

# ANATOMÍA, FUNCIONALIDAD Y PLASTICIDAD CEREBRAL DE MÚSICOS Y NO-MÚSICOS

**JOSÉ MARÍA RUIZ SÁNCHEZ DE LEÓN Y JAVIER GONZÁLEZ MARQUÉS**  
Departamento de Psicología Básica II (Procesos Cognitivos). Facultad de Psicología.  
Universidad Complutense de Madrid

## Resumen

Este trabajo repasa los últimos estudios acerca de las diferencias anatómicas encontradas entre los cerebros de los músicos y los no-músicos en varias estructuras: el lóbulo temporal, la corteza motora primaria, el cuerpo calloso y el cerebelo. Se presentan los hallazgos más relevantes que hacen pensar que la continua y exhaustiva práctica musical que los músicos profesionales realizan desde la infancia condiciona la morfología y funcionalidad de sus cerebros. Así, tanto la edad de comienzo de la actividad musical, como las horas que se invierten practicando, están relacionadas con las peculiaridades anatómicas que muestran en la madurez y sus habilidades musicales medidas psicométricamente. Actualmente no existen modelos suficientes que den cuenta de cómo se desarrolla y se lleva a cabo la actividad musical humana. Por ello se expone la necesidad, tanto de modelos explicativos de la misma, como de más investigaciones sobre el tema, para llegar a conocer cómo funciona dicha actividad musical.

**Palabras clave:** Música; neuroanatomía; lóbulo temporal; corteza motora; plasticidad neuronal; percepción musical.

## Abstract

This paper reviews the latest studies about musicians' and no-musicians' neuroanatomical differences found in several structures: temporal lobe, primary motor cortex, corpus callosum and cerebellum. Relevant findings allow us to think over the fact that the exhaustive and continuous musical practise, which professional musicians carry out since childhood, determines their brain morphology and functionality. Therefore, both starting age of musical activity and hours invested in practising, are related to neuroanatomical peculiarities in maturity and psychometrical musical abilities. At present there are not enough models about how human musical activity develops and works. So we expound that more models and more investigations are needed to know how this musical activity takes place.

**Keywords:** Music; neuroanatomy; temporal lobe; motor cortex; neuronal plasticity; musical perception.

## INTRODUCCIÓN

El presente artículo versa acerca de las diferencias neuroanatómicas que hasta la fecha se han ido describiendo entre los cerebros de los músicos y los no-músicos. Además, pretende ser un vehículo para dar a conocer la ausencia casi total de modelos cognitivos para dar cuenta de la actividad musical humana y de su desarrollo. El estudio de la psicología de la música plantea dentro de la ciencia cognitiva muchas cuestiones aún por resolver, incluyendo casi todos los aspectos relevantes que atañen al procesamiento de la información, en este caso, musical (atención, percepción, memoria, destrezas motoras, lenguaje, funciones ejecutivas y emoción).

Los investigadores se centran en el estudio del procesamiento de tonos, ya sean puros o generados por un instrumento, pero la música es mucho más que eso. Parece lícito pensar que

los actuales experimentos que tratan la percepción de dichos tonos nos pueden llegar a informar acerca de las diferencias funcionales entre cerebros de músicos y no-músicos. Sin embargo, la música empieza a llamarse así desde el momento en que se organiza de manera más compleja. Esto conlleva que un conjunto de notas formando acordes, que tienen su ritmo local (distancia temporal entre tonos) y su métrica global, hacen que una pieza suene como una marcha o una polonesa. La pregunta es, ¿hasta qué punto son procesadas estas variables por el ser humano?

Cualquiera que haya estudiado música en términos académicos se percatará que toda la enseñanza requiere del lenguaje natural. Esto explica, en parte, la implicación del hemisferio izquierdo por parte de los músicos. Podría decirse que un sujeto “sin escolarizar” escucha la música sin más; presta atención al modo y al tempo, a las notas y su distribución temporal, la emoción que transmite y su relativa consonancia. Así puede configurar una opinión sobre si le gusta o no desde la conciencia. Parece que en los no-músicos estas tareas pertenecen e involucran al hemisferio derecho, desde su holismo y sus componentes emocionales.

En los músicos, esa percepción es muy diferente. Ellos perciben que un determinado tema es un adagio compuesto en Re menor (y que por tanto, las probabilidades de que suene melancólico aumentan). Detallan que se trata de una serie de cuartas (Re menor – Sol – Do – Fa – Si bemol – Mi menor – La menor – Re menor) que se distribuyen en un compás de tres por cuatro a un determinado tiempo de negra. Todas estas informaciones y muchas otras, se procesan desde el hemisferio izquierdo de manera automática con intervención del lenguaje natural.

Los primeros intentos de modelización ya se han llevado a cabo por Peretz, Champod y Hyde (2003). Las autoras proponen que el input musical se procesa a través de una dimensión melódica definida como “variaciones secuenciales en tono” y que analiza el contorno, la escala y la tonalidad frente a una dimensión temporal definida como “variaciones secuenciales en

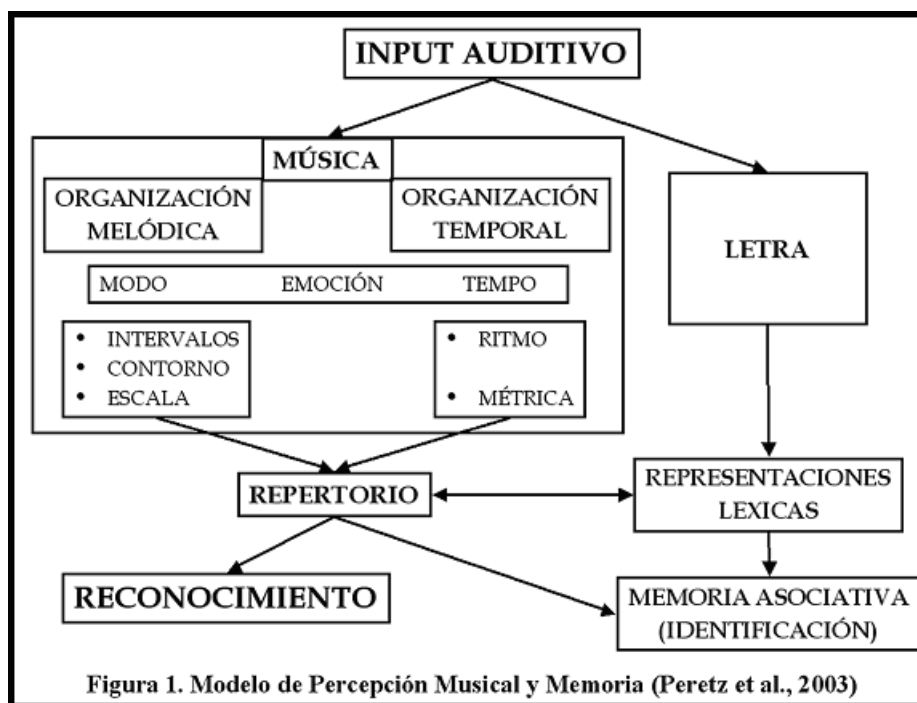


Figura 1. Modelo de Percepción Musical y Memoria (Peretz et al., 2003)

duración” que se encarga del análisis de la métrica y el ritmo.

Ambas rutas, como se observa en la figura 1, envían su output al “repertorio”, concebido como un sistema de representaciones que poseen todos los sujetos. Allí se encuentran almacenadas las piezas musicales que se han oído durante la vida. Puede darse el caso de que se activen las representaciones léxicas de la letra que acompaña a la música (y que ha sido analizada por otro sistema) para que ambos output, el del repertorio y el de las representaciones léxicas, cedan al título de la obra mediante memoria asociativa, consiguiendo así el reconocimiento.

También se deja un hueco a la emoción dentro del modelo, dejando que ambas dimensiones (melódica y rítmica) analicen en cada caso el Modo y el Tempo que propicia, según las autoras, un reconocimiento emocional de la obra.

En el ámbito biológico, por fenómenos de plasticidad, la práctica reconfigura la anatomía de las áreas cerebrales implicadas. Esto explicaría las diferencias anatómicas tanto en lóbulo temporal, como en áreas motoras, cuerpo caloso y cerebelo. El exhaustivo entrenamiento, continuado en el tiempo desde los cuatro o cinco años hasta la madurez cerebral configura el procesamiento específico que llevan a cabo.

Roederer (1929) señaló que todos los indicios apuntan a que los músicos configuran sus cerebros mediante la práctica para percibir la música en relación con sus intervalos. Por otro lado, los no-músicos percibirían más la cualidad de las notas o acordes sueltos que la relación entre ellas.

Los actuales hallazgos desde las neurociencias han reabierto el debate sobre las diferencias estructurales y funcionales provocadas por la plasticidad cerebral que están relacionadas con las habilidades musicales. De su análisis, que se expone a continuación, se propondrán mejoras de los escasos modelos propuestos en la literatura como el de Peretz, Champod y Hyde (2003), ya comentado brevemente, y posibles contribuciones futuras a una exhaustiva modelización de la actividad musical humana.

## DIFERENCIAS ANATÓMICAS Y FUNCIONALES

Al principio del siglo XX, Auerbach (citado por Meyer *et al.*, 1977) encontró que el giro superior del lóbulo temporal en sus porciones media y posterior era más largo en varios de los cerebros de músicos famosos que analizó postmortem. Hoy en día, las técnicas de neuroimagen nos permiten estudiar esos mismos detalles en cerebros de sujetos vivos, comparando, músicos con no-músicos (Blood *et al.*, 1999; Liégeois-Chauvel *et al.*, 1998; Maess *et al.*, 2001; Patel y Balaban, 2001; Schiavetto *et al.*, 1999; Zatorre, 2004; Zatorre y Binder, 2000; Zatorre, Bouffard y Belin, 2004; Zatorre y Peretz, 2001).

Ashburner y Friston (2002) han desarrollado una técnica Morfométrica Basada en Voxels (Voxel-Based Morphometry) por la que con métodos estadísticos y resonancia magnética se revelan diferencias en la anatomía cerebral. Este tipo de análisis ha mostrado un incremento de la sustancia gris en el área motora primaria de ambos hemisferios, los ganglios basales izquierdos, el cerebelo y la región perisilviana posterior izquierda (Gaser y Schlaug, 2001). Históricamente, todas estas áreas junto con el lóbulo temporal, son las que han sido propuestas para realizar las comparaciones entre músicos y no-músicos.

### El Lóbulo Temporal

La asimetría existente en el plano temporal (*planum temporale*) se ha sugerido como marcador de la dominancia cerebral en los diestros ya que correlaciona con la lateralidad del lenguaje (Jäncke, Schlaug, Huang y Steinmetz, 1994).

Existe además un acuerdo general en pensar que en humanos, el área primaria auditiva está

confinada en los dos tercios mediales del giro de Heschl también llamada la porción anteromedial o el giro transversal de Heschl (Hackett, Preuss y Kaas, 2001; Rivier y Clarke, 1997; Wallace, Johnston y Palmer, 2002). Esta zona presenta una singularidad cito y mielo-arquitectónica. (Bailey y Von Bonin, 1951; Brodmann, 1909; Economo, 1929; Galaburda y Sanides, 1980; Gutschalk *et al.*, 2004; Hopf, 1964; Seldon, 1981, 1985), está organizada tonotópicamente (Howard *et al.*, 1996; Lütkenhöner y Steinsträter, 1998; Pantev *et al.*, 1988, 1995) y exhibe unas respuestas evocadas de latencias más cortas que otras zonas también laterales (Liegeois-Chauvel *et al.*, 1991, 1994, 2004). Las diferencias citoarquitectónicas se interpretan en este caso como constituyentes de cinturones (Howard *et al.*, 2000) para la corteza auditiva que rodea la corteza auditiva primaria.

Howard *et al.* (2000) reconocen el rol crítico del cortex temporal superior en la escucha, el discurso y el lenguaje (tanto convencional como musical). Estudiando potenciales evocados ante un tren de estímulos y recogiendo datos por electrodos colocados en el giro de Heschl y en el giro temporal lateral superior encontraron que la región temporal posterior lateral superior recibe un input cortico-cortical de latencia corta tanto directa como indirectamente del giro de Heschl. Esto concuerda, según los autores, con los experimentos animales en los que se encuentra que la corteza temporal superior interconecta múltiples áreas auditivas.

Schneider *et al.* (2002), usando magnetoencefalografía y resonancia magnética, compararon el procesamiento de tonos sinusoidales en la corteza auditiva por músicos profesionales y no-músicos encontrando diferencias funcionales y anatómicas. La actividad evocada en los músicos (respecto a los no-músicos) de 19 a 30 ms. después del estímulo fue un 102% mayor. A su vez, el volumen de materia gris de la porción anteromedial del giro de Heschl fue un 130% mayor. Ambas cantidades correlacionaban con las aptitudes musicales de los sujetos evaluadas psicométricamente. Estos resultados confirman la importancia morfológica y neurofisiológica del giro de Heschl en lo que a la habilidad musical respecta.

Pantev (1998), utilizando una prueba de campos magnéticos evocados, mostró tonos de piano y tonos puros de la misma frecuencia fundamental a un grupo de pianistas y controles. Encontró que se producía un 25% más de activación en la corteza auditiva primaria en los músicos cuando oían el piano real. Lo mismo se encontró con violinistas y trompetistas si sonaba el instrumento que cada sujeto tocaba frente a un tono puro de su misma frecuencia.

Al haberse encontrado considerables diferencias individuales respecto al tamaño y localización de la corteza primaria auditiva en el giro de Heschl y los límites del surco (Morosan, 2001; Rademacher, 2001), se hace necesario el uso de resonancia magnética funcional para situar dicha corteza primaria auditiva entre el primer surco transversal y el surco de Heschl o surco intermedio (Gutschalk *et al.*, 2004; Leonard *et al.*, 1998; Penhune *et al.*, 1996; Steinmetz *et al.*, 1989).

### **Percepción del Ritmo**

Russeler (2001) mostró como los músicos producen *Mismatch Negativity* (MMN) para tonos desplazados temporalmente 20 ms. dentro de una serie de tonos espaciados regularmente mientras que en los no-músicos se necesita un lapso de 50 ms. En los músicos, este mismo intervalo de 50 ms produce mucha más respuesta que en los controles.

#### *Percepción del Tono.*

Una extensa línea de investigaciones versa sobre las diferencias entre sujetos con "Absolute Pitch" (traducido como "Oído Absoluto") y "Relative Pitch" ("Oído no-absoluto"). El Oído Absoluto (OA) se define como la capacidad de identificar tonos sueltos en términos de escalas musicales. Se estima que poseen esta cualidad uno de cada mil quinientos músicos sin estudios musicales reglados frente al 15% de los estudiantes en escuelas de música (Baharloo *et al.*, 1998; Profita y Bidder, 1988).

A mediados de siglo XX, Revesz (1953) opinó que tener OA era una habilidad innata. Hoy en día, los estudios demuestran que de hecho sí existe una predisposición genética (Baharloo *et al.*, 2000; Ross *et al.*, 2003) pero que influye en mayor medida el entrenamiento musical (Gregersen *et al.*, 1999, 2001).

Anatómicamente, estudios morfométricos con resonancia magnética muestran en los individuos con OA un incremento en la asimetría derecha del plano temporal (Keenan *et al.*, 2001; Schlaug *et al.*, 1995). Estas diferencias entre los planos temporales de los sujetos con OA y los que no lo tienen no se encontraron en el estudio de Zatorre *et al.* (1998); sin embargo sí se confirmó respecto a los controles no-músicos.

Los estudios de Zatorre *et al.* (1998) con tomografía por emisión de positrones (PET) revelaron una fuerte activación de la zona inferior frontal derecha, que se propone como involucrada en la "memoria de trabajo tonal", en los sujetos con Oído no absoluto (ONA). Sin embargo, los sujetos con OA mostraron una activación en la zona posterior izquierda de la región dorsolateral frontal que se encarga de las asociaciones verbales-tónicas en tareas de escucha pasiva.

A su vez, Ohnishi (2001) ha encontrado una mayor intensidad hemodinámica en el plano temporal derecho en correlación con la habilidad para determinar tonos y la edad de comienzo del entrenamiento musical.

Sin embargo, el entrenamiento no da cuenta de esa habilidad ya que músicos que empezaron de niños su práctica y que de adultos no poseen OA no presentan esa asimetría derecha en el plano temporal (Keenan *et al.*, 2001).

En otra línea de investigaciones se han descrito los mapas tonotópicos de la corteza que se corresponden y están afinados con frecuencias específicas (Merzenich, Kaas y Roth, 1976; Merzenich, Knight y Roth, 1973; Rauschecker, Tian y Hauser, 1995). Pero en este aspecto también se han mostrado efectos de plasticidad cerebral, tanto en adultos en los que se reorganizan las representaciones después de un daño en la coclea (Irvine y Rajan, 1995) como en el entrenamiento de sujetos intactos en discriminación de estímulos auditivos (Recanzone, Schreiner y Merzenich, 1993).

Pantev *et al.* (1988) localizaron, utilizando el componente N1 de los potenciales evocados (100 ms. después del estímulo), la representación tonotópica de la corteza, adscribiéndola dentro del eje medial-lateral del plano supratemporal hasta la línea media sagital a medida que los tonos incrementaban en frecuencia. Ese mismo grupo de trabajo (Pantev *et al.*, 1998) encontró que en músicos expertos frente a dos tipos de estímulos, notas musicales de un piano y tonos puros con la misma intensidad, se producía un 25% más de activación ante los primeros, en comparación con los controles no-músicos. Este mayor porcentaje de activación correlaciona con la edad de comienzo del entrenamiento musical pero no con el hecho de que los músicos tuvieran OA u ONA.

*Los Acordes.* En un experimento que requería atención por parte de los sujetos a una secuencia de acordes, Regnault, Bigand y Besson (2001) encontraron que el componente N1 de los potenciales evocados que surge de la corteza auditiva primaria, aumentaba en los músicos para acordes consonantes relativamente más que para acordes disonantes (de quinta aumentada). Este hecho, que no ocurre en los no-músicos, señala que la corteza auditiva primaria pudiera estar afinada para detectar componentes armónicos complejos en los sonidos.

Se ha encontrado *Mismatch Negativity* (MMN) en los músicos cuando se presenta un acorde ligeramente impuro entre una serie de acordes mayores perfectos como demostraran Koelsch, Schroger y Tervaniemi (1999). También se ha encontrado MMN cuando los músicos escuchan pequeños cambios en melodías traspuestas (Tervaniemi, Rytönen, Schroger, Ilmoniemi y Näätänen, 2001).

La localización del MMN parece provenir de las neuronas del plano superior del lóbulo temporal en coordinación con la corteza frontal (Tiitinen, 1993; Tervaniemi, 1999). Estos hallazgos indican que, a través de años de entrenamiento musical, las neuronas de la corteza auditiva se configuran

para detectar cambios súbitos en las secuencias de estímulos auditivos, ya sean simples o complejos. Tervaniemi *et al.* (2001) reconocen que los parámetros necesarios para tal adquisición son desconocidos, pero que probablemente involucren al procesamiento atencional previo del estímulo.

### Áreas motoras primarias

En 1995, Elbert y sus colaboradores investigaron los campos magnéticos somatosensoriales evocados en músicos de cuerda. El análisis reveló que la representación cortical de los dedos de la mano izquierda era mayor que en el caso de los controles. En el caso de la mano derecha, que no requiere movimientos independientes de los dedos, no hubo diferencias entre los músicos y los controles. También se observó que dicha reorganización de la representación digital en el cerebro era más pronunciada en los músicos que empezaron su carrera musical desde una edad más temprana.

La prevalencia de diestros, zurdos y ambidiestros en músicos ha sido ampliamente estudiada para llegar a saber como se distribuye la dominancia en sus cerebros (para una revisión específica de este tema se debe consultar Aggleton, Kentridge y Good, 1994; Byrne, 1974; Christman, 1993; Fry, 1990; Gates y Bradshaw, 1977; Göttestam, 1990; Hassler y Birbaumer, 1988; Hassler y Gupta, 1993; Hassler, Gupta, y Wollmann, 1992; Oldfield, 1969).

En general, así como se muestra en el experimento de Jäncke, Schlaug y Steinmetz (1997), los músicos, a pesar de demostrar superioridad con la mano derecha, no poseen tanta asimetría como los diestros no-músicos, ya que los primeros tienen mayores habilidades con la mano izquierda. También se observó que los músicos que tocan habitualmente instrumentos de teclado poseen más habilidades digitales que los que tocan instrumentos de cuerda aunque no difieren en su escasa asimetría.

Estas conclusiones concuerdan con lo descrito por Annett (1992) acerca de que el incremento de la simetría en niños es producto del incremento de las habilidades de la mano no dominante. A su vez, existen estudios que afirman que la asimetría manual permanece estable incluso después de una extensa práctica, aunque también puedan producirse mejoras a través de la experiencia (Annett, 1970; Annett, Hudson y Turner, 1974; Peters, 1981).

Los músicos tienen mayores habilidades con la mano no-dominante en tareas como destornillar o dar cartas aunque en los estudios sobre dominancia se observa solo de un 4% a un 6% de zurdos entre los músicos, mostrando una mínima mayor prevalencia que entre los no-músicos (Aggleton, *et al.*, 1994, Gilbert y Wysocki, 1992; Perelle y Ehrman, 1994).

Respecto a las áreas motoras primarias de la mano determinando la longitud del surco del giro precentral, los músicos respecto a los controles mostraron una mayor longitud en ambos lados del surco, incluso mayor en el hemisferio derecho, resultando con ello una menor asimetría (Amunts *et al.*, 1997). Existía una fuerte correlación negativa entre la edad de inicio en que empezó su entrenamiento musical y el tamaño de sus áreas motoras manuales en ambos hemisferios, de manera que a más temprana edad de comienzo, mayor tamaño de dichas áreas y por tanto, mayores habilidades (Jäncke, Schlaug y Steinmetz, 1997).

Lin *et al.* (2002) examinaron la influencia de la producción de un discurso (en este caso, lectura en voz alta) en la modulación de potenciales evocados inducidos por Estimulación Magnética Transcranial (Transcranial Magnetic Stimulation) de la corteza motora primaria en diestros. Se encontró, tanto en músicos como en controles (aunque en mayor medida en los primeros), que la ejecución de dicha tarea se acompañaba de un incremento en la activación cortical en las áreas que controlan los dedos de la mano derecha. Más interesante, dado que no se produjo en los sujetos no-músicos, es el hecho de haberse encontrado también activación en las áreas que controlan los dedos de la mano izquierda.

### **Cuerpo caloso y Cerebelo**

Muchos instrumentos requieren una precisa coordinación de ambas manos. Por ello, los músicos que empezaron su práctica musical antes de los siete años tienen una prolongación en el parte anterior del cuerpo caloso respecto a los músicos que empezaron más tarde de esa edad o los controles tal y como expusieron Schlaug y sus colaboradores (1995). El tamaño del cuerpo caloso es un buen indicador del número de axones que cruza de un hemisferio al otro y por tanto, de la calidad de su coordinación. Estos hallazgos hacen pensar en que los músicos poseen mayor interacción entre dichos hemisferios cerebrales. Esta hipótesis fue corroborada por Ridding, Brouwer y Nordstrom (2000) encontrando en un estudio con pianistas y guitarristas que se producía menos inhibición interhemisférica que en no-músicos, ayudando así a la coordinación bimanual incrementando la transferencia de señal entre hemisferios.

La precisión temporal de los movimientos requiere, por otro lado, la participación del cerebelo. Schlaug (2001) ha encontrado en músicos varones una media mayor en lo que a volumen cerebeloso respecta (no encontrándose al compararse con sujetos no-músicos diferencias respecto al volumen cerebral general que fue similar en ambos grupos).

Por otro lado, uno de los aspectos que cabe destacar como representativo de la reorganización anatómico-funcional del cerebro de los músicos es la habilidad para la lectura del pentagrama, que analizamos a continuación.

### **Lectura del Pentagrama**

Hirata, Kuriki y Pantev (1999) señalan que frente a estímulos visuales y notas en un pentagrama, la corteza occipital se activa como resultado del análisis visual pero encuentran que la lectura de notas requiere por parte de los sujetos una mayor concentración. Además, las diferentes latencias de respuesta entre sujetos respecto a sus lóbulos occipital, temporal y frontal parecen deberse a diferentes estrategias en la lectura.

En otro estudio con resonancia magnética funcional presentando texto y pentagrama se encontró una actividad específica en el surco occipital derecho transverso (Nakada, Fujii, Suzuki y Kwee, 1998). En la región temporal posterior derecha, se incrementaba la actividad aunque no lo suficiente como para que los autores lo consideraran relevante.

Respecto al lóbulo frontal, en un estudio con PET en el que los músicos discriminaban entre tonos escritos en un pentagrama se reveló una cierta actividad que los autores relacionaron con procesos de la memoria de trabajo y el aprendizaje (Zatorre, Perry, Beckett, Westbury y Evan, 1998).

Ciertas regiones temporales como el surco temporal y el giro angular, ambas relacionadas con el lenguaje, se activan durante la lectura musical. Dicha actividad puede indicar que los músicos usan el lenguaje como estrategia de reconocimiento de notas (Demonét *et al.*, 1994; Kuriki, Hirata, Fujimaki y Kobayashi, 1996).

### **Movimientos oculares laterales en músicos**

Kopiez y Galley (2002) realizaron un experimento para analizar los movimientos oculares laterales en los músicos. Parten de la base de que habiendo empezado a manejar un instrumento a una edad temprana y, por tanto, la lectura del pentagrama, el sistema perceptivo debe configurarse ante esa demanda específica. Usando electroculograma (EOG), en una tarea de seguimiento de un punto móvil parpadeante que incrementaba su frecuencia de parpadeo durante 90 s. (desde 0,2 Hz hasta 1,5 Hz), se observó que existían diferencias estables entre músicos y controles no músicos. Los músicos presentaban un menor número de omisiones, definidas como ausencias de fijación en el seguimiento del punto, durante toda la tarea. A su vez, sus

sacádicos eran más rápidos, tenían un tiempo de reacción más corto y una mayor proporción de anticipaciones.

Los autores concluyen que su muestra de músicos era mucho más eficiente utilizando estrategias para el procesamiento de la información visual en una tarea oculomotora, producto del entrenamiento desde la niñez.

## PLASTICIDAD CORTICAL

Parece lógico pensar que la continua y exhaustiva práctica musical que los músicos profesionales realizan desde la infancia condiciona la morfología y funcionalidad de sus cerebros.

Dehaene-Lambertz (2000) observó mediante potenciales evocados en niños de 4 años que no existía lateralización hemisférica izquierda en dicha edad. Presentando estímulos fonológicos y acústicos mostró como los potenciales son similares en ambos hemisferios, no así intrahemisféricamente ya que ambos tipos de estímulos activaron diferentes áreas de la corteza auditiva.

Anvari *et al.* (2002) encontraron analizando una muestra de niños de 4 y 5 años que la clásica disociación de habilidades entre las tareas melódicas y rítmicas aparece a los 5 años como muestra su análisis factorial (encontrando un solo factor “musical” en los niños de 4 años y dos factores, “melódico” y “rítmico” para los de 5 años). Los resultados de este estudio indican que la habilidad perceptiva musical está relativamente relacionada con la conciencia fonológica para el desarrollo temprano de la lectura y lo que es más, según los autores, resulta predictiva per sé (explica la varianza en lectura tanto como la conciencia fonológica). Argumentan como explicación que la conciencia fonológica requiere del sujeto oyente la capacidad de segmentar el discurso en componentes simples y reconocer los sonidos y sus variaciones en tono, tempo y contexto, así como la percepción de la música consiste en segmentar cadenas de tonos en tonos, tempo y contexto.

Esto es congruente con los estudios de Atterbury (1985) en los que se encuentra que los “malos lectores” entre 7 y 9 años eran “malos oyentes” en tareas de discriminación tonal y “malos productores de ritmo”.

Una amplia corriente de autores está de acuerdo con que es a partir del comienzo de la disociación entre habilidades melódicas y rítmicas cuando tiene importancia el comienzo de la actividad musical en los niños (Amunts *et al.*, 1997; Elbert *et al.*, 1995; Jäncke *et al.*, 1997; Schlaug, Jäncke, Huang, Staiger y Steinmetz, 1995; Schlaug, Jäncke, Huang y Steinmetz, 1995; Pantev, 1998). Estos autores afirman que así como el control motor y la coordinación mejoran gradualmente desde los 4 a los 11 años, se puede pensar que el entrenamiento temprano interactúa con la organización cortical de la dominancia manual llevando a una mejora de la mano no dominante.

El tiempo que se dedica a la práctica musical es una de las variables manejadas con asiduidad. Ericsson *et al.* (1993) encontraron que las horas de estudio acumuladas por los alumnos de la Academia de Berlín hasta los 18 años eran 7.600 para pianistas expertos y 7.400 para violinistas. Estos datos contrastaban con las 1600 horas de práctica invertidas por los pianistas aficionados. En ese mismo trabajo también se concluyó que las puntuaciones más altas en los exámenes eran para los alumnos que practicaban a la misma hora del día y la misma cantidad de tiempo diario. Estos hallazgos fueron corroborados por Sloboda y Davidson (1996) encontrando correlación positiva entre las horas de práctica y las calificaciones finales en la Royal School of Music.

Un año más tarde, O’Neil (1997) encontraba que las horas de práctica musical en niños noveles entre 7 y 9 años predecía sus avances. Este mismo autor recalcó, tanto la cantidad de práctica como el nivel motivacional general en la tarea. A su vez, mostró que la inteligencia y la aptitud musical medidas antes del inicio de la práctica no influían en los logros posteriores.

Así, se piensa que la edad de comienzo de los estudios y la experiencia para la ejecución



musical juegan un papel muy importante en los cambios estructurales del cerebro. El comienzo del entrenamiento musical es crucial tanto como lo es, por ejemplo, para los sujetos invidentes, la edad de inicio de su ceguera. Esto es, cuanto antes se empiece el estudio de la música, mejor ejecución, así como cuanto antes se produzca la ceguera, mejores estrategias compensatorias se desarrollan.

Ello no significa que no se puedan adquirir habilidades posteriores pero para una ejecución musical similar haría falta mucho más esfuerzo. Este efecto es similar al que sucede en los periodos en los que la plasticidad cerebral facilita el aprendizaje de segundos idiomas.

## DISCUSIÓN GENERAL

Existen varias ideas presentes a lo largo de la literatura que no deben perderse de vista. La más importante es considerar los componentes melódicos de la música como independientes de los componentes rítmicos. Esta disociación también se encuentra en las diferentes baterías que evalúan habilidades musicales. Valgan como ejemplo las pioneras *Gordon's Musical Aptitude Profile* (Gordon, 1965) o el *Seashore's Tests of Musical Ability* (Seashore, 1960).

El lóbulo temporal y más concretamente los dos tercios mediales del giro de Heschl del hemisferio izquierdo, presentan en los sujetos músicos una extensa especialización para la discriminación de tonos. Como ya se ha expuesto, los aspectos melódicos de la música parecen ser estímulos óptimos para los que los efectos de plasticidad cerebral han configurado dichas áreas. El grado máximo de esa especialización lo representan los casos de Oído Absoluto en los que un determinado sujeto posee la capacidad de discriminar entre tonos sueltos, siendo capaz de nombrarlos en términos de escalas musicales.

Respecto a los componentes rítmicos, cabe destacar que han sido mayoritariamente estudiados respecto a la producción en detrimento de la comprensión de los mismos. Por ello, existe mayor desacuerdo entre los autores sobre las áreas implicadas en su procesamiento. Desacuerdo que no se cerrará hasta que se creen tareas válidas y fiables para la evaluación de la comprensión y percepción de ritmos.

Otro punto fuerte en común entre los autores que trabajan con sujetos músicos es la importancia de la edad de comienzo y las horas de práctica sobre la especial configuración que se produce en los cerebros de los músicos profesionales y escolarizados. Es a los 5 años, como ya se ha señalado, cuando la disociación entre melodía y ritmo aparece y es entonces cuando el exhaustivo estudio del lenguaje musical empieza a surtir efecto.

Sin embargo, todas estas afirmaciones no aparecen reflejadas en las construcciones teóricas. El modelo de Peretz, Chambod y Hyde (2003) es el más actual, pero en nuestra opinión, dicho modelo es parcial por varias razones.

En primer lugar, solo contempla la percepción de melodías monofónicas cuando la música que la gente oye cada día y que es relevante para el estudio suele ser polifónica (cuanto menos tiene dos voces). El hecho de simplificar el estímulo para facilitar la experimentación no debe hacernos olvidar la finalidad última de la misma, en nuestro caso, proponer la generación de nuevos y mejorados modelos acerca de tema que nos ocupa.

En segundo lugar, solo contempla el procesamiento y el reconocimiento de melodías por emparejamiento desde la memoria a largo plazo. De hecho, podría afirmarse que este modelo versa sobre memoria musical, alejándose por tanto de su pretensión última: facilitar la comprensión de la actividad musical humana (a la vez que ayudar a la evaluación y tratamiento de los pacientes con amusia).

En tercer y último lugar, no contempla ningún aspecto evolutivo relevante a pesar de la contundencia de los datos experimentales a este respecto.

Por todo ello, consideramos que en un modelo global deberíamos incluir dentro de las habilidades musicales la producción musical en todas sus vertientes (tanto melódica como rítmica,

tanto vocal como mediante instrumentos) y la lectoescritura de pentagrama para el caso de los sujetos músicos.

A su vez, existen otros aspectos que suelen olvidarse con facilidad y que sin duda están relacionados con las particulares habilidades que nos ocupan, como la retención de una determinada pieza en la memoria a corto plazo o la evocación espontánea desde la memoria a largo plazo (o Music Mental Imagery como se la ha llamado en la literatura).

## CONCLUSIONES

Efectivamente, la práctica musical que los músicos profesionales realizan desde la niñez condiciona la morfología y la funcionalidad posterior de sus cerebros, sobre todo, en lo que respecta a sus lóbulos temporales, corteza motora primaria, cuerpo calloso y cerebelo. Más concretamente, es entre los 4 y los 5 años cuando parece decisivo iniciar esa práctica, coincidiendo con la aparición de la disociación entre las tareas melódicas y rítmicas en el análisis factorial de las pruebas de habilidades musicales (Anvari *et al.*, 2002).

Sin embargo, ante la ausencia de modelos exhaustivos acerca de la actividad musical humana se hacen necesarias más investigaciones, desde más campos, en aras de no limitar el enfoque y saber cómo está organizada en realidad la música en el cerebro normal y qué ocurre mediante el entrenamiento exhaustivo de los músicos profesionales. A su vez, en posteriores investigaciones, sería conveniente considerar la música como un todo, sin fraccionar las frases, ni los compases, ni los acordes. Solo así llegaremos al modelo que pretendemos conocer.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aggleton, J.P., Kentrige, R.W., y Good, J.M.M. (1994). Handedness and musical ability: A study of professional orchestral players, composers, and choir members. *Psychology of Music*, 22, 148–156.
- Aleman, A., Nieuwenstein, M.R., Böcker, K.B. y Haan, E.H. (2000). Music training and mental imagery ability. *Neuropsychologia*, 38, 1664–1668.
- Amunts, K., Schlaug, G., Jancke, L., Steinmetz, H., Schleicher, A., Dabringhaus, A. y Zilles, K. (1997). Motor cortex and hand motor skills: Structural compliance in the human brain. *Human Brain Mapping*, 5 (3), 206–215.
- Annett, M. (1970). A classification of hand preference by association analysis. *British Journal of Psychology*, 61, 303–321.
- Annett, M. (1992). Parallels between asymmetries of Planum temporale and of hand skill. *Neuropsychologia*, 30, 951–962.
- Annett, M., Hudson, W., y Turner, A. (1974). The reliability of differences between the hands in motor skill. *Neuropsychologia*, 12, 527–531.
- Anvari, S.H., Trainor, L.J, Woodside, J. y Levy, B.A. (2002). Relations among musical skills, phonological processing, and early reading ability in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 83, 111–130.
- Ashburner, J. y Friston, K.J. (2002). Voxel-based morphometry - the methods. *Neuroimage*, 11, 805–821.
- Atterbury, B. W. (1985). Musical differences in learning-disabled and normal-achieving readers aged seven, eight and nine. *Psychology of Music*, 13, 114–123.
- Baharloo, S., Johnston, P.A., Service, S.K., Gitschier, J. y Freimer, N.B. (1998). Absolute pitch: an approach for identification of genetic and nongenetic components. *American Journal of Human Genetics*, 62, 224–231.

- Baharloo, S., Service, S.K., Risch, N., Gitschier, J. y Freimer, N.B. (2000). Familial aggregation of absolute pitch. *American Journal of Human Genetics*, 67, 755–758.
- Bailey, P., Von, Bonin, G. y McCulloch, W.S. (1950). *The isocortex of the chimpanzee*. Urbana. University of Illinois Press.
- Blood, A.J., Zatorre, R.J., Bermúdez, P. y Evans, A.C. (1999). Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions. *Nature Neuroscience*, 2, 382–387.
- Brodmann, K. (1909). *Vergleichende Loakalisationslehre der Grosshirnrinde*. Leipzig. J.A. Barth.
- Byrne, B. (1974). Handedness and musical ability. *British Journal of Psychology*, 65, 279–281.
- Christman, S. (1993). Handedness in musicians: Bimanual constraints on performance. *Brain and Cognition*, 22, 266–272.
- Dehaene-Lambertz, G. (2000). Cerebral Specialization for speech and Non-Speech Stimuli in Infants. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 3, 449 – 460.
- Demonét, J.F., Pric, C., Wise, R. y Frackowiak, R.S. (1994). Differential activation of right and left posterior sylvian regions by semantic and phonological tasks: a positron-emission tomography study in normal human subjects. *Neuroscience Letters*, 182, 25-28.
- Deutsch, D. y Pierce, J.R. (1992). The climate of auditory imagery and music. En: Reisberg, D. (Ed.), *Auditory imagery*. Hillsdale. Lawrence Erlbaum, 237–260.
- Economo, C. (1929). *The cytoarchitectonics of the human cerebral cortex*. London. Oxford Univ. Press.
- Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B. y Taub, E. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, 270, 305–307.
- Ericsson, K., Krampe, R. y Tesch-Romer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100, 363–406.
- Fry, C.J. (1990). Left-handedness: Association with college major, familial sinistrality, allergies, and asthma. *Psychological Reports*, 67, 419–433.
- Galaburda, A. y Sanides, F. (1980). Cytoarchitectonic organization of the human auditory cortex. *Journal of Comparative Neurology*, 190, 597–610.
- Gaser, C. y Schlaug, G. (2001). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *Neuroimage*, 13, 1168.
- Gates, A. y Bradshaw, J.L. (1977). The role of the cerebral hemispheres in music. *Brain and Language*, 4, 403–431.
- Gilbert, A.N. y Wysocki, C.J. (1992). Hand preference and age in the United States. *Neuropsychologia*, 30, 601–608.
- Gordon, E. (1965). *Musical aptitude profile*. Chicago. GIA.
- Göttestam, K.O. (1990). Left-handedness among students of architecture and music. *Perceptual and Motor Skills*, 70, 1323–1327.
- Gregersen, P.K., Kowalsky, E., Kohn, N. y Marvin, E. W. (1999). Absolute pitch: prevalence, ethnic variation, and estimation of the genetic component. *American Journal of Human Genetics*, 65, 911–913.
- Gregersen, P.K., Kowalsky, E., Kohn, N. y Marvin, E.W. (2001). Early childhood music education and predisposition to absolute pitch: Teasing apart genes and environment. *American Journal of Medical Genetics*, 98(3), 280-282.
- Gutschalk, A., Patterson, R.D., Scherg, M., Uppenkamp, S. y Rupp, A. (2004). Temporal dynamics of pitch in human auditory cortex. *Neuroimage*, 22(2), 755-766
- Hackett, T. A., Preuss, T. M. y Kaas, J. H. (2001). Architectonic identification of the core region in auditory cortex of macaques, chimpanzees and humans. *Journal of Comparative Neurology*, 441, 197–222.
- Halpern, A.R. y Zatorre, R.J. (1999). When that tune runs through your head: a PET investigation of auditory imagery for familiar melodies. *Cerebral Cortex*, 9(7), 697–704.

- Halpern, A.R. (1988). Mental scanning in auditory imagery for songs. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 14, 193–202.
- Hassler, M. y Birbaumer, N. (1988). Handedness, musical abilities, and dihapic and dichotic performance in adolescents: a longitudinal study. *Developmental Neuropsychology*, 4, 129–145.
- Hassler, M. y Gupta, D. (1993). Functional brain organization, handedness, and immune vulnerability in musicians and non-musicians. *Neuropsychologia*, 31, 655–660.
- Hassler, M., Gupta, D. y Wollmann, H. (1992). Testosterone, estradiol, ACTH and musical, spatial and verbal performance. *International Journal of Neuroscience*, 65, 45–60.
- Hebb, D.O. (1949). *The Organization of Behavior*. New York. Wiley.
- Hirata, Y., Kuriki, S. y Pantev, C. (1999). Musicians with absolute pitch show distinct neural activities in the auditory cortex. *Neuroreport* 10, 999–1002.
- Hopf, A. (1964). Localization in the cerebral cortex from the anatomical point of view. En Schaltenbrand, G. y Woolsey, C. N. (Ed.), *Cerebral localization and organization*. Madison. University of Wisconsin Press, 5–10.
- Howard, M.A., Volkov, I.O., Abbas, P.J., Damasio, H., Ollendieck, M.C. y Granner, M.A. (1996). A chronic microelectrode investigation of the tonotopic organization of human auditory cortex. *Brain Research*, 724, 260–264.
- Howard, M.A., Volkov, I.O., Mirsky, R., Garell, P.C., Noh, M.D., Granner, M., Damasio, H., Steinschneider, M., Reale, R.A., Hind, J.E. y Brugge, J.F. (2000). Auditory cortex on the human posterior superior temporal gyrus. *Journal of Comparative Neurology*, 416, 79–92.
- Irvine, D.R.F. y Rajan, R. (1995). Advances in Hearing Research. En Manley, G.A., Klump, G.M., Kappl, C., Fastl, M. y Oeckinghaus, H. (Ed.). *Proceedings of the 10th International Symposium on Hearing*. Singapore. World Scientific Publishing Co., 3-23.
- Jäncke, L., Schlaug, G., Huang, Y. y Steinmetz, H. (1994). Asymmetry of the planum parietale. *Neuroreport*, 5, 1161–1163.
- Jäncke, L., Schlaug, G. y Steinmetz, H. (1997). Hand skill asymmetry in professional musicians. *Brain Cognition*, 34, 424–432.
- Keenan, J.P., Thangaraj, V., Halpern, A. R. y Schlaug, G. (2001). Absolute pitch and planum temporale. *Neuroimage*, 14, 1402–1408.
- Koelsch, S., Schröger, E. y Tervaniemi, M. (1999). Superior pre-attentive auditory processing in musicians. *Neuroreport*, 10, 1309–1313.
- Kopiez, R. y Galley, N. (2002). The Musicians' Glance: A Pilot Study Comparing Eye Movement Parameters In Musicians And Non-Musicians. En Stevens, C., Burnham, D., McPherson, G. y Schubert, E. y Renwick, J. (Ed.), *Proceedings of the 7th International Conference on Music Perception and Cognition*. Adelaide, Sydney. Causal Productions.
- Kosslyn, S.M., Ball, T.M. y Reiser, B.J. (1978). Visual images preserve metric spatial information: evidence from studies of image scanning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 47–60.
- Kuriki, S., Hirata, Y., Fujimaki, N. y Kobayashi, T. (1996). Cerebral activities of the human brain in a delayed matching task of visual characters. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology Supplement*, 47, 209-218.
- Leonard, C.M., Puranik, C., Kuldau, J. M. y Lombardino, L. J. (1998). Normal variation in the frequency and location of human auditory cortex. Heschl's gyrus: where is it?. *Cerebral Cortex*, 8, 397–406.
- Liegeois-Chauvel C., Lorenzi C., Trebuchon A., Regis J., y Chauvel, P. (2004). Temporal envelope processing in the human left and right auditory cortices. *Cerebral Cortex*, 14(7), 731-740.
- Liegeois-Chauvel, C., Musolino, A., Badier, J.M., Marquis, P. y Chauvel, P. (1994). Evoked potentials recorded from the auditory cortex in man: evaluation and topography of the middle latency components. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology Supplement*, 92,

204–214.

- Liegeois-Chauvel, C., Musolino, A. y Chauvel, P. (1991). Localization of the primary auditory area in man. *Brain*, *114*, 139–151.
- Liégeois-Chauvel, C., Peretz, I., Bahaï, M., Laguitton, V. y Chauvel, P. (1998). Contribution of different cortical areas in the temporal lobes to music processing. *Brain*, *121*, 1853–1867.
- Lin, K. L., Kobayashi, M. y Pascual-Leone, A. (2002). Effects of musical training on speech: induced modulation in corticospinal excitability. *Neuroreport*, *13*, 899–902
- Lütkenhöner, B. y Steinsträter, O. (1998). High-precision neuromagnetic study of the functional organization of human auditory cortex. *Audiology and Neuro-otology*, *3*, 191–213.
- 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*, 540–545.
- Merzenich, M.M., Kaas, J.H. y Roth, G.L. (1976). Comparison of tonotopic maps in animals. *Journal of Comparative Neurology*, *166*, 387–402.
- Merzenich, M.M., Knight, P.L. y Roth, G.L. (1973). Cochleotopic organization of primary auditory cortex in the cat. *Brain Research*, *63*, 343–346.
- Meyer, A. (1977). The search for a morphological substrate in the brains of eminent persons including musicians: a historical review. En Macdonald, C. y Henson, R.A. (Ed.), *Music and the brain: studies in the neurology of music*. London. Heinemann Medical Books, 255–281.
- Morosan, P., Rademacher, J. y Schleicher, A. (2001). Human primary auditory cortex: cytoarchitectonic subdivisions and mapping into a spatial reference system. *Neuroimage*, *13*, 684–701.
- Nakada, T., Fujii, Y., Suzuki, K. y Kwee, I.L. (1998). 'Musical brain' revealed by high-field (3 Tesla) functional MRI. *NeuroReport*, *9*, 3853- 3856.
- O'Neill, S. (1997). The role of practice in early musical performance achievement. En Jorgensen, H. y Lehmann, A. (Ed.), *Does practice make perfect? Current theory and research*. Oslo. Norges Musikhogskole, 53–70.
- Ohnishi, T., Matsuda, H., Asada, T., Aruga, M., Hirakata, M., Nishikawa, M., Katoh, A. e Imabayashi, E. (2001). Functional anatomy of musical perception in musicians. *Cerebral Cortex*, *11*, 754–760.
- Oldfield, R.C. (1969). Handedness in musicians. *British Journal of Psychology*, *60*, 91–99.
- Pantev, C., Hoke, M., Lehnertz, K., Lutkenhoner, B., Anogianakis, G. y Wittkowski, W. (1988). Tonotopic organization of the human auditory cortex revealed by transient auditory evoked magnetic fields. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology Supplement*, *69*, 160–170.
- Pantev, C., Oostenveld, R., Engelien, A., Ross, B., Roberts, L.E. y Hoke, M. (1998). Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*, *392*, 811–814.
- Patel, A.D. y Balaban, E. (2001). Human pitch perception is reflected in the timing of stimulus-related cortical activity. *Nature Neuroscience*, *4*, 839–844.
- Penhune, V.B., Zatorre, R.J., MacDonald, J.D. y Evans, A.C. (1996). Interhemispheric anatomical differences in human primary auditory cortex: probabilistic mapping and volume measurement from magnetic resonance scans. *Cerebral Cortex*, *6*, 661–672.
- Perelle, I.B. y Ehrman, L. (1994). An international study of human handedness: The data. *Behavior Genetics*, *24*, 217–228.
- Peretz, I., Champod, A.S. y Hyde, K. (2003). Varieties of musical disorders. The Montreal Battery of Evaluation of Amusia (MBEA). *Annals of the New York Academy of Sciences*, *999*, 58–75.
- Peters, M. (1981). Handedness: Effects of prolonged practice on between hand performance differences. *Neuropsychologia*, *19*, 587–590.
- Profita, J. y Bidder, T.G. (1988). Perfect pitch. *American Journal of Medical Genetics*, *29*, 763–771.

- Rademacher, J., Morosan, P., Schormann, T., Schleicher, A., Werner, C., Freund, H.J. y Zilles, K. (2001). Probabilistic mapping and volume measurement of human primary auditory cortex. *Neuroimage*, 13, 669–683.
- Rauschecker, J.P. y Tian, B. (2000). Mechanisms and streams for processing of “what” and “where” in auditory cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97, 11800–11806.
- Rauschecker, J.P., Tian, B. y Hauser, M. (1995). Processing of complex sounds in the macaque nonprimary auditory cortex. *Science*, 268, 111–114.
- Recanzone, G.H., Schreiner, C.E. y Merzenich, M.M. (1993). Plasticity in the frequency representation of primary auditory cortex following discrimination training in adult owl monkeys. *Journal of Neuroscience*, 13, 87–103.
- Regnault, P., Bigand, E. y Besson, M. (2001). Different brain mechanisms mediate sensitivity to sensory consonance and harmonic context: evidence from auditory event related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 241–255.
- Revesz, G. (1953). *Introduction to the Psychology of Music*. London. Longmans Green.
- Ridding, M.C., Brouwer, B. y Nordstrom, M.A. (2000). Reduced interhemispheric inhibition in musicians. *Experimental Brain Research*, 133, 249–253.
- Rivier, F. y Clarke, S. (1997). Cytochrome oxidase, acetylcholinesterase, and NADPH-diaphorase staining in human supratemporal and insular cortex: evidence for multiple auditory areas. *Neuroimage*, 6, 288–304.
- Roederer, J.G. (1929). *Introduction to the physics and psychophysics of music*. New York. Springer-Verlag.
- Ross, D.A., Olson, I.R. y Gore, J.C. (2003). Absolute pitch does not depend on early musical training. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 522–526.
- Russeler, J., Altenmüller, E., Nager, W., Kohlmetz, C. y Münte, T.F. (2001). Event-related brain potentials to sound omissions differ in musicians and non-musicians. *Neuroscience Letters*, 308, 33–36.
- Schiavetto, A., Cortese, F. y Alain, C. (1999). Global and local processing of musical sequences: an event-related brain potential study. *Neuroreport* 10, 2467–2472.
- Schlaug, G. (2001). The brain of musicians. A model for functional and structural adaptation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 281–299.
- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., Staiger, J.F. y Steinmetz, H. (1995). Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia*, 33, 1047–1055.
- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y. y Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, 267, 699–701.
- Schneider, P., Scherg, M., Dosch, H.G., Specht, H.J., Gutschalk, A. y Rupp, A. (2002). Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience*, 5(7), 688–694.
- Seashore, C.E. (1960). *Seashore measures of musical talents*. New Cork. Psychological Corporation.
- Seldon, H.L. (1981). Structure of human auditory cortex. I. Cytoarchitectonics and dendritic distributions. *Brain Research*, 229, 277–294.
- Seldon, H.L. (1985). The anatomy of speech perception. Human auditory cortex. En Peters, A. y Jones, E.G. (Ed.), *Cerebral cortex. Vol. 4. Association and auditory cortices*. New York. Plenum, 273–327.
- Shapleske, J., Rossell, S.L., Woodruff, P.W.R. y David, A.S. (1999). The planum temporale: a systematic, quantitative review of its structural, functional and clinical significance. *Brain Research Reviews*, 29, 26–49.
- Sloboda, J. y Davidson, J. (1996). The young performing musician. En Deliege, I. y Sloboda,

- J. (Ed.), *Musical Beginnings*. Oxford. Oxford University Press.
- Steinmetz, H., Rademacher, J., Huang, Y.X., Hefter, H., Zilles, K., Thron, A. y Freund, H.J. (1989). Cerebral asymmetry: MR planimetry of the human planum temporale. *Journal of Computer Assisted Tomography*, 13, 996–1005.
- Tervaniemi, M., Kujala, A., Alho, K., Virtanen, J., Ilmoniemi, R. J. y Naatanen, R. (1999). Functional specialization of the human auditory cortex in processing phonetic and musical sounds: a magnetoencephalographic (MEG) study. *Neuroimage*, 9, 330–336.
- Tervaniemi, M., Rytönen, M., Schroger, E., Ilmoniemi, R. J. y Näätänen, R. (2001). Superior formation of cortical memory traces for melodic patterns in musicians. *Learning Memory*, 8, 295–300.
- Tian, B., Reser, D., Durham, A., Kustov, A. y Rauschecker, J. P. (2001). Functional specialization in rhesus monkey auditory cortex. *Science*, 292, 290-293.
- Tiitinen, H., Alho, K., Huotilainen, M., Ilmoniemi, R.J., Simola, J., Naatanen, R. (1993). Tonotopic auditory cortex and the magnetoencephalographic (MEG) equivalent of the mismatch negativity. *Psychophysiology*, 30, 537–540.
- Tulving, E., Kapur, S., Craik, F.I.M., Moscovitch, M., y Houle, S. (1994). Hemispheric encoding/retrieval asymmetry in episodic memory: positron emission tomography findings. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91, 2016–2020.
- Van Lare, J.E., Zielinski, B.A. y Rauschecker, J.P. (1999). Anticipatory musical imagery: functional MRI studies of the human brain. *Talk at International Society for Systematic and Comparative Musicology*. Oslo, Norway.
- Wallace, M.N., Johnston, P.W. y Palmer, A.R. (2002). Histochemical identification of cortical areas in the auditory region of the human brain. *Experimental Brain Research*, 143, 499–508.
- Wessinger, C.M., VanMeter, J., Tian, B., Van Lare, J., Pekar, J. y Rauschecker, J.P. (2001). Hierarchical organization of human auditory cortex revealed by functional magnetic resonance imaging. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 1–7.
- Zatorre, R.J. (2004). Processing of music and speech by the human auditory cortex: Neuroimaging evidence. *Brain and cognition*, 54(2), 129-129.
- Zatorre, R.J. y Binder, J. R. (2000). En Toga, A.W. y Mazziotta, J.G. (Ed.), *Brain Mapping the Systems*. San Diego, California. Academic, 365–402.
- Zatorre, R.J., Bouffard, M. y Belin, P. (2004). Sensitivity to auditory object features in human temporal neocortex. *Journal of Neuroscience*, 24(14), 3637-3642.
- Zatorre, R.J., Halpern, A.R., Perry, D.W., Meyer, E. y Evans, A.C. (1996). Hearing in the mind's ear: a PET investigation of musical imagery and perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8, 29–46.
- Zatorre, R. J. y Peretz, I. (2001). The biological foundations of music. *Annals of New York Academy of Sciences*, 930.
- Zatorre, R.J., Perry, D.W., Beckett, C.A., Westbury, C.F. y Evans, A.C. (1998). Functional anatomy of musical processing in listeners with absolute pitch and relative pitch. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 3172–3177.