gran auge.

Palabras clave:

Cerebro musical. Procesamiento musical. Neuropsicología musical. Amusia. Musicoterapia.

Abstract

Since about two decades, the study of the neuropsychological elements related to the music has been gaining great importance in the neuroscience field. Music is a multimodal stimulus that transfers visual information as well as auditory and motor information to our brain, which at the same time, as the language, has a specific neuronal network for processing. Many cognitive capacities are required for both music perception and production, so this lead to the involvement of a great amount of brain activation areas.

Evidence suggests that music processing is performed in a modular way, in fact, there are specific neural networks for each component. The congenital or acquired damage on these structures could cause disorders such as amusias, musical hallucinations or the musician's focal dystonia. Furthermore, sometimes music is capable of triggering the pathology such as in the case of the musicogenic epilepsy.

The Mozart effect related the music with the improvement in other cognitive tasks of the human being, awaking the curiosity of the possible cognitive and behavioral benefits that this art can offer us. Thereby, there are many studies that are trying to find out the way in which musical training and the improvement in other cognitive abilities are linked, in fact, the neuroanatomical asymmetries that were found between musicians and non-musicians could help establishing the scientific foundations for this improvements. It seems logical, then, that the music could be used as a therapy in many disorders, and that's why it is experiencing a sharp increase in its use.

Keywords:

Musical brain. Music processing. Neuropsychology of music. Amusia. Music therapy.

Índice

Resumen	2
Abstract	3
Índice	4
Introducción	6
Contenido	8
1 Neuropsicología de la percepción y la producción musical	8
1.1 Cualidades del sonido y elementos musicales básicos	8
1.2 Especialización hemisférica en el procesamiento de la música	10
1.3 Modelo neural del procesamiento musical	12
1.4 Percepción musical	14
1.4.1 Procesamiento melódico	15
1.4.2 Procesamiento temporal	18
1.5 Producción musical	20
1.6 Otros factores que inciden en el procesamiento musical	22
1.6.1 Memoria musical	22
1.6.2 Imaginería musical	25
1.6.3 Componente emocional	26
2 Alteraciones neuropsicológicas musicales	28
2.1 Amusias	28
2.1.1 Definición	28
2.1.2 Clasificación y evaluación	29
2.1.3 Etiología y correlatos neuroanatómicos	30
2.1.4 Descripción de casos clínicos	31
2.1.4.1 Pacientes con afasia y amusia	31
2.1.4.2 Pacientes con afasia y mínima afectación musical	32

2.2	Otras alteraciones neuropsicológicas musicales	32
2.2.1	Epilepsia musicogénica.....	33
2.2.2	Alucinaciones musicales.....	34
2.2.3	Distonía focal del músico.....	36
3	Beneficios cognitivos y conductuales de la música	39
3.1	El efecto Mozart	39
3.2	Entrenamiento musical y rendimiento neuropsicológico	41
3.3	Terapias musicales	43
	Conclusiones y consideraciones finales	45
	Referencias bibliográficas	46
	Índice de figuras	60

Introducción

La música ha ocupado siempre un lugar preferente en todas las culturas desde la más remota antigüedad. De hecho, hace más de 30.000 años el hombre ya tocaba flautas de hueso, instrumentos de percusión y birimbaos en todo tipo de rituales, lo que la sitúa como precursora del lenguaje hablado. Es lógico, por tanto, que la música forme parte esencial del conjunto de mecanismos y procesos comunicativos intraespecíficos. Además, al igual que la expresión facial de las emociones, la comunicación emocional de la música es universal.

Esta clara preponderancia filogenética viene acompañada de un diseño ontogenético del ser humano que facilita la audición de los sonidos. De este modo, el oído es el primer órgano en terminar de formarse, permitiendo que los bebés sean sensibles a melodías y ritmos incluso desde la etapa intrauterina.

Teniendo en cuenta esta importancia de la música tanto a nivel filogenético como a nivel ontogenético y, sabiendo que los productos de la cognición humana, entre los que se encuentra la música, tienen su origen en el correcto funcionamiento de nuestro cerebro, se nos presentan cuestiones de interés que justifican una revisión bibliográfica de la literatura neuropsicológica publicada al respecto. Para llevar a cabo esta revisión hemos recopilado diversos artículos científicos básicos, en español e inglés, extraídos de bases de datos como PsycINFO o PubMed apoyadas de google académico. Así mismo hemos manejado diferentes manuales de consulta tal y como se refleja en el apartado bibliográfico de este trabajo.

Puesto que la música emerge antes que el lenguaje hablado y constituye una forma de comunicación universal, sería interesante, en primer lugar, conocer los mecanismos neuropsicológicos implicados en su procesamiento. En los últimos años se han logrado importantes avances en el conocimiento de los procesos cerebrales que subyacen a la música, lo que ha permitido diseñar modelos cognitivos fundamentados en bases neurocientíficas. Como fenómeno auditivo, la música es un evento complejo que va a compartir algunos principios básicos con otros eventos auditivos como el lenguaje hablado, mientras otras propiedades serán específicas de su naturaleza.

Por otro lado, la existencia de un procesamiento diferenciado para los distintos componentes musicales definirá alteraciones que afectan específicamente a estos componentes. De este modo nos encontraremos con pacientes aquejados con patologías de una gran diversidad tipológica. Esta diversidad en las alteraciones neuropsicológicas

musicales implicará también una afectación multimodal de las vidas de los sujetos, llegando, en algunos casos, a truncar carreras musicales exitosas.

Es lógico situar a los músicos como modelo ideal para el estudio de todos los aspectos neuropsicológicos relacionados con la música. Constituyen un grupo poblacional excelente para la investigación de patologías relacionadas con la percepción o la producción musical, pero también constituyen un conjunto de interés para observar los cambios neurales tanto funcionales como estructurales que se producen en sus cerebros, implicados desde edades tempranas en el aprendizaje y práctica continua de complejas habilidades auditivas y motoras. Estas diferencias multirregionales entre las personas con formación musical y aquellas carentes de la misma podrían ser capaces de trascender las habilidades musicales e influir también en otras capacidades cognitivas del ser humano. De este modo, la música se está utilizando cada vez más como terapia en multitud de patologías, basándose en estudios que destacan sus efectos beneficiosos sobre diferentes dominios neuropsicológicos.

En función de todo esto, hemos procedido a estructurar este trabajo de revisión bibliográfica en tres grandes partes. La primera de ellas reflejará los aspectos neuropsicológicos básicos implicados en la percepción y producción de la música. En la misma abordaremos diversas características del procesamiento musical desde el modelo neural más aceptado propuesto hasta la fecha. Dedicaremos una segunda parte a analizar cuatro de las alteraciones neurológicas musicales de más calado, señalando algunos de los casos más curiosos descritos en la literatura para, por último, terminar con una tercera parte en la que destacaremos los beneficios cognitivos y conductuales que la música puede aportarnos, considerando, así mismo, sus prometedoras aplicaciones prácticas.

Contenido

1 Neuropsicología de la percepción y la producción musical

La música es un fenómeno ciertamente complejo y extremadamente difícil de definir. Aún así, los intentos por definirla han sido y son numerosos. La Real Academia Española (2001), por ejemplo, nos define la música como el conjunto de melodía, ritmo y armonía combinados y también la describe como una sucesión de sonidos modulados para recrear el oído. Cualquiera de estas definiciones nos indican, por un lado, que la música es un lenguaje organizado mediante un sistema de reglas que coordinan una serie de elementos básicos, mientras que por otro lado nos señalan que la música también depende del contexto cultural e histórico de una sociedad y además, de la experiencia individual de cada sujeto, por lo que clasificar como absoluta cualquier definición no tendría sentido.

El interés por conocer las áreas, los procesos y los mecanismos neurales que subyacen a nuestras interacciones con la música se ha incrementado de forma notable en los últimos años. Como veremos, en la percepción y producción musical están implicadas gran parte de nuestras capacidades cognitivas, involucrando principalmente áreas del córtex auditivo y del córtex motor. Por otro lado, la música también produce en nosotros respuestas emocionales que implican la activación de áreas corticales y subcorticales.

1.1 Cualidades del sonido y elementos musicales básicos

Para una mejor comprensión de este fenómeno se nos hace indispensable llevar a cabo una breve introducción donde definamos las principales cualidades del sonido y algunos elementos musicales básicos. Entre las cualidades fundamentales (Grabner, 2001; Riemann, 2005) estaría la *intensidad*, que sería la que nos permite diferenciar si un sonido es fuerte o débil en relación a otro. En nuestra vida diaria podemos encontrarnos con intensidades de hasta 140 decibelios (dB), propios de una pista de despegue, o de 60 dB, típicos en una conversación convencional. Otras dos cualidades serían la *duración*, que refleja la permanencia de un sonido en el tiempo, y el *timbre*, que nos permite diferenciar el objeto o instrumento que produce el sonido.

El timbre está originado por la presencia, junto a un sonido principal, de una serie de sonidos simples más agudos denominados armónicos y cuyas frecuencias son múltiplos enteros de ese sonido principal al que acompañan. El número de estos armónicos depende del cuerpo sonoro que produzca el sonido y de la manera de excitar ese cuerpo sonoro, así encontramos las diferencias de sonoridad típicas entre instrumentos musicales como el clarinete, cuyo sonido aterciopelado es debido a la reproducción de una serie impar de armónicos asociada a cada sonido fundamental, mientras que instrumentos como el oboe o el violín reproducen toda la serie armónica (pares e impares), dando lugar a un incremento en el brillo del sonido.

Las dos cualidades del sonido que más se han estudiado de cara al procesamiento cognitivo de la música son la *altura o tono* y el *ritmo/metro/tempo*. En cuanto a la *altura o tono* hay que decir que es la cualidad que nos permite diferenciar si ese sonido es agudo (alto) o grave (bajo) y que viene determinado por la frecuencia de las vibraciones del cuerpo sonoro que lo origina, además de la distancia del receptor a la fuente del sonido. La secuenciación de estos tonos sería la que nos permitiría escuchar una *melodía*, que podríamos definir como cualquier grupo de notas que se perciben como una sucesión coherente. Todas las melodías cuentan con un *contorno*, que se refiere a las pautas de subidas y bajadas de los tonos de esa melodía, y con unas distancias entre los tonos que se denominan *intervalos*. En ocasiones, estos intervalos nos resultan “desagradables” al oído y entonces podríamos hablar de *disonancia*.

Como hemos mencionado, la otra cualidad sobre la que más se ha trabajado es la distribución temporal de la música, que viene definida por los conceptos de ritmo/metro/tempo. Entendemos por *ritmo* la sucesión de figuras que siguen unos patrones regulares de repetición de sonidos fuertes y débiles, que vienen marcados por los acentos incluidos en los compases. Estos compases constituyen el *metro* y se utilizan para dividir una pieza musical en fragmentos de igual duración. Por último el concepto de *tempo* se refiere a la velocidad a la que se interpretan ese conjunto de sonidos y viene indicado por términos lingüísticos o indicaciones metronómicas.

Para terminar esta introducción pasaremos por último a definir brevemente varios elementos musicales, necesarios para una comprensión holística del proceso. Las *escalas musicales* son sucesiones de sonidos en sentido ascendente o descendente. Constituyen un sistema jerárquico basado en las distancias entre esos sonidos, que están en relación a una nota principal que es el origen y da nombre a la escala. La organización de las notas de las escalas vendría definida por la *modalidad*. Para los objetivos de esta revisión, nos interesa

diferenciar, básicamente, entre dos tipos modalidad: *mayor*, con una distancia más grande entre el primer y tercer grado de la escala (dos tonos) y *menor*, con una distancia más corta entre esos mismos grados (un tono y medio). Veremos más adelante como estas dos modalidades podrían ser capaces de influir en nuestro estado emocional.

Las escalas, como hemos mencionado, son sucesiones de sonidos que escuchamos de forma independiente pero la música, como todos sabemos, en la inmensa mayoría de las ocasiones se percibe y se interpreta de forma simultánea, constituyendo así la *armonía*, cuya base se sustenta en los *acordes musicales*, definidos como conjuntos de tres o más notas que suenan al mismo tiempo.

1.2 Especialización hemisférica en el procesamiento de la música

Existe una creencia general, desde una división funcional del cerebro, de que la principal tarea del hemisferio izquierdo sería la representación lógica de la realidad y la comunicación con el mundo exterior, mientras que la ocupación del hemisferio derecho, en contraste, se dedicaría a la comprensión de los patrones y las complejas relaciones que no pueden ser definidas con precisión y no pueden ser lógicas, esenciales para la actividad creativa (Springer y Deutsch, 1999). Como veremos, no es tan sencillo dividir el cerebro en dos partes puesto que es un todo no sólo estructural sino también funcionalmente. En palabras de Rita Carter “Los dos hemisferios son dos individuos distintos dentro de un mismo cráneo” (Carter, 1998).

A lo largo de la historia y en todos los rincones del mundo, la especie humana ha desarrollado la habilidad de la comunicación entre los individuos, utilizando para dicho fin el lenguaje y la música. Desde una perspectiva funcional y evolutiva existen numerosas similitudes entre ambos procesos y se ha intentado establecer una diferenciación hemisférica para estas dos habilidades. A finales del siglo XIX surge el concepto de dominancia hemisférica para la función lingüística y los descubrimientos de Broca sobre la afasia (pérdida de capacidad para producir o comprender el lenguaje oral) y de Dejerine sobre la alexia y la agrafia (pérdida de las capacidades de lectura y escritura, respectivamente), llevaron a atribuir al hemisferio izquierdo las capacidades de procesamiento y producción del lenguaje (Baeck, 2002). En lo que respecta a la música, ocurrió algo similar al observarse las consecuencias en el procesamiento musical del daño cerebral en el lóbulo temporal derecho (Zatorre, 1998). Además, las descripciones de afasia sin amusia y de amusia sin afasia también nos sugieren que la música y el lenguaje son procesos funcionalmente diferentes que

requieren un conjunto independiente de operaciones cognitivas con sustratos neurales específicos (Laws, 2010; Soria-Urios, Duque y García-Moreno, 2011a).

Continuando con estudios sobre lateralización, mediante técnicas de neuroimagen se ha podido observar que la estimulación verbal activaba áreas del hemisferio izquierdo, mientras que los sonidos musicales activaban esencialmente áreas del hemisferio derecho (Mazziota, Phelps, Carson y Kuhl, 1982). Sorprendentemente este patrón observado reflejaba también la estrategia de escucha utilizada, puesto que aquellos sujetos que decían haber procesado las melodías de forma analítica o mediante imágenes visuales mostraban una mayor activación del hemisferio izquierdo. Por el contrario, en aquellos sujetos que escuchaban los sonidos sin activar ninguna estrategia cognitiva concreta, se observó una mayor activación del hemisferio derecho, evidencia que desdibujaba la idea de exclusividad hemisférica.

El concepto de lateralización hemisférica, de hecho, ha ido evolucionando con el tiempo, orientándose a que no se trata tanto de localizar funciones en un hemisferio de un modo holístico, sino de definir los componentes implicados en cada función cognitiva y los sustratos neurales subyacentes (Zatorre, 1998). De este modo se ha podido observar, por ejemplo, la activación del área de Broca y su homóloga derecha en lo referente al procesamiento sintáctico musical. La hipótesis explicativa de este fenómeno se orienta hacia un solapamiento de áreas de procesamiento sintáctico, que sería diferente en lenguaje y música (Patel, 2003).

También con respecto a la lectura, sabemos que existen diferencias entre la lectura de partituras musicales y la lectura de letras y números. Los estudios de pacientes con daño cerebral han mostrado que lesiones en estructuras del hemisferio izquierdo provocan alexia musical (Midorikawa, Kawamura y Kezuka, 2003; Schön, Semenza y Denes, 2001). Otros estudios con Resonancia Magnética Funcional (RMf) han señalado una mayor activación de regiones parietales derechas cuando se descifra una partitura frente a un piano (Schön y Besson, 2002). La implicación de áreas parietales podría ser debida a la configuración espacial de adoptan las notas musicales escritas en una partitura.

Parece, por tanto, que la cooperación interhemisférica es necesaria tanto para el lenguaje como para la música. En la función lingüística, aunque la mayor parte de los procesos cognitivos se encuentran lateralizados hacia el hemisferio izquierdo, componentes como la prosodia, que requieren una mayor complejidad, implican especialmente al hemisferio derecho, evidenciando la necesidad de una cooperación interhemisférica (Altenmüller, Bangert, Liebert y Gruhn, 2000). Por otra parte en el proceso de interpretación de la música, parece que el hemisferio derecho se asociaría con aspectos como los de entonación, prosodia

o comunicación emocional, mientras que el hemisferio izquierdo se relacionaría con las habilidades cognitivas esenciales para la interpretación de la información musical (Panksepp y Bernatzky, 2002).

Antes de finalizar este apartado debemos mencionar que el plano temporal izquierdo parece estar muy relacionado con el análisis de acústicas innatas para el habla (cambios rápidos en la frecuencia o amplitud del sonido), de hecho, Dehaene-Lambertz, Dehaene y Hertz-Pannier (2002) evidenciaron que el papel que esta área ocupa en cuanto al procesamiento del lenguaje ya se establece en la infancia. Este trabajo fue el primero en establecer la asimetría cerebral para el procesamiento del habla (mayor tamaño del lóbulo temporal izquierdo) mucho antes de que un niño empiece a hablar y pueda entender el lenguaje. Pero esta región no sólo es importante para el habla sino también para la música, ya que diferentes estudios han encontrado que el plano temporal izquierdo se activa igualmente ante sonidos lingüísticos y musicales (Belin *et al.*, 1998; Binder, Frost, Hammeke, Rao y Cox, 1996; Zatorre, Belin y Penhune, 2002), mostrando una simetría en la activación del giro temporal superior, frente a una activación asimétrica de áreas más ventrales y anteriores como el surco temporal superior (Binder y Rao, 1994; Binder *et al.*, 1996).

A la vista de estos resultados, aún teniendo en cuenta las asimetrías neuroanatómicas, podríamos decir que la música y el lenguaje comparten muchas zonas neurales de activación, de hecho, diversos autores han sugerido que tanto el procesamiento de la información musical como el procesamiento de la información lingüística se basaría en un sistema modular de redes solapadas (Friederici, 2002; Koelsch, Fritz, Schulze, Alsop y Schlaug, 2005; Patel, 2003).

Por otro lado, la cooperación interhemisférica parece estar siempre presente en un grado u otro sin olvidarnos de que, de cara a esta activación diferencial de los distintos hemisferios, debemos tener en cuenta también los conocimientos y la óptica de las personas que se exponen a los eventos musicales, pues una persona que utilice estrategias más analíticas con la música incrementará la activación del hemisferio izquierdo en mayor medida que la persona que no haga un análisis en profundidad del contenido musical.

1.3 Modelo neural del procesamiento musical

Una vez dilucidado el concepto de lateralidad hemisférica nos adentraremos a continuación en el procesamiento específico de la música. Este procesamiento comienza en el momento en que un sonido alcanza el tímpano. A partir de ahí se va transformando en una

compleja cascada de eventos mecánicos, químicos y neurales que aterrizan finalmente en la corteza cerebral, donde distintas áreas encefálicas llevan a cabo el procesamiento de sus componentes. Según la teoría modular de la mente (Fodor, 1983), el procesamiento de la información que recibimos en nuestro cerebro se llevaría a cabo mediante módulos, los cuales contarían con unas características básicas: especificidad neuronal, “empaquetamiento” de la información, especificidad para una determinada área cognitiva, procesamiento automático, rapidez y, en algunos casos, carácter innato. El procesamiento de la música podría cumplir estos requisitos, como veremos, y ser modular. Además, parece que existen alteraciones selectivas de los componentes musicales, lo que apoyaría esta hipótesis.

El primer modelo cognitivo del procesamiento musical lo propuso August Knoblauch (1836-1919), conocido médico y anatomista alemán, pero el modelo más extendido actualmente es el propuesto por Peretz y Coltheart (2003), desarrollado a partir de pacientes con daño cerebral y basado en melodías monofónicas (Figura 1).

Según estos autores, cuando escuchamos una canción se genera una entrada acústica, un estímulo compuesto por aferencias tonales, rítmicas, líricas...que entra por la vía sensorial para ser procesado mediante un primer módulo general de análisis acústico. Desde ahí, el sistema de procesamiento del lenguaje se encargaría del análisis de la letra de la canción mientras que el componente musical sería analizado mediante dos subsistemas que operan de modo independiente y en paralelo; el *subsistema melódico*, que se encargaría del procesamiento de la melodía a través del análisis del contorno y posteriormente del intervalo para llevarnos a la codificación del tono y el *subsistema temporal*, que se encargaría del procesamiento del tiempo mediante el análisis del ritmo (duración de las notas) y de la métrica o compás (partes fuertes y débiles).

La información resultante de ambos subsistemas se enviaría al léxico musical, que es el almacén donde guardamos toda la información musical que vamos recibiendo a lo largo de nuestra vida. Este almacén nos proporcionaría el reconocimiento, si fuera el caso, de esa canción (Peretz *et al.*, 2009). El léxico musical también englobaría la memoria musical, de forma que cuando el léxico musical está dañado no sólo no se podrían reconocer melodías familiares sino que tampoco sería posible grabar las nuevas.

La salida del léxico musical puede transmitirse a varios componentes: a) activación de los léxicos fonológicos (entrada y salida) para la recuperación de las letras de las melodías; b) programación vocal (fonología y articulación) para el canto; c) activación de funciones motoras para la ejecución musical y d) activación de memorias asociativas multimodales para la recuperación de material no musical (título de la obra, contexto de un concierto, emociones

relacionadas con una melodía, recuerdo de un viaje realizado...). En cuanto a la ruta emocional, se ha sugerido que es independiente del análisis no emocional de la música, de esta manera sería susceptible al daño selectivo (Zatorre, 1984).

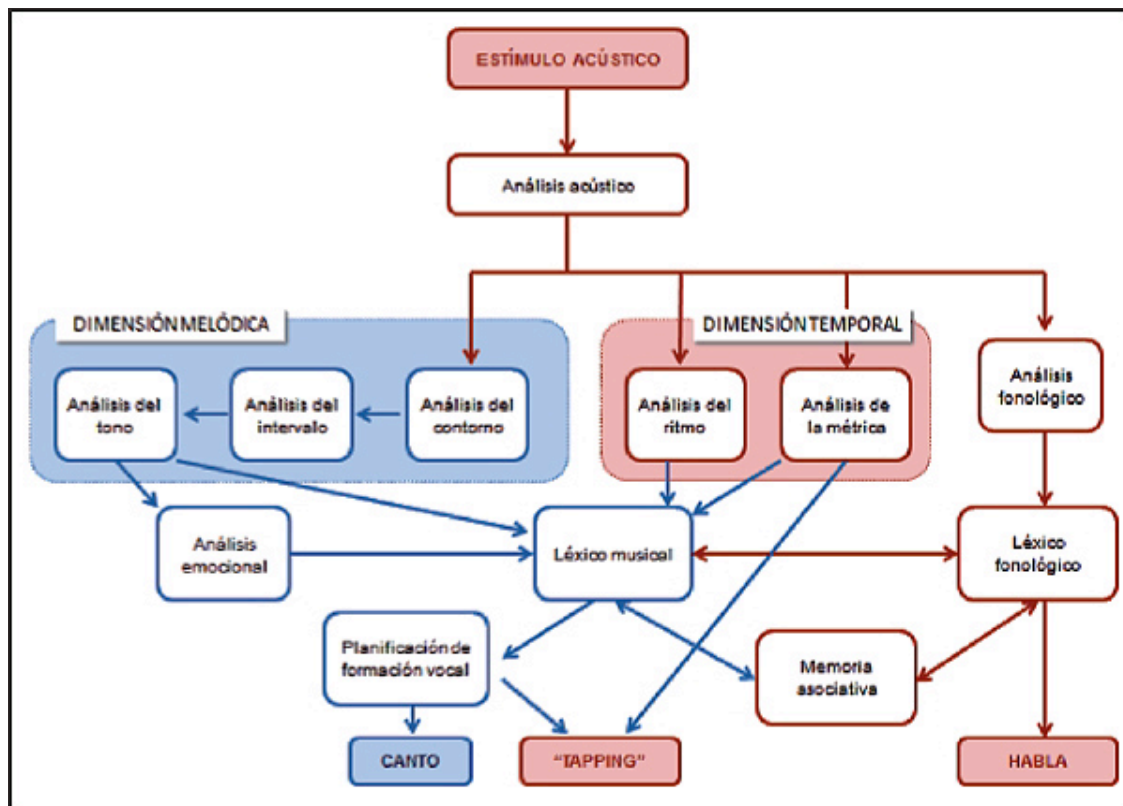


Figura 1. Modelo neural del procesamiento musical. El procesamiento musical es complejo e involucra numerosas conexiones entre diferentes áreas. El análisis del estímulo musical se divide en una dimensión melódica y una dimensión temporal, pero finalmente ambas confluyen en el repertorio o léxico musical, incluyendo el análisis del lenguaje y de la expresión de emociones.

Resulta esencial disponer de modelos teóricos basados en la evidencia científica que identifiquen los componentes implicados en el procesamiento musical, así como conocer sus posibles interacciones, y, en este sentido, el modelo de Peretz y Coltheart (2003) es un modelo que refleja muy bien los aspectos del procesamiento de la música, además se ha validado con bases neurocientíficas mediante estudios de Tomografía por Emisión de Positrones (PET) y RMf (Groussard *et al.*, 2010; Loui y Schlaug, 2009; Salimpoor, Benovoy, Larcher, Dagher y Zatorre, 2011).

1.4 Percepción musical

Una vez revisado el modelo más extendido sobre el procesamiento modular de la música, pasaremos a describir más en detalle la forma en cómo nuestro cerebro lleva a cabo la percepción musical. Al percibir la música en nuestro oído, la señal mecánica en forma de

ondas sonoras se transduce a una señal electroquímica en el órgano de Corti, que se envía a través del tallo cerebral y el mesencéfalo hasta llegar al córtex auditivo primario (Áreas de Brodmann 41 y 42), que procesaría elementos como la frecuencia e intensidad de ese sonido y al córtex auditivo secundario (Área de Brodmann 22), que se encargaría de identificar patrones rítmicos, melódicos o armónicos (Izquierdo, Oliver y Malmierca, 2009) (Figura 2).

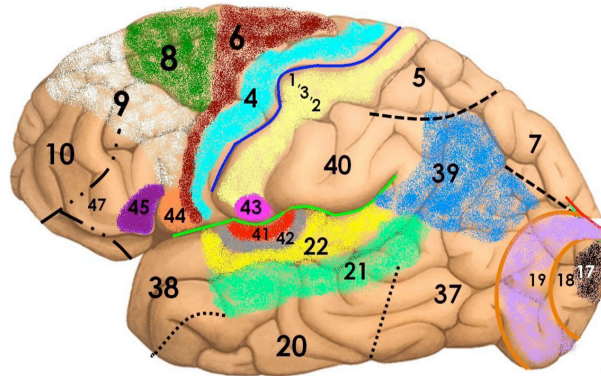


Figura 2. Áreas de Brodmann. El córtex auditivo primario estaría situado en las áreas 41 (color rojo) y 42 (color gris) mientras que el córtex auditivo secundario ocuparía el área 22 (color amarillo).

Una vez situados en el encéfalo, el procesamiento neurocognitivo de la música supone una interacción de múltiples aspectos neuropsicológicos que tienen que actuar de forma paralela. Con respecto a la percepción musical, la literatura neuropsicológica, como hemos visto, es más consistente con la visión de que ésta, está basada en dos procesamientos distintos llevados a cabo por dos subsistemas neurales diferentes; organización de la melodía (tono) y organización temporal.

1.4.1 Procesamiento melódico

Hemos visto que la cooperación interhemisférica es importante de cara al procesamiento de la música, aún así, existen estudios que indican que la percepción musical de canciones con letra activaría regiones temporales de ambos hemisferios, mientras que las melodías sólo activarían el lóbulo temporal derecho (Sánchez *et al.*, 2011). Esto nos hace pensar que la colaboración interhemisférica no es incompatible con cierta especialización en lo que se refiere al procesamiento de la música. De hecho, las evidencias apuntan a que el lóbulo temporal derecho juega un papel importante en cuanto al procesamiento de una melodía, ya que el daño en esta estructura provoca un mayor déficit en este procesamiento que un daño contralateral. Concretamente se ha visto que el daño en la parte anterolateral derecha del giro de Heschl (Córtex auditivo primario) provoca dificultades en la percepción del tono (Tramo,

Shah y Braidá, 2002; Zatorre, 1988) así como una elevación del umbral para discriminar la dirección de la melodía (Johnsrude, Penhune y Zatorre, 2000).

Tal y como hemos visto en el modelo modular de Peretz y Coltheart (2003), el sistema melódico procesaría, en primer lugar, información sobre el contorno de una melodía y seguidamente información sobre los intervalos para llegar a codificar los tonos. A este respecto, los resultados de las investigaciones señalan que cuando los oyentes dependen sólo del contorno para discriminar una melodía, el giro temporal superior derecho juega un papel crítico (Figura 3) mientras que cuando la información sobre el contorno no está disponible y se requiere información sobre los intervalos para codificar los tonos, los lóbulos temporales de ambos hemisferios parecen estar implicados (Ayotte, Peretz, Rousseau, Bard y Bojanowski, 2000; Peretz y Zatorre, 2005; Vignolo, 2003), lo que nos puede dar una visión del papel más analítico que llevaría a cabo el hemisferio izquierdo, como hemos apuntado anteriormente.

Podríamos hacer también una división en cuanto al eje antero-posterior del córtex auditivo ya que, según la mayoría de estudios, parece que las regiones más posteriores estarían implicadas en el procesamiento de la altura de las notas, mientras que las regiones anteriores serían importantes para las variaciones de altura entre las diferentes notas de una melodía (Warren, Uppenkamp, Patterson y Griffiths, 2003). También se ha podido observar, gracias a técnicas de neuroimagen, la implicación de áreas posteriores del córtex auditivo secundario en operaciones implicadas en el procesamiento de las relaciones entre la melodía mientras ésta va cambiando, especialmente si estos cambios son pequeños (Hall *et al.*, 2002; Hart Palmer y Hall, 2003; Thivard, Belin, Zibovicius, Poline y Samson, 2000).

En cuanto al procesamiento de elementos musicales como las escalas, las evidencias apoyan la existencia de redes neurales que están especializadas en el procesamiento de las estructuras de las escalas dentro de las melodías, pero sus localizaciones aún no han sido determinadas (Janata, Birk, Van Horn, Leman, Tillmann y Bharucha, 2002). Con respecto al procesamiento de acordes, decir que existen pocos estudios al respecto, algunos de los cuales indican que la percepción de las relaciones tonales en los acordes funciona de modo similar a la percepción de los intervalos entre notas sucesivas, aunque la adquisición de la jerarquía armónica aparecería más tarde en el desarrollo, en torno a los 5 años (Koelsch *et al.*, 2003; Trainor y Trehub, 1992).

Hay dos últimas características musicales que, debido a su mayor exterioridad en nuestra vida diaria, han sido algo más estudiadas que el resto. Se trataría de las desviaciones de expectativas armónicas y de las disonancias. Nuestra formación y nuestra cultura nos

permiten predecir las posibles rutas futuras que tomará una secuencia musical, de este modo, cuando una melodía no satisface nuestro esquema cultural, nos resulta extraño y nos sentimos incómodos, puesto que suena algo que no esperábamos. Esto es a lo que nos referimos cuando hablamos de desviaciones de expectativas armónicas. Vienen determinadas culturalmente y sus correlatos neurales parecen estar situados en áreas frontales inferiores bilaterales (opérculo frontal y área de Broca en el hemisferio izquierdo) (Koelsch *et al.*, 2002; Maess, Koelsch y Friederici 2001; Regnault, Bigand y Besson, 2001; Tillmann, Janata y Bharucha 2003) (Figura 4).

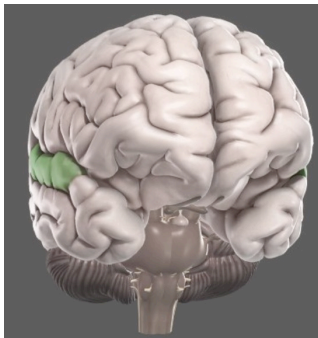


Figura 3. Giro temporal superior derecho. Área crítica implicada en el procesamiento del contorno melódico.



Figura 4. Área de Broca. Área implicada, junto con el opérculo frontal inferior derecho, en el procesamiento de las desviaciones de expectativas armónicas.

En cuanto a la disonancia, fenómeno que se da cuando la producción de varios sonidos nos resulta desagradable al oído, las evidencias nos indican que su procesamiento se llevaría a cabo en el giro temporal superior bilateralmente, concretamente en el giro de Heschl (Fishman, Volkov, Noh, Garell y Bakken, 2001).

A la vista de la información presentada podríamos extraer como conclusión que el daño en el hemisferio derecho (giro temporal superior) es más crítico a la hora del procesamiento de melodías, pero existe una clara intervención interhemisférica cuando falta información como la del contorno melódico, cuando se rompen nuestras expectativas armónicas (determinadas culturalmente) o cuando se producen disonancias. Por otro lado, teniendo en cuenta que la disonancia puede contar con múltiples grados según el número de notas que entren en contraste, y dado que un nivel alto de disonancia nos haría perder la estructura de la música, sería interesante, de cara al futuro, llegar a conocer el nivel de disonancia crítico a partir del cual no se pueda percibir una correcta organización de la música.

Por último, señalar la posible existencia de un eje antero-posterior funcional del giro temporal superior derecho. Parece que las áreas más posteriores de este giro se encargarían de funciones más básicas como el procesamiento de la altura de una nota, mientras que las

regiones anteriores estarían implicadas en tareas más elaboradas como las de descifrar las variaciones de altura entre distintas notas. Esto es congruente con los patrones de maduración encefálica, que otorgan a las partes anteriores funciones más avanzadas evolutivamente.

1.4.2 Procesamiento temporal

Siempre ha existido un extenso debate teórico respecto a si el procesamiento melódico y el temporal implicarían formas de organización distintas o formarían parte de una misma entidad, pero las evidencias más recientes sobre esta cuestión apuntan a que el procesamiento de los elementos temporales y los vinculados con las relaciones entre los tonos es llevado a cabo por dos sistemas neurales distintos (Di Pietro, Lagarano, Leeman y Schnider, 2004).

Teniendo en consideración estas evidencias, el siguiente aspecto que trataremos será la cuestión de la lateralización para el procesamiento temporal. A este respecto, diversos estudios han evidenciado que la lateralización hemisférica en la organización temporal de la música no es tan clara como para el caso de la organización melódica, donde, como hemos visto, la información sobre el contorno estaría representada en el hemisferio derecho mientras que la información interválica implicaría también al hemisferio izquierdo. Estos estudios han encontrado evidencias de alteraciones del ritmo en pacientes con daño tanto en el hemisferio izquierdo como en el derecho con una amplia representación cerebral (Foxton, Nandy y Griffiths, 2006; Peretz, 1990). Aunque la lateralización no sea tan clara como en el procesamiento melódico, como veremos a continuación las evidencias en este campo indican cierta diferenciación hemisférica.

Tal y como hemos visto en el modelo modular del procesamiento musical de Peretz y Coltheart (2003), la organización temporal de una pieza musical se basaría en dos relaciones fundamentales: por un lado fraccionar una secuencia en grupos basándonos en su duración temporal y, por otro lado, la extracción de una regularidad temporal subyacente o compás (metro, tiempos fuertes y débiles).

Existen evidencias neuropsicológicas que apoyan un procesamiento diferenciado de estos dos aspectos del ritmo de una pieza musical, de forma que el hemisferio izquierdo se ocuparía del agrupamiento temporal mientras que el hemisferio derecho controlaría mejor el metro (Di Pietro *et al.*, 2004; Vignolo, 2003). Además se ha observado la implicación del córtex auditivo derecho en el procesamiento temporal, puesto que pacientes con lesiones en el giro temporal superior derecho no eran capaces de mantener un pulso rítmico constante, aunque sí podían reproducir patrones rítmicos irregulares (Fries y Swihart 1990; Wilson, Pressing y Wales, 2002).

Como hemos comentado al inicio de este apartado, las evidencias apuntan a una amplia representación cerebral en cuanto a las áreas implicadas en el procesamiento temporal (Foxton *et al.*, 2006; Peretz, 1990). De esta manera, no sólo estarían involucradas las áreas auditivas, sino que también participaría un *sistema supramodal de temporización* integrado por el cerebelo y los ganglios basales (Janata y Grafton, 2003; Penhune y Doyon, 2002; Penhune, Zatorre y Evans, 1998) (Figura 5), la corteza premotora dorsal, el área motora suplementaria (AMS) y el córtex parietal (Figura 6) (Halsband, Ito, Tanji y Freund, 1993). Todas estas áreas estarían implicadas no sólo en la percepción temporal, sino también en la producción del ritmo.

La implicación de áreas motoras en este caso parece lógica, puesto que su activación ha sido observada en tareas de golpeteo motoras y, ya que las tareas de producción tienen paralelismos con las tareas de percepción, cabría sugerir la presencia de un fuerte componente motor en la representación mental del ritmo musical. Por otro lado, a la vista de estas evidencias también podríamos concluir lo que otros estudios han mostrado: la existencia de fuertes interacciones entre el sistema auditivo y el motor para el análisis del ritmo, que se activan cuando escuchamos música o la imaginamos (Chen, Zatorre y Penhune, 2006; Penhune *et al.*, 1998; Soria-Urios *et al.*, 2011a).

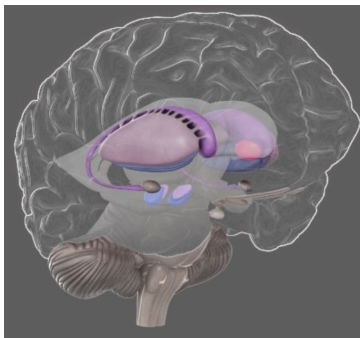


Figura 5. Sistema Supramodal de temporización. Formado por los ganglios basales y el cerebelo.

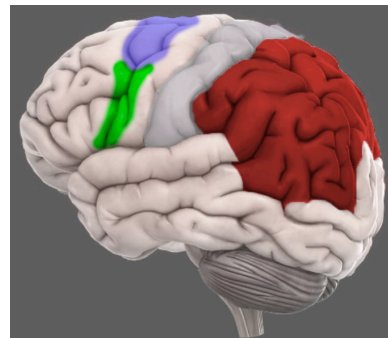


Figura 6. Áreas implicadas en la percepción y producción del ritmo musical. Córtex premotor dorsal (verde), AMS (azul) y córtex parietal (rojo).

Para finalizar podemos concluir que, a la vista de las evidencias, el procesamiento de la melodía sería independiente del procesamiento temporal. Además, este procesamiento temporal operaría mediante unas redes neurales distintas en cada hemisferio, que controlarían la duración de las notas por un lado y el metro por otro. Por último, se ha evidenciado una interacción entre áreas auditivas y motoras tanto para la percepción como para la producción del ritmo, donde cerebelo y ganglios basales tienen un papel central.

1.5 Producción musical

Una vez adquirida una visión general de cómo se llevaría a cabo la percepción musical en nuestro cerebro, pasaremos ahora a describir las claves fundamentales de la producción musical. En primer lugar debemos continuar destacando la estrecha relación que existe entre procesos de entrada y salida. Basta con observar la activación de áreas motoras de pianistas mientras escuchan a otros pianistas profesionales, lo que reflejaría un mecanismo importante para la imitación y el aprendizaje (Haueisen y Knösche, 2001).

La interpretación de la música combina diferentes y veloces tareas motoras con elaboradas operaciones cognitivas. En concreto, de cara a la ejecución de una pieza musical suelen diferenciarse tres componentes básicos: la *interpretación conceptual* de la obra, la *planificación de la actuación* y la *generación de los movimientos* pertinentes (Zatorre, Chen y Penhune, 2007). En cuanto a los dos primeros componentes, para trasladar la interpretación y el plan de producción de una obra a una actuación final, son necesarios tres controles motores básicos; *coordinación*, que implica una buena organización del ritmo musical, *secuenciación* y *organización espacial del movimiento*. De este modo un músico podría llegar a tocar las distintas notas en su instrumento (Gabrielsson, 1999; Palmer, 1997).

En cuanto a los correlatos neuroanatómicos de estos tres componentes, la coordinación y secuenciación motora parecen estar relacionadas con el cerebelo, los ganglios basales, el AMS y el córtex premotor dorsal, además, la secuenciación parece también implicar al córtex prefrontal (Figura 7). Por último, la organización espacial de los movimientos para tocar un instrumento implicaría la integración de información espacial, sensorial y motora, incrementando, por tanto, la activación del córtex parietal, sensoriomotor y premotor (Zatorre *et al.*, 2007).

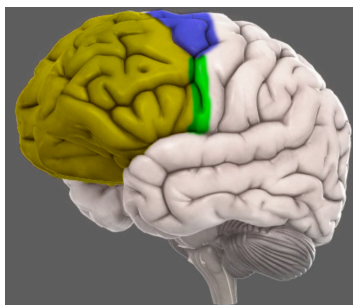


Figura 7. Áreas implicadas en la secuenciación motora. Corteza prefrontal (amarillo), AMS (azul) y corteza premotor dorsal (verde).

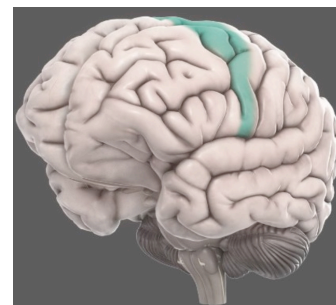


Figura 8. Corteza Premotor. Nexo de unión entre el sistema auditivo y el motor.

La integración de estos tres tipos de información, que se produce también cuando escuchamos música, resulta fundamental para poder ejecutar los movimientos correctamente

cuando tocamos un instrumento musical. Unas de las interacciones más estudiadas son las que se producen entre el sistema auditivo y el sistema motor (auditivomotoras), diferenciándose dos tipos: la *proalimentación*, a través de la cual el sistema auditivo lleva a cabo una actuación predictiva y la *retroalimentación*, mediante la cual al tocar o cantar, los músicos serían capaces de realizar los reajustes necesarios en sus actos motores (Large y Palmer, 2002). Los correlatos de activación neural han evidenciado que el nexo de unión entre estos dos sistemas sería el córtex premotor (Figura 8), que cuenta con tres regiones diferenciadas que se encargarían de procesar distintos componentes. Por un lado la *parte ventral*, junto con regiones del giro inferoposterior, sería importante para el procesamiento de sonidos relacionados con el acto motor, teniendo en cuenta que para que este proceso se lleve a cabo es necesario tener identificada una relación sonido-acción (Zatorre *et al.*, 2007). Por otro lado la *parte dorsal* estaría implicada en la extracción de información temporal y, la *parte medial*, junto con el área somatosensorial y el IV lóbulo del cerebelo se activaría con sonidos no asociados a acciones motoras, es decir, lo que entendemos por escucha pasiva (Chen, Penhune y Zatorre, 2008).

Por último, como exponente máximo de las integraciones entre los sistemas auditivo, visoespacial y motor, tenemos la lectura de partituras musicales. La lectura musical es, como hemos visto en apartados anteriores, diferente de la lectura de letras y números, puesto que requiere del procesamiento de gran cantidad de información (tono y duración de las notas, clave y compás, anticipación sonora y generación de un plan motor). Es lógico pensar entonces que la activación cortical sería amplia e incluiría la participación de regiones temporooccipitales para el control del tono y factores visoespaciales que permitirían la correcta ejecución motora de las notas que se están leyendo (Midorikawa *et al.*, 2003; Schön, Anton, Roth y Besson 2002; Sergent *et al.*, 1992). Además, el córtex parietal superior también se activaría en respuesta a la integración de información visual y auditiva (Sergent, Zuck, Terriah y McDonald, 1992).

Hemos visto, por tanto, que la producción musical requeriría tres componentes básicos: la interpretación, la planificación y la generación de los movimientos. Además, sería necesaria una coordinación de los sistemas auditivo, visoespacial y motor para que la ejecución fuera correcta, implicando una activación encefálica amplia que incluiría áreas como el cerebelo, ganglios basales, AMS, córtex premotor dorsal, córtex prefrontal, córtex parietal y córtex somatosensorial.

Esta amplitud de activación, sin embargo, no sería capaz por si sola de explicar de forma integral el fenómeno de interpretación de la música, pues es algo mucho más complejo. Por

un lado, el sistema de notación musical es relativamente ambiguo, permitiendo una buena dosis de libertad en la interpretación. Por otro lado hay procesos implicados como la memoria, la imaginación o los factores emocionales entre otros, que nos permitirán a los oyentes diferenciar entre intérpretes mediocres y genios de la música. Sólo necesitamos pararnos a escuchar y disfrutar de sus capacidades para emocionarnos mientras ejecutan una misma partitura musical, a través de la cual nos demostrarán su capacidad creativa.

1.6 Otros factores que inciden en el procesamiento musical

Como podemos observar, el procesamiento de la música es un fenómeno de una alta complejidad. La percepción y la producción están compuestas de un entramado complejo de activación neural que nos permite disfrutar de la música bien sea como espectadores oyentes o como actores intérpretes. Lo cierto es que el funcionamiento de toda esta orquesta cerebral implica la aportación de más músicos al concierto, entre los cuales podemos encontrar la memoria o la emoción.

1.6.1 Memoria musical

La implicación de la memoria en el procesamiento musical es crucial no sólo porque la música se desarrolla en largos períodos de tiempo, sino también porque la música está altamente estructurada y requiere la contribución de diferentes campos de conocimiento (análisis musical, pautas estilísticas de la época, historia de la música...). A continuación veremos, en primer lugar, cuáles serían los elementos principales y las características básicas a través de las cuales las melodías se codifican en nuestra memoria.

Los primeros elementos básicos de información que proporciona una pieza musical son los *tonos*, pues a partir de ellos se configuran patrones estímulares más complejos. Las evidencias nos indican que existen zonas del córtex auditivo primario que representan las frecuencias absolutas de los tonos de una forma organizada (Kalat, 2004), pero es cierto que la importancia de este procesamiento está supeditada a estructuras de mayor nivel que conforman los estímulos musicales complejos. Como muestra de ello podemos observar como al substituir una nota de una melodía bien conocida por un ruido los oyentes no lo suelen percibir (DeWitt y Samuel, 1990). Tampoco dejamos de reconocer una melodía si se modifica la nota de comienzo, siempre y cuando las relaciones tonales entre las siguientes notas permanezcan invariables (Cánovas, Estévez y Sánchez-Santed, 2008).

Subiendo un peldaño más en la escala de complejidad para la codificación musical en la memoria, el siguiente paso sería analizar tanto los elementos de la melodía como los de la

organización temporal de una pieza musical. Realizando un desglosamiento de la información melódica, los dos parámetros más importantes por los cuales es codificada en la memoria son el *contorno o forma* y la *distancia o intervalos* entre los tonos adyacentes que la componen. (Figura 9).

Los resultados de las investigaciones realizadas en torno a estos dos elementos sugieren su independencia cognitiva. De hecho, las evidencias indican que sería más difícil diferenciar entre melodías que comparten contorno con la original pero que cuentan con algún distractor tonal (variaciones en las distancias, por ejemplo), que diferenciar entre melodías que varían en el contorno (Dowling, 1978). A este respecto, algunos autores han propuesto que la información sobre el contorno melódico se produciría de una forma rápida y automática, mientras que la información interválica requeriría de un mayor esfuerzo. Sin embargo, estudios más recientes de neuroimagen indican que incluso personas sin entrenamiento musical extraen información sobre los intervalos de manera automática después de la detección del contorno (Trainor, McDonald y Alain, 2002).

En cuanto a la dimensión temporal, parece que el *patrón rítmico* de una melodía sería el más determinante tanto para su percepción, como para el reconocimiento y recuerdo de una obra musical (Cánovas *et al.*, 2008). Hoy en día sigue existiendo un largo debate sobre si son más importantes los elementos melódicos o los temporales de cara al recuerdo de una melodía, lo que si parece más claro es que el timbre, las variaciones en intensidad o la velocidad de reproducción serían secundarios (Cánovas *et al.*, 2008).



Figura 9. Representación gráfica de la distinción entre contorno e intervalos en una secuencia de tonos. Comparada con la melodía A, la secuencia B presenta un contorno idéntico (arriba-abajo-arriba) y distintos intervalos. La melodía C, sin embargo, comparte con la A las distancias entre los tonos pero no el contorno, que es el inverso (abajo-arriba-abajo). Las secuencias B y C no comparten ni contorno ni distancias entre tonos.

El último peldaño que destacaremos como importante de cara a la codificación de una melodía en nuestro cerebro es su *familiaridad*. Algunos estudios han concluido que el aprendizaje y la retención de melodías no familiares implicaría más al hemisferio derecho, mientras que el reconocimiento de melodías familiares dependería más del hemisferio izquierdo (Peretz, Radeau y Arguin, 2004; Zatorre *et al.*, 2007). Este reconocimiento resulta bastante sencillo, puesto que es curioso observar como una melodía familiar puede seguir siéndolo a pesar de que sufra cambios en transposición (altura del sonido) (Dowling y

Fujitani, 1971), instrumentación (Radvansky, Flemming y Simmons, 1995) o tiempo (Warren, Gardner, Brubaker y Bashford, 1991). En cuanto a los correlatos neuroanatómicos, estudios de neuroimagen nos han permitido observar que el surco temporal superior bilateral, el AMS y el giro inferofrontal izquierdo parecen ser áreas implicadas en el reconocimiento de melodías familiares, siendo el área crucial el surco temporal superior derecho (Peretz *et al.*, 2009) (Figura 10).

Una vez revisados los elementos principales a través de los cuales somos capaces de recordar las obras musicales, debemos comentar ahora distintos aspectos de los dos grandes tipos de memoria. Por un lado la memoria de trabajo sería indispensable, por ejemplo, para retener un estímulo acústico y poder relacionarlo con otro que ocurrirá más tarde. Este tipo de memoria implicaría áreas frontales (dorsolateral e inferior) interaccionando con áreas temporales posteriores (Griffiths, Johnsrude, Dean y Green, 1999; Zatorre, Evans y Meyer, 1994), dentro de las cuales el córtex auditivo derecho sería el más importante (Zatorre y Samson 1991). La implicación de este córtex en la memoria de trabajo sería mayor cuando se requiere una memoria de “alta capacidad” como sería, por ejemplo, retener una nota en la memoria mientras otras notas están presentes (Gaab, Gaser, Zaehle, Jäncke y Schlaugh, 2003; Zatorre *et al.*, 1994). A la vista de esta información podríamos considerar la memoria de trabajo para tonos como un subsistema especializado dentro del marco general de la memoria de trabajo.

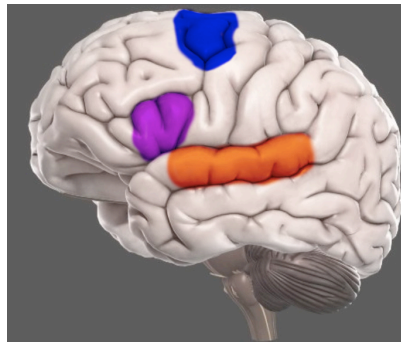


Figura 10. Áreas implicadas en el reconocimiento de melodías familiares. AMS (azul), giro inferofrontal izquierdo (malva) y surco temporal superior bilateral (naranja).

En la memoria a largo plazo se situaría el léxico musical, que contiene las memorias asociativas y un registro de la información musical recibida durante nuestra vida. Las memorias asociativas nos permitirían, por ejemplo, relacionar distintas piezas musicales con situaciones o eventos particulares que nos hayan sucedido. Por otro lado, el registro de la información musical vital constituiría una verdadera discografía personal, que contaría con características propias de la cultura en la que nos hallemos inmersos.

La memoria es fundamental para el procesamiento cognitivo de multitud de aspectos y, por supuesto, resulta esencial también para el procesamiento musical. Hemos visto que existen características de las melodías como los tonos, el contorno, los intervalos, el patrón rítmico o la familiaridad que serían básicos para el reconocimiento y recuerdo de las obras musicales, mientras que otras características como el timbre, el volumen o la velocidad de reproducción serían secundarios. En cuanto a la activación neural necesaria para la función memorística, parece existir una interacción de áreas frontales y temporales, donde el surco temporal superior derecho parece ser una estructura clave.

1.6.2 Imaginería musical

Una forma de comprobar la naturaleza de las representaciones almacenadas en nuestra memoria sería estudiar la imaginería musical, que sería la capacidad de imaginar música o atributos musicales en ausencia de sonidos reales. Las interacciones entre el córtex frontal y el auditivo serían fundamentales para llevar a cabo este proceso, de hecho, cuando intentamos acordarnos de una obra musical activamos el córtex frontal y, simultáneamente, el auditivo nos permite diferenciar entre sonido real y el imaginado (Halpern, 2003; Zatorre *et al.*, 2002; Zatorre y Halpern, 2005).

En cuanto a la lateralización hemisférica se ha visto también que cuando son piezas bien conocidas por nosotros, incluida la letra, al imaginarla la activación hemisférica es bilateral y esto es posible porque estaríamos implicando los componentes melódico y verbal (Zatorre *et al.*, 1994). Por otro lado, cuando se trata de imaginar música instrumental se activaría el córtex auditivo derecho, relacionado, como ya hemos visto, con el procesamiento del tono (Halpern, 2003).

Resulta curioso observar cómo se activan las mismas áreas cerebrales cuando percibimos o realizamos sonidos que cuando los imaginamos (Halpern, 2003; Zatorre y Halpern, 2005). En estudios con músicos profesionales se ha podido observar la activación de los lóbulos frontales, cerebelo, lóbulo parietal y AMS durante los procesos de subvocalización e imaginación motora (Langheim, Callicott, Mattay, Duyn y Weinberger, 2002). Además, las áreas auditivas también se encuentran activas durante la imaginación, produciéndose una integración auditivomotora durante todo el proceso. Tengamos en cuenta, entonces, que cuando un músico está practicando mentalmente un instrumento, podría estar “oyendo” cómo suena.

Dados estos resultados, no sería por tanto muy descabellado pensar en la implicación de la imaginación de cara a la potenciación de las redes neurales implicadas en la ejecución

musical. De esta manera, si un instrumentista imagina que toca su instrumento, estaría activando las mismas áreas cerebrales que si estuviera tocando realmente (áreas frontales, cerebelo, lóbulo parietal, AMS y áreas auditivas), lo que podría provocar una mejora en su nivel técnico interpretativo. La cuestión que podríamos plantearnos sería si existe algún grado diferencial en la intensidad de activación entre la imaginación y la práctica real.

1.6.3 Componente emocional

La música no está sólo destinada a la percepción, la imaginación o al recuerdo de las melodías sino que está concebida para emocionarnos, de hecho, hay definiciones que basan su discurso en la alta capacidad de la música como agente evocador de emociones (Soria-Urios *et al.*, 2011a). La respuesta emocional asociada a la música es de carácter universal y está presente en todas las culturas, constituyéndose como un elemento clave en las interacciones humanas (Fritz *et al.*, 2009; Koelsch, 2010).

Para comenzar destacaremos diversos parámetros musicales que se han estudiado como agentes generadores de actividad emocional. A este respecto, las investigaciones realizadas que veremos a continuación, señalan la existencia de tres características estructurales básicas de las melodías, que permiten el reconocimiento emocional por parte del cerebro: la modalidad (mayor/menor), el tiempo (rápido/lento) y los patrones de tensión-distensión musical (proporción de acordes consonantes/disonantes).

Por un lado se ha podido observar que una modalidad mayor y/o un tiempo rápido se asociarían a emociones de felicidad mientras que modos menores y/o tiempos lentos evocarían tristeza (Kamenetsky, 2009; Khalfa *et al.*, 2008; Khalfa, Schön, Anton y Liégeois-Chauvel, 2005). Por otro lado una proporción alta de acordes disonantes en una melodía no sólo haría que la música se percibiese como disonante (Gabrielsson y Lindstrom, 2001; Trainor, 2008), sino que provocaría una respuesta evitación. Esta respuesta aversiva contrastaría con la generada por los modos menores y/o los tiempos lentos, que, aún siendo también respuestas negativas, tendrían un carácter melancólico enfocado a la aproximación (Khalfa *et al.*, 2008).

Los correlatos neuroanatómicos implicados en los procesos emocionales provocados por la música incluyen un *sistema subcortical* que implicaría áreas del sistema límbico como la amígdala, el hipocampo y el giro parahipocampal (Figura 11). La activación de estas áreas se incrementaría ante la escucha de melodías disonantes o negativas y bajarían su actividad ante música positiva (Gosselin, Peretz, Johnsen y Adolphs, 2007; Koeschl, 2010). De hecho existen casos de pacientes que, debido a una escisión del lóbulo temporal medial derecho,

incluida la amígdala, no son capaces de reconocer señales de peligro a partir de la música (Gosselin *et al.*, 2007). La escucha de música positiva provocaría, además, un aumento en la activación de regiones como el núcleo accumbens o la ínsula anterior (Koelsch, Fritz, Cramon, Muller y Friederici, 2006; Menon y Levitin, 2005) (Figura 11). Estas estructuras, junto con el córtex cingulado, que veremos a continuación, están consideradas como las responsables de las emociones básicas para la supervivencia, activándose ante estímulos reforzantes como la comida (Small, Zatorre, Dagher y Jones-Gotman *et al.*, 2001) o las drogas (Breiter *et al.*, 1997).

Además de este sistema subcortical, también están implicadas *estructuras corticales* como el córtex cingulado anterior, córtex orbitofrontal, córtex prefrontal ventromedial y córtex temporal superior (Koelsch *et al.*, 2006; Plichta, Gerdes y Alpers, 2011) (Figura 12), que estarían conectados con el sistema subcortical. Por ejemplo, la amígdala y el córtex orbitofrontal cuentan con conexiones recíprocas y, a su vez, están conectados con representaciones corticales de todas las modalidades sensoriales, por lo que también integrarían información sensorial.

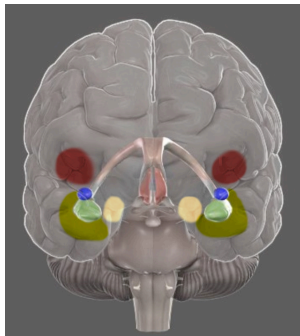


Figura 11. Sistema subcortical implicado en el procesamiento emocional de la música. Amígdala (azul), hipocampo (verde claro), giro parahipocampal (verde oscuro), núcleo accumbens (amarillo), ínsula anterior (rojo).

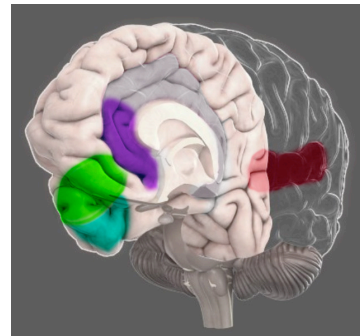


Figura 12. Sistema cortical implicado en el procesamiento emocional de la música. Córtex cingulado anterior (violeta), córtex orbitofrontal (azul), córtex prefrontal ventromedial (verde) y córtex temporal superior (rojo).

Hemos visto entonces que la modalidad, la velocidad y la consonancia-disonancia de las melodías son cualidades de la música que influyen en la manera en que ésta se procesa emocionalmente. Además, existen evidencias claras que nos indican que las rutas implicadas en este procesamiento incluyen la interconexión de áreas corticales y subcorticales. Todo esto nos muestra la importancia de la música como constructo humano capaz de elicitar placer mediante inputs neurales producidos desde el neocórtex, por lo que podría servir como un paradigma excelente para explorar las interacciones entre procesos cognitivos mediados por el neocórtex y las respuestas afectivas producidas subcorticalmente.

2 Alteraciones neuropsicológicas musicales

Como hemos visto hasta ahora, la música es un arte que involucra diversos procesos cognitivos para su percepción e interpretación. En ocasiones, debido a un evento vascular cerebral, un traumatismo craneoencefálico, una demencia o incluso una perturbación congénita, aparecen alteraciones neuropsicológicas que disminuyen o aumentan la capacidad musical de una persona y en otros casos, la misma música desencadena la propia sintomatología como en la epilepsia musicogénica. Los primeros datos que se conocen sobre estos aspectos provienen del estudio de músicos profesionales que sufrieron eventos vasculares cerebrales importantes que afectaron a sus habilidades musicales. Esto despertó el interés de los neurocientíficos, que han descrito diversas alteraciones neurológicas tanto positivas como negativas.

2.1 Amusias

Dentro de las alteraciones neuropsicológicas musicales consideradas como negativas, puesto que producen un déficit en distintos componentes del procesamiento musical, está el grupo de las amusias. Veremos a continuación algunas características de este trastorno como su concepto, su clasificación y evaluación, su etiología y correlatos neuroanatómicos para terminar con una breve presentación de algunos casos clínicos curiosos descritos en la literatura.

2.1.1 Definición

Por *amusia* entendemos el defecto neuropsicológico, congénito o adquirido, que implica una alteración en la percepción auditiva, memoria, lectura, escritura o ejecución musical. Como vemos, el término amusia es muy amplio, pudiendo afectar a una gran gama de elementos implicados en el procesamiento neural de la música. Los trastornos más puros suelen aparecer en músicos profesionales debido a que, al poseer un mayor conocimiento musical, sus circuitos neuronales están más definidos. Además, en este colectivo también podemos observar algunas amusias específicas como las que afectan a la escritura musical, ya que también son conocedores de este tipo de lenguaje comunicativo. Sin embargo, estos defectos no sólo afectan a personas entrenadas musicalmente, ya que existen amusias, sobre todo de carácter apráxico o mnésico, en sujetos no músicos.

Debemos tener en consideración, por tanto, que las amusias deben ser mucho más frecuentes de lo que hacen parecer las escasas descripciones de las mismas, ya que sólo son motivo de queja cuando producen un defecto funcional a la persona que la sufre, y esto no es frecuente excepto en músicos profesionales o en sujetos muy aficionados. Por otro lado, tal y como hemos mencionado en apartados anteriores, cada cultura tiene sus propios patrones y esquemas musicales que hacen que un tipo de música sea refinada en una población, mientras que para sujetos educados en otra tradición musical podría incluso ser considerada desagradable. En este sentido nos atreveríamos a decir que todos padecemos, de alguna manera, una “amusia cultural” para la percepción de melodías.

2.1.2 Clasificación y evaluación

Las alteraciones neuropsicológicas musicales afectan a un campo tan específico que conviene realizar una clasificación teniendo en cuenta esta especificidad. Así, se han llevado a cabo diferentes intentos de clasificar las amusias, pero podríamos decir que la manera más simple de hacerlo sería etiquetarlas en perceptivas (sensitivas) y expresivas (motoras) (Alossa y Costelli, 2009).

Dentro de las amusias perceptivas podemos diferenciar la *amusia sensorial o receptiva*, que sería aquella que altera la capacidad para discriminar entre tonos. Las personas afectadas con este tipo de amusia no podrían diferenciar entre dos melodías distintas, no reconocerían las disonancias, no reconocerían las notas e incluso desafinarían al cantar. También estaría la *amusia amnésica*, que es aquella que interfiere la capacidad para reconocer canciones familiares y, por último, la *alexia musical*, que sería la variedad de amusia perceptiva que hace que no podamos leer partituras musicales.

Por otro lado dentro de las amusias expresivas podemos encuadrar a la *amusia vocal o expresiva-oral*, que sería la incapacidad de cantar, silbar o tararear una melodía. La *amusia instrumental o apraxia musical*, que inhabilita la capacidad para tocar un instrumento y la *agrafia musical* que implica la incapacidad para transcribir una serie de notas escuchadas o para copiar una notación musical.

Obviamente las amusias suceden sin presencia de un fallo perceptivo, sensitivo o práxico asociado, puesto que si así fuera, la afectación sería más amplia y no específica de contenido musical, constituyendo otro tipo de alteración.

Por último, en cuanto su evaluación cognitiva, mencionar que la batería de tests más utilizada es la *Montreal Battery of Evaluation of Amusia* (MBEA) (Peretz, Champod y Hyde, 2003), que estudia básicamente la percepción y la memoria musical a través de 6 tests que

incluyen 180 frases musicales desconocidas con las que se puede evaluar el funcionamiento del contorno melódico, los intervalos, el ritmo, los tipos de escalas, la métrica y la memoria musical. Esta batería ha sido probada y validada en población normal, contando con una sensibilidad de un 80% en la detección de trastornos de la percepción musical, por lo que resulta extremadamente útil. En España contamos con el *Test de Aptitudes Musicales Seashore* (Seashore, Lewis y Saetveit, 1992).

2.1.3 Etiología y correlatos neuroanatómicos

Por lo que respecta a la etiología de las amusias éstas pueden ser adquiridas, es decir, secundarias a un daño cerebral producido durante la vida de una persona o congénitas, en las que los sujetos presentan los déficits desde el nacimiento, no pudiéndose explicar por pérdida de oído, daño cerebral, déficit intelectual o carencia de exposición a la música.

La *amusia adquirida* ha sido tradicionalmente estudiada en pacientes que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV), pero estos estudios conllevan algunas limitaciones asociadas a cualquier estudio neurocognitivo. Por un lado, las lesiones cerebrales son dictadas por la anatomía vascular y raramente son circunscritas y, por otro lado, a parte de la dificultad para describir el estado premórbido del paciente, el patrón de déficits que presenta va cambiando constantemente, con lo que la valoración de la amusia se hace realmente complicada. Los resultados en percepción musical para los pacientes afectados por ACV describen alteraciones para el contorno melódico y el análisis tonal dependiendo del lugar del infarto y del área comprometida (Peretz *et al.*, 2003).

A parte del estudio de pacientes afectados por ACV, se ha estudiado la amusia en pacientes con implante coclear (Stewart, von Kriegstein, Warren y Griffiths, 2006), que son pacientes que han tenido una experiencia previa con la música y luego perdieron su audición por algún motivo, teniendo que instalarles un dispositivo electrónico en la cóclea para estimular el nervio auditivo. Hasta el momento, los resultados de los estudios de percepción musical con estos pacientes han evidenciado principalmente un defecto para la organización tonal (Cooper, Tobei y Loizou, 2008).

Mientras la amusia adquirida puede afectar a diversos componentes, los estudios sobre la *amusia congénita* sólo han encontrado afectaciones en la organización del tono. Peretz, Cummings y Dubé (2007) evidenciaron un componente hereditario en este tipo de amusias a través del estudio de familias amúsicas, en las que observaron que un 39% de familiares de primer grado presentaban el mismo tipo de alteración en comparación con el 3% presentado en las familias control.

En cuanto a los correlatos neuroanatómicos, los estudios sobre la alteración en la planificación del tono indican que probablemente se deba a un fallo en la conectividad entre el área auditiva primaria y el giro frontal inferior (Peretz, 2008), que, en el caso de la amusia congénita, vendrían determinados por una interacción entre genes y ambiente. Hyde *et al.* (2007) encontraron también dos peculiaridades en los cerebros de personas con amusia congénita. Por un lado menor cantidad de sustancia blanca y mayor cantidad de sustancia gris en el córtex frontal inferior derecho (Área de Brodmann 47), y por otro lado mayor espesor (más sustancia gris) en el área auditiva derecha (Área de Brodmann 22) (Figura 13). Estos resultados nos evidencian que la amusia congénita podría ser debida a una pobre comunicación entre la corteza frontal inferior derecha y la corteza auditiva ipsilateral.

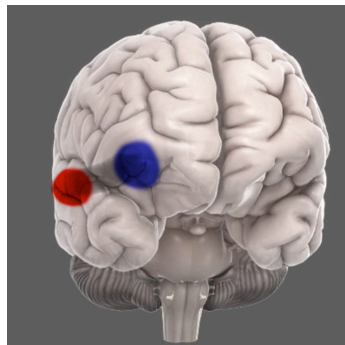


Figura 13. Regiones implicadas en la amusia congénita perceptiva. Áreas 47 (azul) y 22 (rojo) de Brodmann.

2.1.4 Descripción de casos clínicos

Tal y como hemos comentado, existen diversas limitaciones de los estudios neuropsicológicos, entre las que podemos encontrar que las afectaciones de los ACV raramente sean circunscritas. Esta circunstancia hace que sea extremadamente raro encontrar trastornos puros, siendo frecuente la comorbilidad entre diversas alteraciones. A este respecto, entre los casos más curiosos y que, además, han contribuido a la diferenciación de redes neurales específicas diferenciadas para el lenguaje oral y para la música, encontramos en la literatura descripciones de pacientes con combinaciones diferentes de afasia y amusia.

2.1.4.1 Pacientes con afasia y amusia

Uno de los casos más conocidos de este grupo y con quizá una mayor repercusión social y cultural es el del compositor Maurice Ravel (Alajouanine, 1948). Ravel sufrió una enfermedad degenerativa del sistema nervioso central que le desencadenó una apraxia ideomotora, alexia, agrafía y afasia de Wernicke. Tampoco era capaz de cantar o tocar el

piano, sin embargo si podía reconocer melodías, tonos o errores introducidos en una partitura. Citando sus propias palabras “Tengo la cabeza llena de música, pero no soy capaz de escribirla”, lo que coincidiría con un diagnóstico de amusia expresiva.

Barquero-Jiménez y Payno-Vargas (2001) describen otros dos casos de este grupo. En primer lugar el de un bajista de jazz con un aneurisma en la arteria cerebral media izquierda. Esta afectación le produjo un infarto en el área temporal posterior y parietal inferior que le provocó afasia de conducción y amusia expresiva, alexia y agrafia tanto para el lenguaje oral como para el musical. El segundo caso es el de un profesor de música que presentó una lesión isquémica hemisférica izquierda que le provocó una afasia no fluente y amusia mixta, pudiendo percibir las secuencias de tonos pero sin ser capaz de identificar las melodías.

2.1.4.2 Pacientes con afasia y mínima afectación musical

Al igual que en el grupo anterior, uno de los casos más curiosos es el del compositor ruso Shebalin (Luria, Tsetkova y Futter, 1965). Tras una lesión postsangrado temporal y parietal inferior izquierda presentó afasia de Wernicke con abundantes parafasias, alexia y agrafia, sin embargo era capaz de componer con la misma habilidad.

Para finalizar destacaremos el caso de un pianista profesional que, tras un ACV presentó afasia de Wernicke con parafasias y neologismos, pero siguió tocando el piano, juzgando interpretaciones e incluso reconociendo sus propios errores en un nivel similar al premórbido (Barquero-Jiménez y Payno-Vargas, 2001).

A la vista de estos cinco casos, podríamos decir que existen evidencias que indican que, en músicos profesionales, el hemisferio izquierdo tiene un mayor peso en el procesamiento musical que en personas no escolarizadas en este tipo de lenguaje. La existencia de otros casos descritos en la literatura (Barquero-Jiménez y Payno-Vargas, 2001; Estañol y Méndez, 1998) nos hacen ver también que los defectos en la percepción o expresión de la música no se manifiestan de la misma forma en sujetos formados musicalmente que en sujetos no escolarizados en este arte, por lo que lesiones similares podrían tener manifestaciones clínicas muy diferentes en estos dos grupos poblacionales.

2.2 Otras alteraciones neuropsicológicas musicales

Una vez revisadas las amusias, pasaremos a describir de una forma concisa otras alteraciones neuropsicológicas relacionadas con el procesamiento musical. Entre ellas se encontrarían la epilepsia musicogénica, un tipo específico y curioso de epilepsia

exclusivamente relacionado con la música. Por otro lado estarían las alucinaciones musicales, que serían otro tipo de alteración positiva y, por último la distonía focal del músico, cuya afectación motora es capaz de arruinar la carrera profesional de muchos intérpretes.

2.2.1 Epilepsia musicogénica

La epilepsia musicogénica es un trastorno neuropsicológico no muy habitual. Se trata de una condición clínica desencadenada sensorialmente a causa de la audición de sonidos combinados melódica o armónicamente (Marrosu *et al.*, 2009). En la literatura se han descrito en torno a 250 casos de pacientes con epilepsia musicogénica. Estas personas pueden sufrir las crisis en función de múltiples desencadenantes: la combinación melódica o armónica del sonido, el impacto emocional de la música, el volumen o el timbre del instrumento e incluso puede ser específica para un determinado género o pieza musical. De hecho, se han llegado a elaborar listados de obras musicogénicas que cuentan con piezas como el *Ave María* de Schubert o el segundo movimiento de la 5ª Sinfonía de Beethoven entre otras (Kaplan, 2003).

Existe, por tanto, una gran diversidad en la generación de las convulsiones epilépticas, así, entre los casos de epilepsia musicogénica descritos en la literatura, encontramos el de un crítico musical del siglo XIX (Nikonov) al que la escucha de cualquier tipo de música le provocaba convulsiones. Esto hacía que cada vez que oía música por la calle se tapara los oídos y corriera hacia el portal o la calle lateral más cercanos, adquiriendo una auténtica fobia musical (Sacks, 2009). Los ataques musicogénicos no tienen por qué ser tan devastadores, de hecho se han descrito otros casos con menor afectación como el de una mujer japonesa de 23 años que presentaba crisis epilépticas cuando escuchaba la canción *Dreamlover* de Mariah Carey (Nakano, Takase y Tatsumi, 1998), o incluso un paciente que sufría los ataques al escuchar el sonido producido por las campanas de una iglesia (Poskander, Brown y Miller, 1962).

Por otro lado Sacks (2009) describe casos en los que el ataque convulsivo viene precedido de un aura placentera que hace que el paciente incluso lo eche de menos cuando está medicado para evitar la epilepsia. También ha encontrado pacientes cuyas convulsiones se prevenían o desaparecían cuando escuchaban música y, más aún, cuando la interpretaban.

La patofisiología de esta alteración no está muy clara, habiéndose descrito múltiples áreas involucradas, entre las que se encuentran el lóbulo temporal izquierdo (Lin, Wang y Kao, 2003), el circuito límbico, asociado a la parte emotiva provocada por la música (Avanzini, 2003; Kaplan, 2003) o el lóbulo temporal derecho, identificado como foco epiléptico en un alto porcentaje de los casos (Gelisse *et al.*, 2003; Cho *et al.*, 2007).

2.2.2 Alucinaciones musicales

Las alucinaciones musicales son una modalidad de alucinación auditiva caracterizada por la percepción reiterada de melodías en ausencia real de las mismas. Las personas que padecen una alucinación musical suelen pensar que la música tiene un origen externo pero, al ver que no encuentran la fuente, deducen que está dentro de su cerebro. A parte de la aparente exterioridad de su origen, otras de las características que definen las alucinaciones musicales son que suelen ser repetitivas, constantes, involuntarias e intrusivas, pudiendo tener o no un significado para la persona que las sufre.

En cuanto al contenido de las alucinaciones, algunos estudios han señalado que las más frecuentes serían las melodías familiares para el paciente como canciones populares, himnos o villancicos con o sin letra (Ruíz-Almazán, Cáceres, Plano y Cobo-Gómez, 2009; Stewart *et al.*, 2006). En vista de estos datos podría ser razonable concluir que el contenido de las alucinaciones musicales no sería más que un reflejo del acervo cultural de cada paciente, manifestado por la activación anómala de los circuitos de memoria musical. Sin embargo, se han encontrado casos en los que el contenido estaba formado por pequeños patrones rítmicos y melódicos repetitivos combinados al azar (Warren y Schott, 2006), con lo que llevar a cabo una delimitación de un patrón de contenido concreto en estos momentos no sería adecuado.

Las alucinaciones musicales se consideran una patología fronteriza entre la neuropsicología, la psicopatología y la otorrinolaringología. De hecho las clasificaciones las dividen en funcionales, que obedecen a trastornos psicopatológicos sin aparente daño físico en el cerebro y orgánicas, causadas por lesiones cerebrales o del oído (Berrios, 1990; Boza, 1999; Stewart *et al.*, 2006). Centrándonos en una de las clasificaciones más reciente (Stewart *et al.*, 2006) observamos que divide las alucinaciones musicales en función del tipo de enfermedad a la que se asocian, obteniendo las *asociadas a trastornos neurológicos*, las *asociadas a trastornos psiquiátricos* y las *asociadas a sordera*.

Las alucinaciones musicales *asociadas a trastornos neurológicos* no son muy habituales y se encontrarían relacionadas fundamentalmente con lesiones en el tronco encefálico o lesiones en el hemisferio derecho, aunque también pueden encontrarse asociadas a focos epilépticos, a enfermedades degenerativas o al abuso de drogas (Stewart *et al.*, 2006). Más específicamente, Griffiths (2000) encontró un incremento en la perfusión del lóbulo temporal posterior bilateral, de los ganglios basales derechos, del cerebelo y del córtex inferofrontal, lo cual implicaría una afectación generalizada de las mismas áreas que se activan cuando escuchamos música real.

Sabemos que las alucinaciones *asociadas a trastornos psiquiátricos* son más numerosas en el plano audioverbal, pero también existen casos de alucinaciones musicales en patologías como la depresión, la esquizofrenia, el trastorno obsesivo-compulsivo o el alcoholismo (Mahendran, 2007; Matta, Rivas y Carod-Artal, 2012). Por último, las alucinaciones musicales más frecuentes serían las *asociadas a sordera*, que suelen darse en personas de avanzada edad, como puede ser lógico vista la morbilidad de esta patología en ese grupo poblacional y principalmente en mujeres (Ruiz-Almazán *et al.*, 2009). Este tipo de alucinaciones musicales se producirían por una desinhibición de los circuitos de la memoria auditiva, desencadenada por la privación sensorial. El déficit de aferencias, provocaría una génesis de actividad espontánea que sería interpretada como un estímulo musical externo (Griffiths, 2000).

Para finalizar, ejemplificaremos este apartado con algunos casos llamativos descritos en la literatura y que pertenecen a este tercer grupo clasificatorio. El primero afecta a un hombre de 85 años con hipoacusia de predominio derecho cuyo cuadro de alucinaciones musicales surgió de manera brusca al oír repicar campanas. Semanas después escucharía canciones del folclore tradicional de su infancia acompañadas de guitarra y acordeón que el paciente calificaba como agradables (Zabalta-Estévez, 2014). Otro caso de este mismo grupo sería el de una mujer de 72 años con antecedentes de sordera bilateral que escuchaba villancicos, zarzuela, cánticos religiosos e incluso arias de ópera cantadas por Pavarotti (Zabalta-Estévez, 2014). Por último Jourdain (1997) cita los diarios de Clara Schumann, esposa del famoso compositor de la época del Romanticismo Musical Robert Schumann, donde relata que su marido "...oía en su cabeza piezas musicales maravillosamente hermosas, ¡totalmente formadas y completas!. El sonido es como metales lejanos, subrayado por las más espléndidas armonías". Probablemente sufriera un trastorno maníaco-depresivo o esquizoafectivo, así como, al final de su vida, neurosífilis. No sólo Schumann estaría afectado por este tipo de alteración, otros célebres músicos como Mijaíl Glinka, Bedrich Smetana o el mismísimo Ludwig van Beethoven también padecieron alucinaciones musicales (Sacks, 2009).

Las alucinaciones musicales, por tanto, presentan una alta variedad tanto etiológica como de contenido. Paradójicamente, constituyen verdaderas pesadillas que limitan la vida de algunos pacientes, mientras que para otros son productos angelicales con los que pueden disfrutar y relajarse. Además, han posibilitado la elaboración de algunas de las composiciones musicales más hermosas de todos los tiempos.

2.2.3 Distonía focal del músico

Otra de las alteraciones neuropsicológicas relacionadas con la música es la distonía focal del músico, también llamada “calambre del músico” o “distonía del músico”. Se trata de un trastorno específico del movimiento que se presenta como una descoordinación muscular o una pérdida del control motor voluntario de los músculos implicados en la ejecución musical. Esta alteración tiene una prevalencia de un 1% entre los músicos profesionales y puede llegar a acabar con su carrera profesional (Altenmüller, 2003).

Ya que se trata de una patología que implica un fallo motor, podríamos hacer una clasificación basándonos en la región muscular que falla al realizar una tarea específica. De este modo la *distonía de la embocadura*, propia de músicos de las familias de viento madera y viento metal, podría afectar a la coordinación de labios, lengua, músculos faciales, cervicales o respiratorios mientras que el *calambre del violinista o del pianista* afectaría al control de los dedos, manos e incluso a movimientos aislados de los brazos. Debemos señalar que la distonía focal del músico se produce sin dolor, aunque éste puede llegar a aparecer debido a espasmos prolongados. Realizar esta pequeña distinción es importante ya que los síndromes por dolor prolongados pueden llevar a una distonía sintomática, causada probablemente por la degradación de campos receptivos sensoriales en la corteza somatosensorial (Flor y Diers, 2009).

A pesar de que esta alteración tiene un origen claramente neurológico, evidenciado por Marsden y Sheehy (1990), su etiología no está completamente especificada y probablemente sea multifactorial. La teoría mayormente aceptada sobre el origen de la distonía focal se basa en una plasticidad cerebral disfuncional debido a los movimientos repetitivos llevados a cabo durante el entrenamiento (Rosset-Llobet, Fábregas i Molas, Rosinés i Cubells, Narberhaus-Donner y Montero i Homs, 2005), a este respecto se ha sugerido la implicación del circuito de los ganglios basales (Preibisch, Berg, Hofmann, Solymosi y Naumann, 2001). Por otro lado también parece que existe un componente hereditario, puesto que un 10% de los pacientes con distonía del músico poseen historia familiar positiva de esta enfermedad (Schmidt *et al.*, 2009), y además, algún autor ha encontrado también una mayor prevalencia en el género masculino (Lederman, 1991).

Sobre la base de esta predisposición genética y de un régimen de práctica instrumental excesivo, existen otros factores coadyuvantes tanto intrínsecos como extrínsecos que pueden precipitar la aparición del calambre del músico. Entre los *factores intrínsecos* se encontrarían los trastornos de ansiedad, las fobias (social y específica) o incluso una alta tendencia

perfeccionista y de necesidad de control por parte de los músicos (Jabusch, Müller y Altenmüller, 2004). También algunos trastornos físicos o eventos traumáticos que produzcan dolor local o que intensifiquen la entrada de información somatosensorial, así como un déficit en mecanismos de inhibición, podrían resultar en la aparición de la alteración (Charness, Roff y Shefner, 1996).

Por otro lado los *factores extrínsecos* que colaborarían en la precipitación de la distonía implicarían tres tipos de restricciones: *espaciales*, debido a la posición diferencial al tocar los instrumentos. Por ejemplo, no sería lo mismo la altura de las extremidades superiores en un violinista que en un violonchelista, lo que provocaría la aparición de la distonía en movimientos diferentes. Otro tipo de restricciones serían las *temporales*, puesto que alguna región de las extremidades de los instrumentistas llevaría un mayor peso en la ejecución que otra, como es el caso de la mano derecha en guitarristas y pianistas (Altenmüller, 2003). El último tipo de restricción sería la *social*; en las últimas décadas las grabaciones de música han inundado nuestras estanterías y los discos duros de nuestros ordenadores. Se trata de grabaciones realizadas en estudios con sistemas de control avanzados que permiten una ejecución impecable de las obras musicales. Estas grabaciones, alejadas de la realidad interpretativa, crean expectativas irreales en los oyentes de música en directo, de forma que los intérpretes se sienten presionados a alcanzar altísimos niveles de perfección y eficiencia, lo que ayudaría a precipitar la distonía. Un resumen de todos estos factores lo podemos observar en la Figura 14.

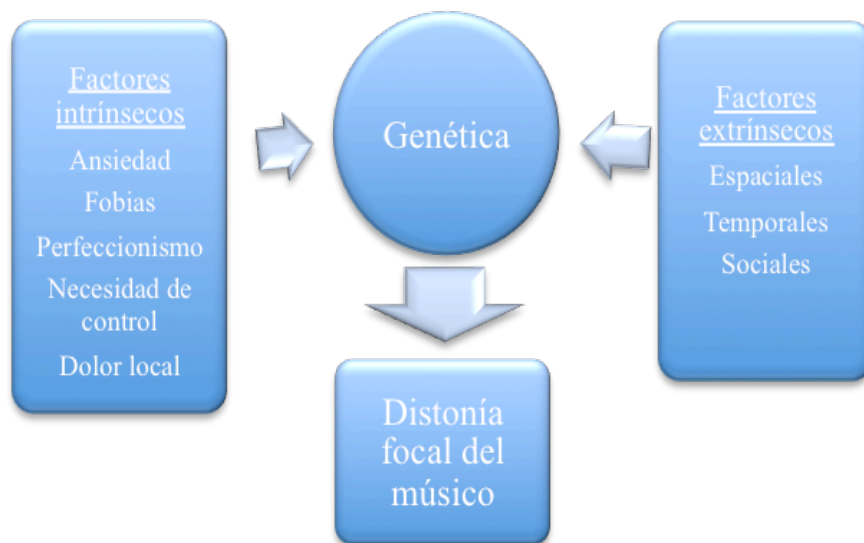


Figura 14. Etiología de la distonía focal del músico

El calambre del músico, por tanto, es una alteración que a pesar de no tener una alta prevalencia, sí que tiene unas consecuencias terribles para los músicos, puesto que les impide el desempeño de su labor profesional. La posible etiología multifactorial parece tener un componente genético, al que se le suman una serie de factores intrínsecos y extrínsecos que predisponen la aparición de esta patología.

Por último debemos comentar que es importante que los oyentes corrijamos nuestras expectativas y hábitos de escucha, sabiendo diferenciar la calidad de la música en vivo de la música artefactada mediante las nuevas tecnologías musicales. De este modo podremos disfrutar íntegramente, junto con los propios intérpretes, de la comunicación emocional que surge a través de este arte.

3 Beneficios cognitivos y conductuales de la música

En las últimas décadas se ha multiplicado el interés por desentrañar tanto los procesos neurales implicados en el procesamiento de la música como sus posibles efectos sobre las funciones cognitivas. A este respecto a la música se le han atribuido propiedades de mejora de habilidades intelectuales e incluso se ha presentado como la solución para cuadros clínicos tan dispares como el autismo (Wan, Demaine, Zipse, Norton y Schlaug, 2010), los trastornos del lenguaje (Norton, Zipse, Marchina y Schlaug, 2009), la depresión (Maratos, Gold, Wang y Crawford, 2008) o el estrés y la ansiedad (Bradt y Dileo, 2009) entre otros. Lo cierto es que este enorme interés por la influencia de la música en el terreno psicológico no ha hecho más que comenzar y necesita ampliar las investigaciones y estudios. En esta breve revisión destacaremos el conocido *efecto Mozart*, señalaremos algunos de los efectos propios del entrenamiento musical, para terminar por destacar las características principales de una de las terapias actuales que más curiosidad despierta en el tratamiento psicológico: la musicoterapia.

3.1 El efecto Mozart

La denominación de *efecto Mozart* surge debido al beneficio cognitivo que obtienen las personas cuando se exponen a la música de este compositor del clasicismo musical. Este curioso efecto fue descubierto por Rauscher, Shaw y Ky (1993), quienes encontraron que aquellos estudiantes que habían escuchado durante diez minutos la Sonata de Mozart para dos pianos en Re Mayor (K. 448), mostraban una puntuación 8 ó 9 puntos superior en la tarea de doblar y cortar papel de la escala de inteligencia de Stanford-Binet que aquellos que habían escuchado una cinta de relajación o habían permanecido en silencio durante el mismo período de tiempo. También pudieron observar como la permanencia en el tiempo de la mejora cognitiva en esta tarea visuoespacial no iba más allá de 10-15 minutos, imprimiendo un carácter cortoplacista al efecto.

El *efecto Mozart* ha podido ser replicado en estudios posteriores (Rideout, Dougherty y Wernert, 1998; Rideout y Laubach, 1996; Rideout y Taylor, 1997; Wilson y Brown, 1997), pero también es cierto que algún estudio no ha observado ninguna mejora tras escuchar la sonata k. 488 de Mozart (McKelvie y Low, 2002). Por otro lado se han propuesto explicaciones alternativas al origen de este efecto, como las que lo atribuyen a un incremento general del nivel de activación o arousal (Chabris, 1999) o las que afirman que un cambio en

el estado emocional sería el responsable del mismo (Husain, Thompson y Schellenberg, 2002).

En cuanto a los correlatos de activación neural, comentar que se ha observado una activación diferencial del córtex prefrontal dorsolateral, el córtex occipital y el cerebelo ante la escucha de esta sonata mozartiana frente a otras obras musicales como “Para Elisa” de Beethoven o música popular para piano de los años 30 (Bodner, Muftuler, Nalcioglu y Shaw, 2001) (Figura 15). Estos resultados, unidos a que no se encontró activación del córtex orbitofrontal o cíngulo (asociados a respuestas emocionales y arousal), apoyarían las evidencias que indican que la música de Mozart produce una mejora cognitiva a nivel de tareas visoespaciales.

Por último deberíamos preguntarnos el por qué la música de Mozart causa este patrón de activación neural que conlleva una mejora en las tareas espacio-temporales. A este respecto, Hughes (2002) ofrece una conclusión interesante tras el estudio comparativo de diferentes piezas musicales compuestas por diversos autores: la periodicidad de la música de Mozart, compuesta por patrones cíclicos que se alternan cada 20 ó 40 segundos junto con la repetición de la línea melódica, que resulta más frecuente en esta música que en la de otros compositores, serían las claves distintivas de este beneficio cognitivo. Debemos señalar que los cambios periódicos y la repetición también son característicos de nuestra actividad cerebral, se dan frecuentemente en muchas otras funciones de nuestro organismo y forman parte de las actividades cotidianas de nuestra vida como seres humanos. En base a esto, podría ser interesante profundizar en el estudio de otros posibles efectos cognitivos y conductuales producidos no sólo por la música de Mozart, sino por cualquier tipo de música que contuviera una estructura similar a la de las obras mozartianas.

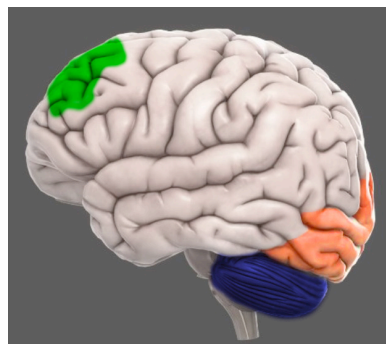


Figura 15. Áreas de activación neural en el efecto Mozart. Córtex prefrontal dorsolateral (verde), córtex occipital (naranja) y cerebelo (azul).

3.2 Entrenamiento musical y rendimiento neuropsicológico

Las investigaciones sobre el *efecto Mozart* dieron lugar a un incremento paralelo de la curiosidad y los estudios sobre la posible influencia del entrenamiento musical en las habilidades cognitivas. Entre estas habilidades, las investigaciones realizadas han incluido el estudio, entre otros, de la mejora en razonamiento espacial, habilidades matemáticas, memoria verbal o incluso medidas generales como el cociente intelectual en sujetos sometidos a un entrenamiento musical.

En cuanto al *razonamiento espacial*, Rauscher y Zupan (2000) encontraron una mejoría en tareas de resolución de puzzles, memoria visual y habilidades constructivas en aquellas personas que habían recibido un entrenamiento musical previo, siendo esta mejoría mayor a los ocho meses de entrenamiento que a los cuatro. Esto nos sugiere que el tiempo dedicado a la instrucción musical tendría una correlación directa con la mejora en razonamiento espacial, además, estos mismos autores también extraen como conclusión que se requeriría de al menos dos años de instrucción musical para observar mejoras sostenidas en habilidades de razonamiento espacial.

Gardiner, Fox, Knowles y Jeffrey (1996) también encontraron una mejora en las *habilidades matemáticas*, superior en el grupo que participó en un programa de entrenamiento musical que en el que lo hizo en un programa que contaba con otras actividades artísticas y Ho, Cheung y Chan (2003) evidenciaron mejorías en *memoria verbal*.

Por último, Schellenberg (2006) llevó a cabo un estudio sobre la influencia del entrenamiento musical en el *coeficiente de inteligencia*, extrayendo como conclusión principal que la duración de las clases de música en la infancia se asociaría positivamente con el coeficiente intelectual.

Vistas todas estas mejorías en el rendimiento neuropsicológico parecería obvio situar al entrenamiento musical como potenciador de muchas capacidades cognitivas, sin embargo existen limitaciones en los estudios realizados (diferencia de métodos, de instrumentos de medición, control de variables extrañas, control de tiempos...) que hacen necesaria una ampliación de las investigaciones a este respecto para poder extraer una conclusión definitiva.

Para finalizar este apartado y en función de las conclusiones obtenidas en los estudios mencionados, parecería lógico pensar en la existencia de diferencias neuroanatómicas entre las personas formadas musicalmente y las que no han recibido ningún tipo de entrenamiento musical. Como todos sabemos, el cerebro humano cuenta con una gran capacidad plástica de

reorganización, un ejemplo clásico de esta capacidad plástica lo constituye la expansión de las áreas auditivas generada por las privaciones sensoriales como la invidencia, en las que se ha visto como las tareas de localización auditiva activaban áreas visuales (Weeks *et al.*, 2000). El entrenamiento específico de los músicos, como hemos visto, implica multitud de actividades variadas como leer partituras, realizar movimientos específicos, mantener activa la memoria y la atención, mantener la afinación, etc. De este modo, la práctica continuada de estos aspectos ofrece una base ideal para estudiar las adaptaciones cerebrales, que implicarán cambios en áreas como el cuerpo calloso, cerebelo, corteza motora, auditiva y visoespacial.

En lo que respecta al *cuerpo calloso*, Schlaug, Jäncke, Huang, Staiger y Steinmetz (1995) encontraron que el tamaño de su mitad anterior era significativamente superior en los músicos, especialmente en aquellos que iniciaban sus estudios musicales antes de los siete años (Figura 16). Esto podría implicar un grado elevado de comunicación interhemisférica debido a un mayor número de fibras o una mayor mielinización de las mismas.

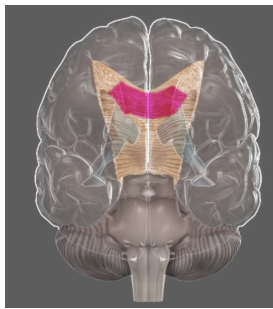


Figura 16. Cambios estructurales en el cerebro de los músicos. Cuerpo calloso y cerebelo.



Figura 17. Cambios estructurales en el cerebro de los músicos. Córtex motor primario (amarillo), plano temporal izquierdo (verde), córtex parietal superior (rojo).

Como hemos visto en anteriores apartados, el *cerebelo* formaría parte fundamental del mecanismo de control temporal de los movimientos implicados en la producción musical. En este caso también se ha visto un mayor tamaño de esta área cerebral en los músicos (Hutchinson, Lee, Gaab y Schlaug, 2003), sobre todo si realizaban muchas horas de práctica o empezaban sus estudios musicales antes de los siete años (Schlaug *et al.*, 2009).

Por último Gaser y Schlaug (2003) encontraron diferencias favorables también a los músicos profesionales en el volumen de materia gris de *áreas motoras, auditivas y visoespaciales* (Figura 17). Concretamente el plano temporal izquierdo incluso era de mayor tamaño en los músicos que poseían “oído absoluto”, una habilidad que permite descifrar o producir un tono sin necesidad de tener otro como referencia. En estos músicos también se observó una mayor conexión entre el giro temporal superior posterior y el giro temporal medial posterior izquierdos (Loui, Li, Hohmann y Schlaug, 2011).

Una vez observadas estas asimetrías podríamos llegar a preguntarnos si realmente son debidas al entrenamiento musical o si, por el contrario, son innatas. A este respecto, debemos indicar que las posturas basadas en la teoría del talento musical innatista no cuentan con fundamentos sólidos, mientras que diversos estudios si han evidenciado la supremacía del ambientalismo. El último estudio longitudinal realizado consigue demostrar que los cambios que hemos mencionado anteriormente se producen en los niños tras sólo 15 meses de entrenamiento musical (Hyde *et al.*, 2009). Por lo tanto, podríamos decir que las diferencias en el cerebro del músico adulto vienen dadas por el entrenamiento musical más que por marcadores biológicos preexistentes.

En definitiva, en vista de las evidencias y a falta de más estudios al respecto, podríamos concluir que el entrenamiento musical temprano, sobre todo antes de los 7 años, es capaz de modificar la organización de diversas áreas cerebrales y producir beneficios no sólo en las propias actividades musicales sino también en otras capacidades cognitivas del ser humano.

3.3 Terapias musicales

Finalmente, viendo todas las evidencias que hemos mostrado en este trabajo sobre los distintos aspectos neuropsicológicos de la música, parece razonable el plantearse la utilización de la misma de cara a la intervención en diversos campos como el de la educación o el de la salud. De hecho no se ha tardado mucho en integrar esta disciplina como una herramienta terapéutica en multitud de patologías.

La musicoterapia, nombre por el que se conoce a esta disciplina, según la *World Federation of Music Therapy* (WFMT), se define como el uso de la música y/o sus elementos musicales con un paciente o grupo, en el proceso diseñado para facilitar y promover la comunicación, el aprendizaje, la movilización, la expresión, la organización u otros objetivos terapéuticos relevantes, con el fin de lograr cambios y satisfacer necesidades físicas, emocionales, sociales y cognitivas.

Los factores más efectivos a través de los cuales se consigue el efecto beneficioso de la terapia con música fueron sintetizados por Hillecke, Nickel y Volker Bolay (2005) en la Universidad de Ciencias Aplicadas de Heidelberg. Como veremos a continuación, estos autores han propuesto cinco factores principales: atencional, emocional, cognitivo, conductual y comunicativo y, posteriormente, Koelsch (2009) completaría esta clasificación añadiendo el factor perceptivo:

- a) *Factor atencional*: la importancia del sistema auditivo radica en que ha sido diseñado filogenéticamente con función de alarma, de hecho, los estudios con anestesia muestran que el sistema auditivo es el último sistema sensorial en dejar de funcionar. De este modo la música, al implicar directamente la audición, tiene la capacidad de captar la atención y servir de distractor mucho mejor que otros estímulos sensoriales, por lo que serviría de ayuda en casos de elevado estrés como los trastornos de pánico, autismo o trastorno por déficit de atención con hiperactividad.
- b) *Factor emocional*: como hemos visto en la primera parte de esta revisión, la música puede modular nuestras emociones directamente o a través del recuerdo de emociones asociadas a ciertas melodías. De este modo la musicoterapia se podría usar en trastornos emocionales como la depresión, la ansiedad o el trastorno por estrés postraumático.
- c) *Factor cognitivo*: la música representa una habilidad cognitiva del ser humano, su comprensión implica el pensamiento y la creación de una experiencia subjetiva. Así, la música podría usarse para cambiar determinadas cogniciones y significados subjetivos previamente establecidos.
- d) *Factor conductual*: la danza y la música están íntimamente unidas de modo que la música es capaz de evocar movimiento incluso inconscientemente. De este modo se podría usar la musicoterapia en la rehabilitación de pacientes con daño cerebral o pacientes con problemas motores en distintos trastornos.
- e) *Factor comunicativo*: la música constituye una forma de comunicación no verbal y podría resultar de gran ayuda en los problemas relacionados con la interacción entre personas, especialmente como vehículo de expresión de emociones. Las terapias musicales serían de gran ayuda en sujetos que no se pueden comunicar verbalmente, en personas autistas o incluso en casos de alteraciones conductuales.
- f) *Factor perceptivo*: puesto que la música mejora la percepción acústica, el uso de la musicoterapia ayudaría en los procesos relacionados con la comprensión del lenguaje.

Como hemos visto, existen amplias evidencias que justifican el uso de la música como instrumento terapéutico. En la práctica clínica diaria se utiliza en multitud de trastornos como el autismo, las demencias, las afasias, los trastornos del estado de ánimo, la esquizofrenia, el daño cerebral, el Parkinson, el Alzheimer e incluso se ha introducido en los cuidados paliativos de algunas enfermedades terminales (Soria-Urios, Duque y García-Moreno, 2011b) pero, lo cierto es que es necesario mucha más investigación para poder demostrar la efectividad de este tipo de terapia.

Conclusiones y consideraciones finales

✚ La música está presente en todas las culturas y en todos los aspectos de nuestra vida, puesto que el procesamiento de sonido es constante desde que nos levantamos hasta que nos acostamos. Constituye un modo de comunicación universal incluso mayor que el lenguaje, pudiendo establecerse analogías entre estas dos capacidades del ser humano:

- De manera similar a como sucede con las funciones lingüísticas verbales, el procesamiento musical se sustenta en una base de redes neurales específicas.
- La cooperación interhemisférica es fundamental. Los aspectos prosódicos del lenguaje y las características más generales de la música serían procesados por el hemisferio derecho mientras que el hemisferio izquierdo se ocuparía del procesamiento de elementos más complejos y analíticos en las dos habilidades.
- El procesamiento musical provoca una activación neural extensa que implica fundamentalmente áreas auditivas y motoras, pero así como el plano temporal izquierdo juega un papel crítico en el procesamiento del lenguaje, el plano temporal derecho parece jugarlo en la música.
- Existen alteraciones musicales componente-específicas. La música y el lenguaje pueden ser percibidos y producidos, pudiendo presentarse patologías específicas de cada componente. De este modo, al igual que el lenguaje puede estar afectado por afasias, alexias o agrafías, también existen amusias específicas para los componentes musicales.

✚ Uno de los aspectos en los que más se está trabajando actualmente son los beneficios cognitivos y conductuales de la música en el rendimiento neuropsicológico. A este respecto, los músicos, sometidos a un intenso entrenamiento específico, cuentan con diferencias neurológicas tanto estructurales como funcionales. Estas diferencias podrían proporcionar las claves científicas que justifiquen los prometedores resultados que se están obteniendo con la aplicación de la musicoterapia en multitud de patologías.

✚ Por último debemos señalar la necesidad de estudiar más en profundidad tanto los correlatos neurales del procesamiento musical como las propias patologías asociadas que, debido a su escasa repercusión en la población general, ni siquiera forman parte de las valoraciones neurocognitivas rutinarias. De este modo se abre un gran campo de interés para la investigación que podría permitir, en el futuro, situar a la música en la vanguardia de la intervención neuropsicológica.

Referencias bibliográficas

- Alajouanine, T. H. (1948). Aphasia and artistic realization. *Brain*, 71, 229-241.
- Alossa, N. y Costelli, L. (2009). Amusia and musical functioning. *European Neurology*, 61, 269-277. Recuperado de <https://www.karger.com/Article/Fulltext/206851>
- Altenmüller, E. (2003). Focal dystonia: Advances in brain imaging and understanding of fine motor control in musicians. *Hand Clinics*, 19, 523–538.
- Altenmüller, E., Bangert, M. W., Liebert, G. y Gruhn, W. (2000). Mozart in us: How the brain processes music. *Medical Problems of Performing Artists*, 15(3), 99-106.
- Avanzini, G. (2003). Musicogenic seizures. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 95-102.
- Ayotte, J., Peretz, I., Rousseau, I., Bard, C. y Bojanowski, M. (2000). Patterns of music agnosia associated with middle cerebral artery infarcts. *Brain*, 123, 1926-1938.
- Baek, E. (2002). The neural networks of music. *European Journal of Neurology*, 9, 449-456.
- Barquero-Jiménez, M. S. y Payno-Vargas, M. A. (2001). Las amusias. *Revista de Neurología*, 32(5), 454-462.
- Belin, P., Zilbovicius, M., Crozier, S., Thivard, L., Fontaine, A., Masure, M. C. y Samson, Y. (1998). Lateralization of speech and auditory temporal processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 536-540.
- Berrios, G. E. (1990). Musical hallucinations. A historical and clinical study. *British Journal of Psychiatry*, 156, 188-194.
- Binder, J. R. y Rao, S. M. (1994). Human brain mapping with functional magnetic resonance imaging. En A. Kertesz (Ed.), *Localization and neuroimaging in neuropsychology* (pp.185-212). San Diego, CA: Academic Press.
- Binder, J. R., Frost, J. A., Hammeke, T. A., Rao, S. M. y Cox, R.W. (1996). Function of the left planum temporale in auditory and linguistic processing. *Brain*, 119, 1239-1247.
- Bodner, M., Muftuler, L. T., Nalcioglu, O. y Shaw, G. L. (2001). fMRI study relevant to the Mozart effect: Brain areas involved in spatial-temporal reasoning. *Neurological Research*, 23, 683-690.

- Boza, R. A. (1999). Hallucinations and illusions of non-psychiatric aetiologies. *Psychiatry On-Line*. Recuperado de <http://www.priory.com/halluc.htm>
- Bradt, J. y Dileo, C. (2009). Music for stress and anxiety reduction in coronary heart disease patients. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2.
- Breiter, H. C., Gollub, R. L., Weisskoff, R. M., Kennedy, D., Makris, N. *et al.* (1997). Acute effects of cocaine on human brain activity. *Neuron*, 19, 591-611.
- Cánovas, D. A., Estévez, A. F. y Sánchez-Santed, F. (2008). *El cerebro musical*. Almería: Editorial Universal de Almería.
- Carter, Rita (1998). *El nuevo mapa del cerebro*. Barcelona: RBA Ediciones de Librería.
- Chabris, C. F. (1999). Prelude or requiem for the “Mozart effect”? *Nature*, 400, 826.
- Charness, M. E., Ross, M. H. y Shefner, J. M. (1996). Ulnar neuropathy and dystonic flexion of the fourth and fifth digits: Clinical correlation in musicians. *Muscle Nerve*, 19, 431-437.
- Chen, J. L., Penhune, V. B. y Zatorre, R. J. (2008). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cerebral Cortex*, 18(10), 2844-2854. Recuperado de: <http://cercor.oxfordjournals.org/content/18/12/2844.full.pdf>
- Chen, J. L., Zatorre, R. J. y Penhune, V. B. (2006). Interactions between auditory and dorsal premotor cortex during synchronization to musical rhythms. *NeuroImage*, 32, 177-181.
- Cho, J. W., Seo, D. W., Joo, E. Y., Tae, W. S., Lee, J. y Hong, S. B. (2007). Neural correlates of musicogenic epilepsy: SISCOM and FDG-PET. *Epilepsy Research*, 77(1-2), 169-173.
- Cooper, W., Tobey, E. y Loizou, P. (2008). Music perception by cochlear implant and normal hearing listeners as measured by the Montreal Battery for Evaluation of Amusia. *Ear Hear*, 29(4), 618-626.
- Dehaene-Lambertz, G., Dehaene, S. y Hertz-Pannier, L. (2002). Functional neuroimaging of speech perception in infants. *Science*, 298, 2013-2015.
- DeWitt, L.A. y Samuel, A. (1990). The role of knowledge-based expectations in music perception: Evidence from musical restoration. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 123-144.

- Di Pietro, M., Lagarano, M., Leeman, B. y Schnider, A. (2004). Receptive amusia: Temporal auditory deficit in a professional musician following a left temporo-parietal lesion. *Neuropsychologia*, 42, 868-977.
- Dowling, W. J. (1978). Scale and contour: Two components of a theory of memory for melodies. *Psychological Review*, 85, 341-354.
- Dowling, W. J. y Fujitani, D. S. (1971). Contour, interval and pitch recognition in memory for melodies. *Journal of the Acoustic Society of America*, 49, 524-531.
- Estañol, B. y Méndez, A. (1998). Un caso de amusia cortical en una paciente con habilidad musical. *Revista de Neurología*, 26(152), 612-615.
- Fishman, Y. I., Volkov, I. O., Noh, M. D., Garell, P. C., Bakken, H. *et al.* (2001). Consonance and dissonance of musical chords: Neural correlates in auditory cortex of monkeys and humans. *Journal of Neurophysiology*, 86, 2761-2788.
- Flor, H. y Diers, M. (2009). Sensorimotor training and cortical reorganization. *Neurorehabilitation*, 25, 19-27.
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
- Foxton, J. M., Nandy, R. K. y Griffiths, T. D. (2006). Rhythm deficits in “tone deafness”. *Brain and Cognition*, 62(1), 24-29. DOI:10.1016/j.bandc.2006.03.005
- Friederici, A. D. (2002). Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 78-84.
- Fries, W. y Swihart, A. A. (1990). Disturbance of rhythm sense following right hemisphere damage. *Neuropsychologia*, 28, 1317-1323.
- Fritz, T., Jentschke, S., Gosselin, N., Sammler, D., Peretz, I. y Turner, R. (2009). Universal recognition of three basic emotions in music. *Current Biology*, 19, 573-576. DOI: 10.1016/j.cub.2009.02.058.
- Gaab, N., Gaser, C., Zaehle, T., Jäncke, L. y Schlaug, G. (2003). Functional anatomy of pitch memory: An fMRI study with sparse temporal sampling. *NeuroImage*, 19, 1417-1426.
- Gabrielsson, A. (1999). The performance of music. *The Psychology of Music*, 2, 501-602.

- Gabrielsson, A. y Lindstrom, E. (2001). The influence of musical structure on emotional expression. En Juslin, P. N. y Sloboda, J. A. (Eds). *Music and emotion: Theory and research* (pp. 223-248). New York, NY: Oxford University Press.
- García-Casares, N., Berthier-Torres, M. L., Froudust-Walsh, S., y Gonzalez-Santos, P. (2013). Modelo de cognición musical y amusia. *Neurología*, 28(3), 179-186.
- Gardiner, M. F., Fox, A., Knowles, F. y Jeffrey, D. (1996). Learning improved by arts training. *Nature*, 381, 284.
- Gaser, C. y Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *The Journal of Neuroscience*, 23, 9240-9245.
- Gelisse, P., Thomas, P., Padovani, R., Hassan-Sebbag, N., Pasquier, J. y Genton, P. (2003). Ictal SPECT in a case of pure musicogenic epilepsy. *Epileptic Disorders*, 5, 133-137.
- Gosselin, N., Peretz, I., Johnsen, E. y Adolphs, R. (2007). Amygdala damage impairs emotion recognition from music. *Neuropsychologia*, 45, 236-244. Recuperado de: <http://www.brams.umontreal.ca/plab/downloads/papierNeuro.pdf>
- Grabner, H. (2001). *Teoría general de la música*. Madrid: Akal.
- Griffiths, T. D. (2000). Musical hallucinosis in acquired deafness. Phenomenology and brain substrate. *Brain*, 123, 2065-2076.
- Griffiths, T. D., Johnsrude, I., Dean, J. L., Green, G. G. R. (1999). A common neural substrate for the analysis of pitch and duration pattern in segmented sound? *NeuroReport*, 18(10), 3825-3830. DOI: 10.1097/00001756-199912160-00019
- Groussard, M., Viader, F., Hubert, V., Landeau, B., Abbas, A., Desgranges, B. *et al.* (2010). Musical and verbal semantic memory: Two distinct neural networks? *NeuroImage*, 49, 2764-2773. Recuperado de: http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/53/83/95/PDF/Neuroimage_manuscript_HAL.pdf
- Hall, D. A., Johnsrude, I., Haggard, M. P., Palmer, A. R., Akeroyd, M. A. y Summerfield, A. Q. (2002). Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cerebral Cortex*, 12, 140-149. Recuperado de: <http://cercor.oxfordjournals.org/content/11/10/946.full>
- Halpern, A. R. (2003). Cerebral substrates of musical imagery. En I. Peretz y R. J. Zatorre (Eds), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 217-230). New York, NY: Oxford University Press.

- Halsband, U., Ito, N., Tanji, J. y Freund, H. J. (1993). The role of premotor cortex and the supplementary motor area in the temporal control of movement in man. *Brain*, *116*(1), 243-266.
- Hart, H. C., Palmer, A. R. y Hall, D. A. (2003). Amplitude and frequency-modulated stimuli activate common regions of human auditory cortex. *Cerebral Cortex*, *13*, 773-781. Recuperado de: <http://cercor.oxfordjournals.org/content/13/7/773.full>
- Haueisen, J. K. y Knösche, T. (2001). Involuntary motor activity in pianists evoked by music perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *13*, 786-792.
- Hillecke, T., Nickel, A. y Volker Bolay, H. (2005). Scientific perspectives on music therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1060*, 271-282.
- Ho, Y. C., Cheung, M. C., y Chan, A. S. (2003). Music training improves verbal but not visual memory: Cross-sectional and longitudinal explorations in children. *Neuropsychology*, *17*(3), 439.
- Hughes, J. R. (2002). The Mozart effect: Additional data. *Epilepsy and Behavior*, *3*, 182-184.
- Husain, G., Thompson, W. F., y Schellenberg, E. G. (2002). Effects of musical tempo and mode on arousal, mood, and spatial abilities. *Music Perception*, *20*(2), 151-171.
- Hutchinson, S., Lee, L. H., Gaab, N. y Schlaug, G. (2003). Cerebellar volume of musicians. *Cerebral Cortex*, *13*(9), 943-949. Recuperado de: <http://cercor.oxfordjournals.org/content/13/9/943.full>
- Hyde, K. L., Lerch, J. P., Zatorre, R. J., Griffiths, T. D., Evans, A. C. y Peretz, I. (2007). Cortical thickness in congenital amusia: When less is better than more. *The Journal of Neuroscience*, *27*(47), 13028-13032. Recuperado de: <http://www.jneurosci.org/content/27/47/13028.full.pdf>
- Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. y Schlaug, G. (2009). The effects of musical training on structural brain development. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*, 182-186. Recuperado de: http://www.musicianbrain.com/papers/Hyde_MusicTraining_BrainPlasticity_nyas_04852.pdf
- Izquierdo, M. A., Oliver, D. L. y Malmierca, M. S. (2009). Mecanismos de plasticidad (funcional y dependiente de actividad) en el cerebro auditivo adulto y en desarrollo. *Revista de Neurología*, *48*, 421-429.

- Jabusch, H. C., Müller, S. V. y Altenmüller, E. (2004). Anxiety in musicians with focal dystonia and those with chronic pain. *Movement Disorders*, 19(10), 1169-1175. Recuperado de: http://www.immm.hmtm-hannover.de/fileadmin/www.immm/Publikationen/Jabusch_Mueller_Altenmueller_Mov_Dis_2004_Dystonie_Anxiety_Pain.pdf
- Janata, P. y Grafton, S. (2003). Swinging in the brain: Shared neural substrates for behaviors related to sequencing and music. *Nature Neuroscience*, 6, 682-687.
- Janata, P., Birk, J., Van Horn, J., Leman, M., Tillmann, B. y Bharucha, J. (2002). The cortical topography of tonal structures underlying western music. *Science*, 298, 2167-2170.
- Johnsrude, I., Penhune, V. y Zatorre, R. (2000). Functional specificity in the right auditory cortex for perceiving pitch direction. *Brain*, 123, 155-163.
- Jourdain, R. (1997). Music, the brain, and ecstasy: How music captures our imagination. New York, NY: William Morrow.
- Kalat, J. W. (2004). *Psicología biológica* (8ª ed.). Madrid: Thomson.
- Kamenetsky, S. B. (2009). Emotional responses to music: Experience, expression, and physiology. *Psychology of Music*, 37, 61-90.
- Kaplan, P. W. (2003). Musicogenic epilepsy and epileptic music: A seizure's song. *Epilepsy y Behavior*, 4, 464-473.
- Khalfa, S., Guye, M., Peretz, I., Chapon, F., Girard, N., Chauvel, P. *et al.* (2008). Evidence of lateralized anteromedial temporal structures involvement in musical emotion processing. *Neuropsychologia*, 46, 2485-2493.
- Khalfa, S., Schön, D., Anton, J. L. y Liégeois-Chauvel, C. (2005). Brain regions involved in recognition of happiness and sadness in music. *NeuroReport*, 16(18), 1981-1984.
- Koelsch, S. (2009). A neuroscientific perspective on music therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 374-384. Recuperado de: http://www.stefan-koelsch.de/papers/Koelsch_2009_ANYAS_music_therapy.pdf
- Koelsch, S. (2010). Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in Cognitive Science*, 14(3), 131-137.

- Koelsch, S., Fritz, T., Cramon, D. Y. V., Muller, K. y Friederici, A. D. (2006). Investigating emotion with music: an fMRI study. *Human Brain Mapping*, 27, 239-250. Recuperado de: http://stefan-koelsch.de/papers/Koelsch%2B_HBM2006_Music_Emotion.pdf
- Koelsch, S., Fritz, T., Schulze, K., Alsup, D. y Schlaug, G. (2005). Adults and children processing music: An fMRI study. *NeuroImage*, 25, 1068-1076. Recuperado de: http://gottfriedschlaug.org/musicianbrain.test/papers/Koelsch_adults+children_pr.pdf
- Koelsch, S., Grossmann, T., Gunter, T., Hahne, A., Schröger, E. y Friederici, A. D. (2003). Children processing music: electric brain responses reveal musical competence and gender differences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(5), 683-693. DOI: 10.1162/jocn.2003.15.5.683
- Koelsch, S., Gunter, T. C., van Cramon, D. Y., Zysset, S., Lohmann, G. y Friederici, A. D. (2002). Bach speaks: A cortical “language-network” serves the processing of music. *NeuroImage*, 17, 956-966. Recuperado de: <http://wenku.baidu.com/view/5e57ce4e767f5acfa1c7cd47.html>
- Langheim, F. J., Callicott, J. H., Mattay, V. S., Duyn, J. H., y Weinberger, D. R. (2002). Cortical systems associated with covert music rehearsal. *Neuroimage*, 16(4), 901-908.
- Large, E. W. y Palmer, C. (2002). Perceiving temporal regularity in music. *Cognitive Science*, 26, 1-37.
- Laws, E. (2010). Music and the brain. *World Neurosurgery*, 73(5), 458.
- Lederman, R. J. (1991). Focal dystonia in instrumentalists: Clinical features. *Medical Problems of Performing Arts*, 6, 132-136.
- Lin, K. L., Wang, H. S. y Kao, P. F. (2003). A young infant with musicogenic epilepsy. *Pediatric Neurology*, 28(5), 379-381.
- Loui, P. y Schlaug, G. (2009). Investigating musical disorders with diffusion tensor imaging: a comparison of imaging parameters. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 121-125. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2009.04781.x
- Loui, P., Li, H. C., Hohmann, A. y Schlaug, G. (2011). Enhanced cortical connectivity in absolute pitch musicians: A model for local hyperconnectivity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(4), 1015-1026. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3012137/>

- Luria, A. R., Tsetkova, L. y Futter, D. (1965). Aphasia in a composer. *Journal of the Neurological Science*, 2, 286-292.
- Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T. C. y Friederici, A. D. (2001). Musical syntax is processed in broca's area: An MEG study. *Nature Neuroscience*, 4(5), 540-545. DOI:10.1038/87502.
- Mahendran, R. (2007). The psychopathology of musical hallucinations. *Singapore Medical Journal*, 48, 68-70.
- Maratos, A. S., Gold, C., Wang, X. y Crawford, M. J. (2008). Music therapy for depression. *Cochrane Database of Systematic Review*, 1.
- Marrosu, F., Barberini, L., Puligheddu, M., Bortolato, M., Mascia, M., Tuveri, A. et al. (2009). Combined EEG/ fMRI recording in musicogenic epilepsy. *Epilepsy Research*, 84, 77-81.
- Marsden, C. D. y Sheehy, M. P. (1990). Writers cramp. *Trends in Neurosciences*, 13, 148-153.
- Matta, A. P. C., Ribas, M. C. A. y Carod-Artal, F. J. (2012). Obsesiones musicales en el trastorno obsesivo compulsivo. *Revista de Neurología*, 54, 508-509.
- Mazziota, J. C., Phelps, M. E., Carson, R. E. y Kuhl, D. E. (1982). Tomographic mapping of human cerebral metabolism: Auditory stimulation. *Neurology*, 32, 921-937.
- McKelvie, P. y Low, J. (2002). Listening to Mozart does not improve children's spatial ability: Final curtains for the Mozart effect. *British Journal of Developmental Psychology*, 20, 241-258.
- Menon, V. y Levitin, D. J. (2005). The rewards of music listening: Response and physiological connectivity of the mesolimbic system. *NeuroImage*, 28, 175-184. Recuperado de: <http://daniellevitin.com/levitinlab/articles/2005-Menon-NeuroImage.pdf>
- Midorikawa, A., Kawamura, M. y Kezuka, M. (2003). Musical alexia for rhythm notation: A discrepancy between pitch and rhythm. *Neurocase*, 9(3), 232-238. DOI: 10.1076/neur.9.3.232.15558
- Nakano, M., Takase, Y., y Tatsumi, C. (1998). A case of musicogenic epilepsy induced by listening to an American pop music. *Clinical Neurology*, 38(12), 1067-1069.

- Norton, A., Zipse, L., Marchina, S. y Schlaug, G. (2009). Melodic intonation therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 431-436.
- Palmer, C. (1997). Music performance. *Annual Review of Psychology*, 48, 115-138.
- Panksepp, J. y Bernatzky, G. (2002). Emotional sounds and the brain: The neuro-affective foundations of musical appreciation. *Behavioural Processes*, 60, 133-155.
- Patel, A. D. (2003). Lenguaje, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, 6, 674-681.
- Penhune, V. B., Zatorre, R. J. y Evans, A. C. (1998). Cerebellar contributions to motor timing: A PET study of auditory and visual rhythm reproduction. *The Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 752-765.
- Penhune, V. y Doyon, J. (2002). Dynamic cortical and subcortical networks in learning and delayed recall of timed motor sequences. *The Journal of Neuroscience*, 22, 1397-1406.
- Peretz, I. (1990). Processing of local and global musical information by unilateral brain-damaged patients. *Brain*, 113, 1185-1205.
- Peretz, I. (2008). Musical disorders. From behavior to genes. *Current Directions in Psychological Science*, 17, 329-333.
- Peretz, I. y Coltheart, M. (2003). Modularity of music processing. *Nature Neuroscience*, 6(7), 688-691.
- Peretz, I., Champod, A. S. y Hyde, K. (2003). Varieties of musical disorders. The Montreal Battery of Evaluation of Amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 58-75. Recuperado de: http://www.brams.umontreal.ca/plab/downloads/PeretzChampo_Hyde-2003.pdf
- Peretz, I., Cummings, S. y Dubé, M. P. (2007). The genetics of congenital amusia (tone-deafness): A family-aggregation study. *The American Journal of Human Genetics*, 81, 582-588. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1950825/>
- Peretz, I., Gosselin, N., Belin, P., Zatorre, R. J., Plailly, J. y Tillmann, B. (2009). Music lexical networks. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 256-265. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2009.04557.x
- Peretz, I., Radeau, M. y Arguin, M. (2004). Two-way interactions between music and language: Evidence from priming recognition of tune and lyrics in familiar songs.

- Memory & Cognition*, 32(1), 142-152. Recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.3758%2FBF03195827#page-1>
- Peretz, I., y Zatorre, R. J. (2005). Brain organization for music processing. *Annual Review of Psychology*, 56, 89-114. DOI: 10.1146/annurev.psych.56.091103.070225
- Plichta, M. M., Gerdes, A. B. y Alpers, G. W. (2011). Auditory cortex activation is modulated by emotion: A functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) study. *NeuroImage*, 55(3), 1200-1207. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.01.011
- Poskanzer, D. C., Brown, A. E. y Miller, H. (1962). Musicogenic epilepsy caused only by a discrete frequency band of church bells. *Brain*, 85, 77-92.
- Preibisch, C., Berg, D., Hofmann, E., Solymosi, L. y Naumann, M. (2001). Cerebral activation patterns in patients with writer's cramp: A functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neurology*, 248, 10-17. Recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs004150170263#page-1>
- Radvansky, G. A., Flemming, K. J. y Simmons, J. A. (1995). Timbre reliance in nonmusicians' memory for melodies. *Music Perception*, 13, 127-140.
- Rauscher, F. H. y Zupan, M. A. (2000). Classroom keyboard instructions improves kindergarten children's spatial-temporal performance: A field experiment. *Early Childhood Research Quarterly*, 15(2), 215-228.
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L. y Ky, K. N. (1993). Music and spatial task performance. *Nature*, 365, 609-611.
- Real Academia Española (2001). *Diccionario de la Lengua Española*, (22ª ed.). Madrid, España: Autor.
- Regnault, P., Bigand, E. y Besson, M. (2001). Event-related brain potentials show top-down and bottom-up modulations of musical expectations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 241-255.
- Rideout, B. E. y Laubach, C. M. (1996). EEG correlates of enhanced spatial performance following exposure to music. *Perceptual and Motor Skills*, 82, 427-432.
- Rideout, B. E. y Taylor, J. (1997). Enhanced spatial performance following 10 minutes exposure to music: A replication. *Perceptual and Motor Skills*, 85, 112-114.

- Rideout, B. E., Dougherty, S. y Wernert, L. (1998). Effect of music on spatial task performance: A test of generality. *Perceptual and Motor Skills*, 86, 512-514.
- Riemann, H. (2005). *Teoría general de la música*. Barcelona: Idea Books.
- Rosset-Llobet, J., Fábregas i Molas, S., Rosinés i Cubells, D., Narberhaus-Donner, B. y Montero i Homs, J. (2005). Análisis clínico de la distonía focal en los músicos. Revisión de 86 casos. *Neurología*, 20(3), 108-115. Recuperado de: http://www.imedicinas.com/pfw_files/cma/ArticulosR/Neurologia/2005/03/109030501080115.pdf
- Ruiz-Almazán, I., Cáceres, C., Plano, J. y Cobo-Gómez, J. V. (2009). Perfil neuropsicológico en las alucinaciones musicales del anciano. *Revista de Neurología*, 48, 500-501.
- Sacks, O. (2009). *Musicofilia, relatos de la música y el cerebro*. Barcelona: Anagrama.
- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., y Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neuroscience*, 14(2), 257-262.
- Sánchez, T. G., Rocha, S. C. M., Knobel, K. A. B., Kii, M. A., Santos, R. M. y Pereira, C. B. (2011). Musical hallucination associated with hearing loss. *Arq Neuropsiquiatr*, 69(2B), 395-400.
- Schellenberg, E. G. (2006). Long-term positive associations between music lessons and IQ. *Journal of Educational Psychology*, 98(2), 457-468. Recuperado de: <http://content2.learntoday.info/shu/PS520/media/Music%20and%20IQ.pdf>
- Schlaug, G., Forgeard, M., Zhu, L., Norton, A., Norton, A., y Winner, E. (2009). Training-induced neuroplasticity in young children. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 205-208. Recuperado de: http://www.musicianbrain.com/papers/Schlaug_CorpusCallosum_Children_Music_nyas_04842.pdf
- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., Staiger, J. F. y Steinmetz, H. (1995). Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia*, 33, 1047-1055.
- Schmidt, A., Jabusch, H-C., Altenmüller, E., Hagenah, J., Brüggemann, N., Lohmann, K. et al. (2009). Etiology of musician's dystonia. Familiar or environmental? *Neurology*, 72, 1248-1254.

- Schön, D., Anton, J. L., Roth, M. y Besson, M. (2002). An fMRI study of music sight-reading. *NeuroReport*, *13*(17), 2285-2289.
- Schön, D., Besson, M. (2002). Processing pitch and duration in music reading: A RT-ERP study. *Neuropsychologia*, *40*, 868-878.
- Schön, D., Semenza, C. y Denes, G. (2001). Naming of musical notes: A selective deficit in one musical clef. *Cortex*, *37*, 407-421.
- Seashore, C. E., Lewis, D. y Saetveit, J. G. (1992). *Test de Aptitudes Musicales Seashore*. Madrid: TEA Ediciones.
- Sergent, J., Zuck, E., Terriah, S., MacDonald, B. (1992). Distributed neural network underlying musical sight-reading and keyboard performance. *Science*, *257*, 106-109.
- Small, D. M., Zatorre, R., Dagher, A., Jones-Gotman, M. (2001). Brain activity related to eating chocolate: From pleasure to aversion. *Brain*, *124*, 1720-1733. Recuperado de: <http://brain.oxfordjournals.org/content/124/9/1720.full>
- Soria-Urios, G., Duque, P. y García-Moreno, J. M. (2011a). Música y cerebro: fundamentos neurocientíficos y trastornos musicales. *Revista de Neurología*, *52*, 45-55.
- Soria-Urios, G., Duque, P. y García-Moreno, J. M. (2011b). Música y cerebro (II): evidencias cerebrales del entrenamiento musical. *Revista de Neurología*, *53*, 739-746.
- Springer, S. P. y Deutsch, G. (1999). *Cerebro izquierdo, cerebro derecho*. Barcelona: Gedisa.
- Stewart, L., Von Kriegstein, K., Warren, J. D. y Griffiths, T. D. (2006). Music and the brain: Disorders of musical listening. *Brain*, *129*(10), 2533-2553. Recuperado de: <http://brain.oxfordjournals.org/content/129/10/2533.full.pdf>
- Thivard, L., Belin, P., Zibovicius, M., Poline, J. y Samson, Y. (2000). A cortical region sensitive to auditory spectral motion. *NeuroReport*, *11*(13), 2969-2972.
- Tillmann, B., Janata, P., Bharucha, J. (2003). Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Cognitive Brain Research*, *16*, 145-161. Recuperado de: http://www.brainmusic.org/EducationalActivitiesFolder/Tillmann_processing2003.pdf
- Trainor, L. J. (2008). The neural roots of music. *Nature*, *453*, 598-599.
- Trainor, L. J., McDonald, K. L. y Alain, C. (2002). Automatic and controlled processing of melodic contour and interval information as measured by event-related brain potentials.

- Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(3), 430-442. Recuperado de: http://psycserv.mcmaster.ca/ljt/trainor_et_al_2002.pdf
- Trainor, L. J., Trehub, S. E. (1992). A comparison of infants' and adults' sensitivity to western musical structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(2), 394-402.
- Tramo, M., Shah, G. D. y Braidá, L. D. (2002). Functional role of auditory cortex in frequency processing and pitch perception. *Journal of Neurophysiology*, 87, 122-139. Recuperado de: <http://jn.physiology.org/content/87/1/122>
- Vignolo, L. A. (2003). Music agnosia and auditory agnosia. Dissociations in stroke patients. *Annals of New York Academy of Science*, 999, 50-57. DOI: 10.1196/annals.1284.005
- Wan, C. Y., Demaine, K., Zipse, L., Norton, A. y Schlaug, G. (2010). From music making to speaking: Engaging the mirror neuron system in autism. *Brain research bulletin*, 82(3), 161-168.
- Warren, J. D. y Schott, G. D. (2006). Musical hallucinations in a musician. *Journal of Neurology*, 253(8), 1097-1099. Recuperado de: <http://band4me.org/exercises/mh.pdf>
- Warren, J., Uppenkamp, S., Patterson, R. y Griffiths, T. (2003). Separating pitch chroma and pitch height in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(17), 10038-10042. Recuperado de: <http://www.pnas.org/content/100/17/10038.long>
- Warren, R. M., Gardner, D. A., Brubaker, B. S. y Bashford, J. A. (1991). Melodic and nonmelodic sequences of tones: Effects of duration on perception. *Music Perception*, 8, 277-290.
- Weeks, R., Horwitz, B., Aziz-Sultan, A., Tian, B., Wessinger, C. M., Cohen, L. G. *et al.* (2000). A Positron Emission Tomographic study of auditory localization in the congenitally blind. *The Journal of Neuroscience*, 20(7), 2664-2672. Recuperado de: <http://www.jneurosci.org/content/20/7/2664.full.pdf+html>
- Wilson, S. J., Pressing, J. y Wales, R. J. (2002). Modelling rhythmic function in a musician post-stroke. *Neuropsychologia*, 40, 1494-1505. Recuperado de: http://www.brainmusic.org/EducationalActivitiesFolder/Wilson_rhythm2002.pdf
- Wilson, T. L., y Brown, T. L. (1997). Reexamination of the effect of Mozart's music on spatial-task performance. *The Journal of Psychology*, 131(4), 365-370. DOI: 10.1080/00223989709603522

- Zabalza-Estévez, R. J. (2014). Alucinaciones musicales: la música perpetua. *Revista de Neurología*, 58(5), 207-212.
- Zatorre, R. J. (1984). Musical perception and cerebral function: A critical review. *Music Perception*, 2, 196-221.
- Zatorre, R. J. (1988). Pitch perception of complex tones and human temporal-lobe function. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 84, 566-572.
- Zatorre, R. J. y Halpern, A. R. (2005). Mental concerts: Musical imagery and auditory cortex. *Neuron*, 47(7), 9-12. DOI: 10.1016/j.neuron.2005.06.013. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896627305005180>
- Zatorre, R. J. y Samson, S. (1991). Role of the right temporal neocortex in retention of pitch in auditory short-term memory. *Brain*, 114(6), 2403-2417.
- Zatorre, R. J., Belin, P. y Penhune, V. (2002). Structure and function of auditory cortex: Music and speech. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 37-46.
- Zatorre, R. J., Chen, J. L. y Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: Auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience*, 8, 547-558. DOI:10.1038/nrn2152
- Zatorre, R. J., Evans, A. C. y Meyer, E. (1994). Neural mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch. *Journal of Neuroscience*, 14(4), 1908-1919. Recuperado de: <http://www.jneurosci.org/content/14/4/1908.full.pdf>
- Zatorre, R.J. (1998). Functional specialization of human auditory cortex for musical processing. *Brain*, 121, 1817-1818. Recuperado de: <http://brain.oxfordjournals.org/content/121/10/1817.full.pdf+html>

Índice de figuras

Figura 1. Modelo neural del procesamiento musical.....	14
Figura 2. Áreas de Brodmann. Córtex auditivo.....	15
Figura 3. Giro temporal superior derecho.....	17
Figura 4. Área de Broca.....	17
Figura 5. Sistema supramodal de temporización.....	19
Figura 6. Áreas implicadas en la percepción y producción del ritmo musical.....	19
Figura 7. Áreas implicadas en la secuenciación motora.....	20
Figura 8. Córtex premotor.....	20
Figura 9. Representación gráfica de la distinción entre contorno e intervalos en una secuencia de tonos.....	23
Figura 10. Áreas implicadas en el reconocimiento de melodías familiares.....	24
Figura 11. Sistema subcortical implicado en el procesamiento emocional de la música.....	27
Figura 12. Sistema cortical implicado en el procesamiento emocional de la música.....	27
Figura 13. Regiones implicadas en la amusia congénita perceptiva.....	31
Figura 14. Etiología de la distonía focal del músico.....	37
Figura 15. Áreas de activación neural en el efecto Mozart.....	40
Figura 16. Cambios estructurales en el cerebro de los músicos. Cuerpo calloso y cerebelo.....	42
Figura 17. Cambios estructurales en el cerebro de los músicos. Córtex motor primario, plano temporal izquierdo y córtex parietal superior.....	42