

## REVISIÓN

# Modelo de cognición musical y amusia<sup>☆</sup>

N. García-Casares<sup>a,b,\*</sup>, M.L. Berthier Torres<sup>a,b</sup>, S. Froudust Walsh<sup>a</sup> y P. González-Santos<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Unidad de Neurología Cognitiva y Afasias, Centro de Investigaciones Médico-Sanitarias (CIMES), Málaga, España

<sup>b</sup> Departamento de Medicina, Facultad de Medicina. Universidad de Málaga, Málaga, España

Recibido el 15 de febrero de 2011; aceptado el 7 de abril de 2011

Accesible en línea el 11 de junio de 2011

### PALABRAS CLAVE

Amusia;  
Cognición musical;  
Cerebro y música;  
Percepción musical;  
Memoria musical;  
Neurociencia de la  
música;  
Rehabilitación y  
música

### Resumen

**Introducción:** El estudio de las redes neuronales implicadas en el procesamiento de la música ha recibido menos atención que la dispensada al lenguaje proposicional. Desde hace dos décadas existe un interés creciente en conocer los mecanismos funcionales del cerebro musical y los trastornos que surgen del daño de las estructuras implicadas en la percepción y producción de la música.

**Desarrollo:** Los déficits congénitos y adquiridos del procesamiento musical en cualquiera de sus componentes (percepción, ejecución, memoria musical) se engloban dentro del término genérico amusia. En este trabajo se presenta una revisión selectiva del «estado-del-arte» de los procesos cognitivos y neurales implicados en la música y los diferentes tipos de amusias.

**Conclusiones:** El procesamiento musical depende de una amplia red neural córtico-subcortical distribuida en ambos hemisferios cerebrales y cerebelo. El análisis de sujetos sanos con neuroimagen funcional y de los déficits selectivos en los componentes musicales (p. ej., tono, ritmo, timbre, contorno melódico) en pacientes con amusia mejorarán nuestro conocimiento acerca de los mecanismos implicados en el procesamiento musical y su relación con otros procesos cognitivos.

© 2011 Sociedad Española de Neurología. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

### KEYWORDS

Amusia;  
Music cognition;  
Brain and music;  
Musical perception;  
Musical memory;  
Musical neuroscience;  
Musical rehabilitation

### Model of music cognition and amusia

#### Abstract

**Introduction:** The study of the neural networks involved in music processing has received less attention than work researching the brain's language networks. For the last two decades there has been a growing interest in discovering the functional mechanisms of the musical brain and understanding those disorders in which brain regions linked with perception and production of music are damaged.

<sup>☆</sup> El presente texto se ha enviado parcialmente en su contenido, a la página web Neurowikia (portal de contenidos en neurología).

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [Nagcasares@gmail.com](mailto:Nagcasares@gmail.com) (N. García-Casares).

**Discussion:** Congenital and acquired musical deficits in their various forms (perception, execution, music-memory) are grouped together under the generic term amusia. In this selective review we present the "cutting edge" studies on the cognitive and neural processes implicated in music and the various forms of amusia.

**Conclusions:** Musical processing requires a large cortico-subcortical network which is distributed throughout both cerebral hemispheres and the cerebellum. The analysis of healthy subjects using functional neuroimaging and examination of selective deficits (e.g., tone, rhythm, timbre, melodic contours) in patients will improve our knowledge of the mechanisms involved in musical processing and the latter's relationship with other cognitive processes.

© 2011 Sociedad Española de Neurología. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

## Introducción

La música desde la más remota antigüedad ha ocupado un lugar preferente en todas las culturas siendo el lenguaje más universal y un fenómeno de gran complejidad difícil de describir. Darwin en su libro *El origen del hombre y de la selección en relación al sexo* (1871) planteó el enigma del origen de la música dentro de la evolución del ser humano, sin encontrar respuestas, y manifestó su perplejidad e incompreensión sobre la función biológica de la música dentro de nuestra especie cuando escribió: «La música debe ser clasificada entre los dones más misteriosos que le han sido dados al ser humano». La música emerge innata como precursor del lenguaje hablado. Así, los bebés son sensibles a melodías y ritmos incluso desde la etapa intrauterina. A medida que crecemos aprendemos que la música es un elemento integral de nuestra cultura y que favorece un estilo peculiar de comunicación y relaciones sociales así como la capacidad de expresar emociones a través de ella<sup>1-3</sup>. De manera similar a lo que sucede con las funciones lingüísticas verbales, el procesamiento musical se sustenta en una base estructural mediante redes neuronales específicas, pues la evidencia reciente indica que la música está bien diferenciada de otros procesos cognitivos. De hecho, las alteraciones selectivas del procesamiento musical han demostrado la independencia de estas redes neuronales de otras encargadas del lenguaje hablado y de las de los sonidos ambientales<sup>4-8</sup>. 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 fundados en bases neurocientíficas<sup>9</sup>.

## Modelo cognitivo musical

Cuando escuchamos una pieza musical se activan una serie de procesos básicos tales como familiaridad de la melodía, memoria musical, reconocimiento de la lírica, afectividad y otros muchos. La integración de todos estos componentes actuando «en concierto» se debe a un procesamiento cerebral complejo en el que participan de forma simultánea y/o sucesiva múltiples circuitos neuronales. Así, es esencial disponer de modelos teóricos basados en la evidencia científica que identifiquen los componentes implicados en el procesamiento musical, como conocer sus probables interacciones.

Peretz y Coltheart diseñaron un modelo de arquitectura funcional para el procesamiento de la música basándose

en estudios de pacientes con daño cerebral<sup>10</sup>. De acuerdo con este modelo, que se basó en la percepción de melodías monofónicas (una sola voz), la recepción de la música se organiza en dos sistemas que operan de modo independiente y en paralelo. Uno de ellos ha sido denominado sistema melódico (SM) y se encarga del procesamiento de la melodía, mientras que el otro es el sistema temporal (ST), que se ocupa, como su nombre indica, del procesamiento del tiempo de la música. El SM se encarga de procesar toda la información de la melodía, y discrimina a su vez dos componentes fundamentales: tonos (cada una de las notas de dicha melodía) e intervalos o la relación entre cada una de estas notas (distancia entre ellas y dirección ascendente o descendente). Para procesar la melodía o contorno melódico es necesario integrarlos en un mecanismo de percepción global. Una investigación reciente ha demostrado que los componentes esenciales de la ruta melódica acontecen en el giro temporal superior derecho a través de sus conexiones con las áreas frontales ipsilaterales<sup>11</sup>. De forma complementaria, el ST es el encargado de enmarcar la melodía conformada por el SM en el tiempo a través de otros dos componentes: ritmo (duración de las notas) y métrica musical (partes fuertes y débiles por unidad de tiempo conformado el compás musical [compás de 2/4; compás de 6/8]). El ST es finalmente integrado en un mecanismo de percepción global<sup>12</sup>. Además, la ruta del ritmo puede verse alterada con indemnidad de la métrica y viceversa como se describe a continuación.

Los dos sistemas actúan conjuntamente y de esta forma, el cerebro dañado puede selectivamente perder el *cómo* (SM) y/o el *cuándo* (ST) de la percepción de la música. Ambas redes (SM y ST) envían información al léxico musical conformando el repertorio musical (RM) (recopilación de piezas y obras). El léxico musical engloba el RM y contiene la representación perceptiva de todas las obras y piezas musicales a las que uno ha estado expuesto durante toda la vida. El léxico musical además incluye la memoria musical y mantiene un registro que almacena cualquier obra o pieza musical nueva entrante, de tal forma que éste incluye el reconocimiento de las melodías familiares, pero también de las no familiares. Así, cuando el léxico musical está dañado, el sujeto no puede reconocer melodías familiares ni grabar las nuevas. La salida del léxico musical bien de forma espontánea o en respuesta a la recepción de un estímulo puede transmitirse finalmente a varios componentes diferentes en función de los requerimientos: a) activación de los léxicos

fonológicos (entrada y salida) para la recuperación de las letras de melodías; *b*) programación de fonología y articulación para iniciar un plan de programación vocal para el canto; *c*) activación de funciones motoras para ejecución musical, y *d*) activación de memorias asociativas multimodales para la recuperación de material no-musical (título de una obra musical, contexto de un concierto, emociones relacionadas con una melodía). En este último requerimiento (*d*) los módulos perceptivos conectan con las rutas de la emoción en paralelo con los procesos mnésicos pero de manera independiente, permitiendo al oyente reconocer una obra musical y experimentar emociones. Se ha sugerido que la ruta emocional es independiente del análisis no emocional de la música y de esta manera es susceptible a dañarse de forma selectiva<sup>10</sup>. Los estudios recientes de neuroimagen funcional con tomografía por emisión de positrones (PET) y resonancia magnética funcional (RMf) están validando con bases neurocientíficas el modelo teórico propuesto por Peretz y Coltheart<sup>13-15</sup>.

En conclusión, una alteración en cualquiera de estas conexiones permite explicar las dificultades para la integración musical que padecen los pacientes con daño cerebral. Sin estos pilares básicos, no se puede percibir la melodía, armonía, escala y otras rasgos musicales al igual que en el lenguaje no se pueden comprender textos desprovistos de palabras, sílabas o letras.

## Conceptualización de la amusia. Tipos de amusias

El daño de uno o varios componentes básicos de la percepción musical causa un síndrome llamado de forma genérica amusia (también se ha asignado otro nombre como agnosia musical). El término amusia fue acuñado por Steinhals en 1871 para referirse de forma genérica a la incapacidad para percibir la música<sup>16-18</sup>. En los años siguientes, Knoblauch, físico y anatomista alemán, siguiendo el legado de Kussmaul, Lichtheim y Wernicke, propuso un modelo diagramático de la música (1888/1890), que se considera actualmente como el primer modelo cognitivo para el procesamiento de la música<sup>19</sup>. La amusia puede acontecer tanto de forma adquirida como de forma congénita.

Los casos adquiridos de amusia suceden tras una lesión cerebral que, en función de su localización, puede alterar diversas funciones musicales (p. ej., expresión, percepción, ejecución, ritmo, lectura, escritura) y es por ello que se han descrito varios tipos clínicos de amusias, que a continuación detallamos. Desconocemos la incidencia de la amusia adquirida y la revisión de la literatura, desde 1965 a 2010 indica que se han publicado diversos casos de amusia adquirida de gran variabilidad en cuanto a manifestaciones clínicas y localizaciones anatómicas (tablas 1 y 2)<sup>18,20-30</sup>.

La amusia congénita que aparece desde el nacimiento, es también llamada «la auténtica sordera al tono», ya que el déficit para el procesamiento de tonos es la norma en casi todos los pacientes. Según algunos estudios, parece que la amusia congénita está presente en un 5% de la población<sup>31</sup>. Estudios en gemelos y en familiares de primer grado de pacientes con amusia congénita han demostrado también déficits en el procesamiento de tonos, sugiriendo que este

**Tabla 1** Características principales de amusias adquiridas en casos únicos publicados en la literatura (1965-2010)

<i>Etiología, n = 53</i>	
Infarto	33
Hemorragia	9
Infecciosa	2
Degenerativa	5
Tumor	3
Malformación arterio-venosa	1
<i>Edad</i>	
≤ 50 años	18
> 50 años	35
<i>Sexo</i>	
Varones	17
Mujeres	36
<i>Dominancia manual</i>	
Diestros	48
Zurdos	1
Ambidiestros	3
<i>Músico profesional</i>	
Sí	25
No	28
<i>Lateralización hemisférica de la lesión</i>	
Derecho	12
Izquierdo	19
Bilateral	22
<i>Afasia</i>	
Sí	30
No	23

desorden es hereditario y está asociado a diferencias estructurales en los lóbulos frontal y temporal<sup>32-35</sup>.

Los intentos de clasificación de las amusias han sufrido las mismas controversias y creación de una miríada de etiquetas diagnósticas que las ocurridas en las clasificaciones de las afasias. Una complicación añadida para establecer una correcta clasificación de las amusias es que este trastorno es considerado raro y la mayoría de las descripciones

**Tabla 2** Tipos de déficits en amusias adquiridas (1965-2010)

Tipo de déficit	
Discriminar tonos	29
Discriminar ritmos	22
Reconocer melodías	20
Discriminar timbres	15
Cantar	12
Ejecución instrumental	10
Emoción con música	9
Lectura musical	8
Escritura musical	9
Discriminar voces	3
Discriminar sonidos ambientales	4

La mayoría de los casos presenta más de un déficit y solo se indica el déficit más relevante.

clínicas y patológicas están basadas en el estudio de casos únicos. En un intento de clasificación, Arthur L. Benton identificó más de una docena de variedades de amusias y entre ellas la forma receptiva y la interpretativa<sup>36</sup>. Las clasificaciones clínicas actuales definen la pérdida de la habilidad de cantar, silbar o murmurar como amusia motora; la pérdida de la habilidad para discriminar tonos, amusia perceptiva, sensorial o sordera al tono; la pérdida de la capacidad para reconocer piezas musicales conocidas, amnesia musical; la pérdida de la habilidad de tocar un instrumento, apraxia musical o amusia instrumental; la incapacidad para escribir música, agrafia musical, y la incapacidad para leer música, alexia musical.

Hay que tener en cuenta que los pacientes con amusia (congénita o adquirida) presentan dificultades para comprender la música a pesar que su sistema auditivo y otras funciones cognitivas permanecen intactas, sin presentar ningún otro defecto neurológico asociado y una adecuada exposición al ambiente musical<sup>11</sup>. Sin embargo, la evidencia indica que la pérdida de las habilidades musicales no necesariamente guarda relación con la pérdida de las funciones verbales, tal y como se observa en pacientes que a pesar de perder sus capacidades para el lenguaje hablado (afasia) preservan sus habilidades musicales. Ejemplo de esto es el destacado caso del compositor ruso Vissarion Y. Shebalin (1902-1963), estudiado exhaustivamente por Alexander R. Luria et al (1965) y publicado con el título «Afasia en un compositor»<sup>37</sup>. Sorprendentemente, tras sufrir un ictus asociado a una afasia de Wernicke con jergafasia, el compositor fue capaz de componer su quinta sinfonía, demostrando la indemnidad de sus capacidades musicales. Por el contrario, existen otros casos que tras un daño cerebral mantienen la capacidad de reconocer las letras de canciones conocidas, poesías, voces familiares o sonidos ambientales, aunque son incapaces de identificar la música que hay en ellas<sup>38</sup>. Igualmente, existen casos mixtos que combinan amusia con afasia, como el ocurrido en el compositor francés Maurice Ravel (1875-1937), quien en el contexto de una afasia primaria progresiva de Wernicke, apraxia ideomotora, alexia y agrafia perdió algunas de sus capacidades musicales. Ravel era incapaz de cantar, tocar el piano, escribir y leer música, pero a su vez podía reconocer melodías y emocionarse con ellas. Ravel no podía escribir la música que su cerebro creaba y su música permaneció encarcelada en su mente sin poder expresarla. Mientras asistía a un concierto de sus propias obras y ante tanta frustración dijo: «*Et puis, j'avais encore tant de musique dans la tête*» («¡Y todavía existe tanta música en mi cabeza!»)<sup>30</sup>.

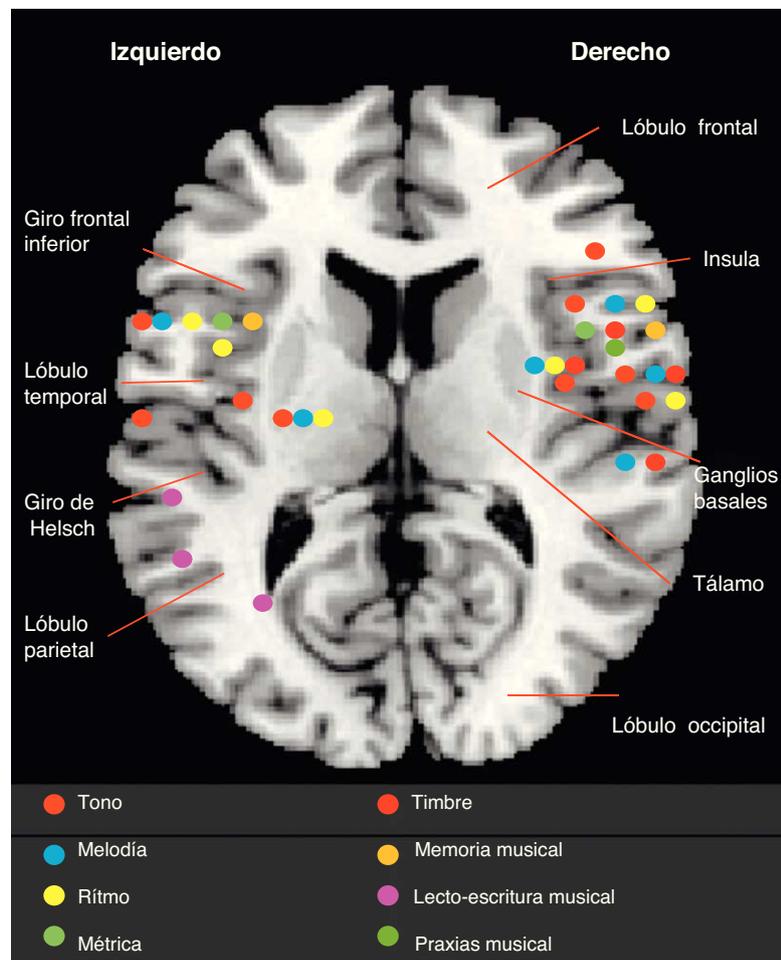
Los sujetos con «sordera al tono» no discriminan la dirección de un sonido (fundamento esencial para construir el contorno melódico), no reconocen melodías que le son familiares, desafinan al cantar, desconocen cuando otros desafinan y todas las melodías les parecen parecidas entre sí. Son incapaces de encontrarle sentido alguno a la música. El mismo Sigmund Freud expresaba: «No entiendo la música ni su efecto estético»<sup>16</sup>. La sordera al tono, por tanto, se podría considerar el extremo opuesto al oído absoluto (habilidad para discriminar los diferentes sonidos sin ninguna referencia en relación con una extraordinaria memoria auditiva). Se han descrito también casos de sordera al ritmo sin sordera al tono (¿agnosia al ritmo?), aunque esta condición es posiblemente excepcional, pues el ritmo tiene una

amplia representación cerebral<sup>39</sup>. En general, el déficit en el procesamiento de los tonos musicales es una alteración consistente en casi todos los sujetos amúsicos congénitos y la mayoría de los adquiridos, aunque la afectación rítmica solo está afectada en algunos de ellos<sup>40,30,41</sup>. Un paciente con sordera al tono de forma absoluta o que padece una amusia perceptiva completa difícilmente disfrutará de la música, ya que ésta no se percibe como tal. Para estos pacientes, la música representa incluso algo desagradable y además es frecuente que desarrollen conductas de evitación ante cualquier fenómeno o evento musical (dejar de asistir a conciertos, escuchar música en privado). Por ejemplo, un paciente con amusia congénita con sordera al tono comentó del segundo concierto de Rachmaninov para piano y orquesta: «Es estrepitoso y ruidoso»<sup>42</sup>. Otros calificativos recogidos en testimonios de pacientes amúsicos describen la percepción musical como: estridente, chirriante, explosivo, similar al ruido producido al golpear objetos metálicos como ollas y cacerolas. Se ha sugerido que estos pacientes afectados por un grado extremo de amusia, además de sordera al tono, probablemente también conllevan una alteración del procesamiento del timbre, es decir, el matiz o el color de un sonido independientemente que sea grave o agudo (p. ej., diferencia auditiva al escuchar una misma nota tocada en un violín de un piano). Esto ha justificado que recientemente a esta condición de amusia grave y extrema se comience a denominar «distimbria»<sup>29,39,43</sup>.

## Correlatos anatómicos del procesamiento musical

Es demasiado simplista y erróneo continuar con la generalización que la función musical es competencia del hemisferio derecho y la lingüística del hemisferio izquierdo, pues los hallazgos encontrados en las investigaciones recientes sobre el cerebro musical no reflejan esta afirmación.

Los casos documentados de amusia no sólo localizan déficits musicales en el hemisferio derecho (fig. 1). Además, conocemos que el procesamiento musical es diferente entre sujetos; así los músicos profesionales procesan la música de forma diferente que los no músicos implicando distintas áreas cerebrales. Ambos hemisferios, y de forma complementaria, contribuyen a la percepción de los dos sistemas (melódico y temporal), con una clara predominancia del hemisferio derecho, que desempeña un papel importante en términos de percepción global sobre todo en los sujetos no músicos diestros. La corteza auditiva derecha primaria (área de Brodmann [AB] 41) y secundaria (AB 42) son cruciales en la percepción musical, por ello, una anomalía congénita o adquirida en la corteza auditiva derecha de un individuo, predice una importante alteración musical<sup>4,44</sup>. En un estudio reciente en pacientes diestros con infartos de arteria cerebral media derecha e izquierda se ha evidenciado que los pacientes con daño hemisférico derecho presentaban una amusia más grave que los amúsicos con daño hemisférico izquierdo<sup>45</sup>. Sin embargo, la subespecialización musical en los músicos expertos diestros involucra múltiples áreas del hemisferio izquierdo favoreciendo una interconexión de ambos hemisferios, determinando funciones más específicas y concretas. Así, estudios con técnicas de neuroimagen



**Figura 1** Localizaciones anatómicas y déficits más relevantes de casos descritos de amusia adquirida. Resonancia magnética en proyección axial (MRICroN: x 91, y 126, z 83).

en músicos profesionales han demostrado la importancia del hemisferio izquierdo en tareas musicales que requieren un trabajo más analítico<sup>46,47</sup>.

El conocimiento actual de las estructuras implicadas en el procesamiento musical se ha basado, fundamentalmente, en el estudio de correlación entre las áreas afectadas y los déficits musicales encontrados en los casos publicados (fig. 1) y evoluciona considerablemente con el advenimiento de las nuevas tecnologías y las investigaciones en este campo<sup>48</sup>.

Bouillaud<sup>49</sup>, en 1865, describió la primera serie de casos de pacientes con daño cerebral y pérdida de habilidades musicales y en 1920 Henschen<sup>50</sup> publicó la primera monografía sobre amusia. Milner, en 1962, investigó funciones musicales en un grupo de pacientes con epilepsia intratable que fueron sometidos a una lobectomía temporal. Peretz et al<sup>51</sup>, quienes estudiaron pacientes intervenidos de cortectomía temporal tanto izquierda como derecha, concluyen que el hemisferio derecho, representa la melodía y el contorno melódico en términos de globalidad, mientras que el hemisferio izquierdo se encarga de codificar cada una de las notas o intervalos que dibujan ese contorno melódico de forma más específica. Sin embargo, no hay una clara lateralización hemisférica para el ritmo, habiéndose encontrado alteraciones del ritmo en pacientes con daño tanto hemisférico

izquierdo como en derecho<sup>52</sup> con una amplia representación cerebral.

En relación con la memoria musical, algunos estudios han concluido que el aprendizaje y la retención de melodías no familiares implican más al hemisferio derecho y el reconocimiento de melodías familiares parece que depende más del hemisferio izquierdo<sup>53,54</sup>.

En pacientes con amusia congénita, los estudios volumétricos con RM cerebral han encontrado una reducción de la sustancia blanca en la corteza frontal, concretamente en las AB 47/44 del giro frontal inferior derecho (GFId) respecto a personas sanas. La disminución de la sustancia blanca se correlacionó con una alteración en las pruebas para el reconocimiento de tonos desafinados en una frase musical y la memoria musical en las tareas de la batería de pruebas de evaluación de la amusia de Montreal (MBEA)<sup>55</sup>. La falta de activación en el GFId de los amúsicos también se ha descrito recientemente en estudios con RMf<sup>56</sup>. Otros estudios con PET<sup>57-59</sup> también demostraron una activación del GFId en individuos sanos para tareas de memoria musical. Probablemente, estas áreas participan en el procesamiento tonal conectando con el córtex auditivo derecho del lóbulo temporal a través de conexiones fronto-temporales, que a su vez son hipoplásicas en los sujetos amúsicos. A la inversa, estos estudios reflejaron un aumento de sustancia gris en

esta misma región (AB 47) del GFIId en los sujetos amúsicos comparados con controles normales. El aumento de la sustancia gris en el GFIId puede deberse a una alteración en la migración neuronal similar a las descritas en la epilepsia y dislexia del desarrollo. Sin embargo, es más razonable asumir que las alteraciones en la percepción musical son debidas a una reducción de la sustancia blanca que a un aumento en el espesor de la sustancia gris. Como ya hemos comentado, probablemente el GFIId anormal encontrado en el amúsico congénito tiene bases genéticas<sup>60</sup> implicadas en el desarrollo de migración neuronal precoz mediante conexiones fronto-temporales<sup>21-24</sup>, ya que para el procesamiento de la información musical se requiere la participación de ambos lóbulos frontales y temporales, pudiendo aparecer amusia por lesión de cualquiera de ellos de forma uni o bilateral, o en sus conexiones. Por otro lado, aunque en el sujeto amúsico congénito no se han encontrado morfológicamente alteraciones de sustancia blanca ni gris en la corteza temporal auditiva derecha, no se pueden descartar que existan<sup>55-61</sup>.

### Evaluación cognitiva de la amusia y rehabilitación de la amusia

Es importante señalar que no necesariamente hay que ser un músico profesional para ser víctima de la amusia, a diferencia de lo que pensaba Knoblauch, quien creía que la amusia sólo era posible en músicos<sup>16</sup>. En nuestra experiencia, la presencia de amusia en sujetos sin conocimiento musical no suele ser un motivo de queja porque no presentan conocimientos musicales suficientes para identificar el tipo de déficit que padecen. Por el contrario, ésta no es la regla en músicos profesionales o en melómanos (personas fanáticas de la música) que identifican rápidamente sus déficits. En el caso que la amusia se explorara tan sistemáticamente como el lenguaje u otras funciones cognitivas, posiblemente se comprobaría que la amusia es un problema mucho más frecuente de lo que se describe en la literatura. Por ello, para progresar en el conocimiento de las habilidades musicales es necesario utilizar evaluaciones estandarizadas.

En 1987 se elaboró la MBEA<sup>62</sup> como una herramienta necesaria para el estudio de pacientes amúsicos. La percepción musical y la memoria musical son las funciones musicales más estudiadas. El MBEA contiene 6 tests que permiten evaluar el funcionamiento de cada uno de los componentes, musicales descritos: contorno melódico, intervalos, tipos de escalas, ritmo, métrica y memoria musical. Cada uno de estos tests incluye 30 frases musicales no conocidas. Otros instrumentos de evaluación menos populares han sido el propuesto por Wertheim y Botez en 1959, basado en la adaptación del test al nivel musical premórbido del paciente mediante una clasificación de los sujetos, dependiendo de sus capacidades musicales<sup>63</sup>, el *Gordon musical aptitude profile*<sup>64</sup> y el *Bentley measures of musical abilities*<sup>65</sup>.

En los últimos años existe un creciente interés en conocer las posibles relaciones de la amusia y la afectación de otros dominios cognitivos (p. ej., memoria, capacidad visuoespacial y atención). En un estudio reciente que evaluó la amusia adquirida de pacientes con infarto de la arteria cerebral media derecha, los autores comprobaron que los

pacientes amúsicos obtuvieron peores resultados en los tests de memoria, atención y flexibilidad cognitiva que los sujetos no amúsicos<sup>66</sup>.

Por otro lado, es lógico especular que el fallo en la percepción del contorno melódico de los pacientes amúsicos también puede afectar a la entonación (prosodia) del lenguaje hablado<sup>67</sup>. Sin embargo, algunos estudios demuestran la existencia independiente de dos procesos perceptivos, uno para la entonación cantada y otro dedicado a la entonación hablada. Patel argumenta que las alteraciones del contorno melódico no son sólo exclusivas en la música, sino que también afectan al lenguaje hablado<sup>68</sup>. Otros estudios indican que la percepción musical depende de los mismos procesos cognitivos requeridos para el procesamiento espacial y, de hecho, se han descrito casos de pacientes amúsicos con alteraciones espaciales que han sido atribuidos a alteraciones en la representación mental espacial de los tonos<sup>69</sup>.

La existencia de personas con «cierta sordera al tono» que aseveran «no sirvo para la música pues tengo muy mal oído pero me encanta la música» es bien conocida. Estas personas son incapaces de afinar cuando cantan, no reconocen cuando otros desafinan, pero a su vez disfrutan de la música, no debiendo ser clasificados en nuestra opinión como amúsicos en sentido estricto. Probablemente, estas personas no hayan recibido una educación musical o una exposición ambiental musical suficiente, y aun manteniendo intactas sus capacidades musicales, éstas se encuentren adormecidas. Alternativamente, estas personas pueden ser portadoras de una «indulgente» amusia, que es susceptible de mejorar con una educación musical selectiva. Frecuentemente, los pedagogos musicales mejoran las habilidades musicales de sus alumnos ya que el «oído musical» es susceptible de ser «educado»<sup>70</sup> mediante tareas musicales específicas que impliquen discriminación de tonos, acordes, intervalos, ritmos, tonalidades y melodías y que se activan, por ejemplo, durante la ejecución de un instrumento o cuando asistimos a conciertos. Además, los estudios de neuroimagen han demostrado plasticidad neuronal de las vías musicales en relación con una mayor experiencia musical, bien sea mediante la interpretación o la escucha continuada<sup>71-73</sup> (neuroplasticidad basada en la experiencia). Es por ello que algunos autores sugieren que la disposición cerebral del sujeto amúsico congénito, además de ser endógena, está influida en gran medida por la escasa exposición a la escucha musical. Al no experimentar placer, los sujetos amúsicos son menos proclives a escuchar música, por lo que el mantenimiento de esta actitud a largo plazo puede reducir de la plasticidad de las conexiones fronto-temporales (aprendizaje del no uso). Es esencial investigar con técnicas de neuroimagen la neuroplasticidad de las redes musicales mediante tareas musicales dirigidas, ya que podrían iluminar el diseño de técnicas para rehabilitar pacientes con amusia. Weill-Chounlamounry et al<sup>74</sup> (2008) han sido pioneros en desarrollar la primera terapia de rehabilitación de la amusia en un paciente que, tras un infarto cerebral, presentó dificultad para la discriminación de tonos (sordera al tono) y, por tanto, de melodías, pero no para el ritmo. La terapia de rehabilitación de la amusia implementada fue selectiva y dirigida únicamente a la discriminación de melodías utilizando un *software* y demostró mejoría en los tests de la MBEA postterapia. De forma complementaria, la música desempeña un papel importante en la rehabilitación

de déficits en otros dominios cognitivos (*melodic intonation therapy* en pacientes con afasia)<sup>75,76</sup>.

## Conclusiones

Diferentes regiones del cerebro están implicadas en el procesamiento de la música aunque se necesitan más estudios para conocer más íntimamente los correlatos anatómicos. A diferencia del profundo conocimiento que se dispone del lenguaje hablado y de su representación cerebral, la especificidad hemisférica y las regiones cerebrales implicadas en cada uno de los componentes musicales (tono, ritmo, timbre, melodía, memoria musical) siguen siendo enigmáticos. Las pruebas de neuroimagen (RMf, PET, magnetoencefalografía) en pacientes con amusia y déficits en los diferentes componentes musicales enriquecerán el conocimiento de las redes neuronales musicales y refinarán los correlatos anátomo-funcionales. Es posible que las amusias congénitas y adquiridas sean más frecuentes que lo descrito hasta ahora. La ausencia de conciencia de la amusia por parte de la persona afectada y la escasez de instrumentos para el diagnóstico neuropsicológico son presumiblemente causantes de la escasa detección de estos trastornos.

## Financiación

Este trabajo no ha recibido financiación pública ni privada para su elaboración.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Critchley MN, Henson RA. Music and the brain: Studies in the neurology of music. En: Feinberg TE, Fara MJ, editores. Behavioral neurology and neuropsychology. Springfield: McGraw-Hill; 1977. p. 277–88.
- Griffiths TD, Rees A, Green GGR. Disorders of human complex sound processing. *Neurocase*. 1999;5:365–78.
- Zatorre RJ, Peretz I, editors. The biological foundations of music. *Ann N Y Acad Sci*. 2001;930:193–210.
- Zatorre RJ, Belin P, Penhune VB. Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends Cogn Sci*. 2002;6:37–46.
- Patel AD. Language, music, syntax and the brain. *Nat Neurosci*. 2003;6:67481.
- Burst JCM. Music and language. Musical alexia and agraphia. *Brain*. 1980;103:367–92.
- Judd T, Gardner H, Geschwind N. Alexia without agraphia in a composer. *Brain*. 1983;106:435–57.
- Berthier ML, Starkstein SE, Leiguarda R, Ruiz A, Mayberg HS, Wagner H, et al. Transcortical aphasia. Importance of the nonspeech dominant hemisphere in language repetition. *Brain*. 1991;114:1409–27.
- Peretz I, Coltheart M. Modularity of music processing. *Nat Neurosci*. 2003;6:688–91.
- Zatorre RJ. Musical perception and cerebral function: A critical Review. *Music Perception*. 1984;2:196–221.
- Alossa N, Castelli L. Amusia and musical functioning. *Eur Neurol*. 2009;61:269–77.
- Liégeois-Chauvel C, Peretz I, Babai M, Laguitton V, Chauvel P. Contribution of different cortical areas in the temporal lobes to music processing. *Brain*. 1998;121:1853–67.
- Loui P, Schlaug G. Investigating musical disorders with diffusion tensor imaging: a comparison of imaging parameters. *Ann N Y Acad Sci*. 2009;1169:121–5.
- Groussard M, Viader F, Hubert V, Landeau B, Abbas A, Desgranges B, et al. Musical and verbal semantic memory: two distinct neural networks? *Neuroimage*. 2010;49:2764–73.
- Salimpoor VN, Benovoy M, Larcher K, Dagher A, Zatorre RJ. Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Neurosci*. 2011;14:257–62.
- Martí Vilalta JL. Música y neurología. Barcelona: Lunwerg, S.L; 2010. p. 56.
- Wertheim N. The amusias. En: Vinken PJ, Bruyn GW, editores. Handbook of clinical neurology. Amsterdam: New Holland; 1969. p. 195–206.
- Warren J. In: Clifford R, editor. Neurology of the arts: painting, music and literature. London: Imperial College Press; 2004. p. 275–305.
- Knoblauch A. On disorders of the musical capacity from cerebral disease. *Brain*. 1890;3:317–40.
- Terao Y, Mizuno T, Shindoh M, Sakurai Y, Ugawa Y, Kobayashi S, et al. Vocal amusia in a professional tango singer due to a right superior temporal cortex infarction. *Neuropsychologia*. 2006;44:479–88.
- Satoh M, Takeda K, Murakami Y, Onouchi K, Inoue K, Kuzuhara S. A case of amusia caused by the infarction of anterior portion of bilateral temporal lobes. *Cortex*. 2005;41:77–83.
- Di Pietro M, Laganaro M, Leemann B, Schneider A. Receptive amusia: temporal auditory processing deficit in a professional musician following a left temporo-parietal lesion. *Neuropsychologia*. 2004;42:868–77.
- McChesney-Atkins S, Davies KG, Montouris GD, Silver JT, Menkes DL. Amusia after right frontal resection for epilepsy with singing seizures: case report and review of the literature. *Epilepsy Behav*. 2003;4:343–7.
- Russell SM, Golfinos JG. Amusia following resection of a Heschl gyrus glioma. Case report. *J Neurosurg*. 2003;98:1109–12.
- Warren J. Maurice Ravel's amusia. *J R Soc Med*. 2003;96:424.
- Tillmann B, Peretz I, Bigand E, Gosselin N. Harmonic priming in an amusic patient: the power of implicit tasks. *Cogn Neuropsychol*. 2007;24:603–22.
- Wilson SJ, Pressing JL, Wales RJ. Modelling rhythmic function in a musician post-stroke. *Neuropsychologia*. 2002;40:1494–505.
- Lechevalier B, Rumbach L, Platel H, Lambert J. Pure amusia revealing an ischaemic lesion of right temporal planum. Participation of the right temporal lobe in perception of music. *Bull Acad Natl Med*. 2006;190:1697–709.
- Satoh M, Takeda K, Kuzuhara S. A case of auditory agnosia with impairment of perception and expression of music: cognitive processing of tonality. *Eur Neurol*. 2007;58:70–7.
- Murayama J, Kashiwagi T, Kashiwagi A, Mimura M. Impaired pitch production and preserved rhythm production in a right brain-damaged patient with amusia. *Brain Cogn*. 2004;56:36–42.
- Barquero-Jiménez MS, Payno-Vargas MA. Amusias. *Rev Neurol*. 2001;32:454–62.
- Peretz I. Musical disorders. From behavior to genes. *Curr Dir Psychol Sci*. 2008;17:329333.
- Peretz I, Cummings S, Dubé MP. The genetics of congenital amusia (tonedeafness): a family aggregation study. *Am J Hum Genet*. 2007;81:5828.
- Peretz I, Brattico E, Järvenpää, Tervaniemi M. The amusic brain: in tune, out of key, and unaware. *Brain*. 2009;132:127786.

35. Stewart L. Fractionating the musical mind: insights from congenital amusia. *Curr Opin Neurobiol.* 2008;18:127–30.
36. Benton AL. The amusias. En: Critchley M, Henson AR, editores. *Music and the brain.* London: William Heinemann Medical Books Ltd; 1977. p. 378–97.
37. Luria AR, Tsetkova L, Futter D. Aphasia in a composer. *J Neurol Sci.* 1965;2:286–92.
38. Griffiths TD, Rees A, Witton C, Cross PM, Shakir RA, Green GG. Spatial and temporal auditory processing deficits following right hemisphere infraction. A psychophysical study. *Brain.* 1997;121:179–81.
39. Sacks O. *Musicophilia. Tales of music and the brain.* New York: Vintage Books Edition; 2007.
40. Procopis PG. A case of receptive amusia with prominent timbre perception defect. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1983;46:464.
41. Hyde KL, Peretz I. Brains that are out of tune but in time. *Psychol Sci.* 2004;15:356–60.
42. Chen JL, Penhune VB, Zatorre RJ. Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cereb Cortex.* 2008;18:2844–54.
43. Griffiths TD, Kumar S, Warren JD, Stewart L, Stephan KE, Friston KJ. Approaches to the cortical analysis of auditory objects. *Hear Res.* 2007;229:46–53.
44. De Villers-Sidani E, Chang EF, Bao S, Merzenich MM. Critical period window for spectral tuning defined in the primary auditory cortex (A1) in the rat. *J Neurosci.* 2007;27:180–9.
45. Särkämö T, Tervaniemi M, Soinila S, Autti T, Silvennoinen HM, Laine M, Hietanen M. Amusia and cognitive deficits after stroke: is there a relationship? *Ann N Y Acad Sci.* 2009;1169:441–5.
46. Williamson VJ, Baddeley AD, Hitch GJ. Musicians' and nonmusicians' short-term memory for verbal and musical sequences: comparing phonological similarity and pitch proximity. *Mem Cognit.* 2010;38:163–75.
47. Gaser C, Schlaug G. Brain structures differ between musicians and non-musicians. *J Neurosci.* 2003;23:9240–5.
48. Arias Gómez M. Music and neurology. *Neurologia.* 2007;22:39–45.
49. Bouillaud J. Sur la faculté du langage articulé. *Bull Acad Natl Med.* 1865;30:752–68.
50. Henschen SE. On the function of the right hemisphere of the brain in relation to the Leith in speech, music and calculation. *Brain.* 1920;49:110–26.
51. Peretz I. Processing of local and global musical information by unilateral brain-damaged patients. *Brain.* 1990;113:1185–205.
52. Foxton JM, Nandy RK, Griffiths TD. Rhythm deficits in «tone deafness». *Brain Cogn.* 2006;62:24–9.
53. Peretz I, Radeau M, Arguin M. Two-way interactions between music and language: evidence from priming recognition of tune and lyrics in familiar songs. *Mem Cognit.* 2004;32:142–52.
54. Zatorre RJ, Chen JL, Penhune VB. When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nat Rev Neurosci.* 2007;8:547–58.
55. Hyde KL, Zatorre RJ, Griffiths TD, Lerch JP, Peretz I. Morphometry of the amusic brain: a two-site study. *Brain.* 2006;129:2562–70.
56. Hyde KL, Zatorre RJ, Peretz I. Functional MRI. evidence of an abnormal neural network for pitch processing in congenital amusia. *Cereb Cortex.* 2011;21:292–9.
57. Zatorre RJ, Evans AC, Meyer E. Neural mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch. *J Neurosci.* 1994;14:1908–19.
58. Zatorre RJ, Halpern A, Perry D, Meyer E, Evans C. Hearing in the minds ear: PET investigation of musical imaginary and perception. *J Cogn Neurosci.* 1996;8:29–46.
59. Griffiths TD, Johnsrude I, Dean JL, Green GGA. common neural substrate for the analysis of pitch and duration pattern in segmented rounds? *Neuroreport.* 1999;10:3825–30.
60. Peretz I, Cummings S, Dubé MP. The genetics of congenital amusia (tone deafness): a family-aggregation study. *Am J Hum Genet.* 2007;81:582–8.
61. Hyde KL, Lerch JP, Zatorre RJ, Griffiths TD, Evans AC, Peretz I. Cortical thickness in congenital amusia: when less is better than more. *J Neurosci.* 2007;27:13028–32.
62. Peretz I, Champod AS, Hyde K. Varieties of musical Disorders. The Montreal battery of evaluation of amusia. *Ann N Y Acad Sci.* 2003;999:58–75.
63. Wertheim N, Botez MI. Plan d'investigation des fonctions musicales. *Encéphale.* 1959;3:246–55.
64. Gordon E. *Musical aptitude profile manual.* Boston: Houghton Mifflin; 1965.
65. Bentley A. *Musical ability in children and its measurement.* London: Harrap; 1966.
66. Särkämö T, Tervaniemi M, Soinila S, Autti T, Silvennoinen HM, Laine M, Hietanen M, Pihko E. Auditory and cognitive deficits associated with acquired amusia after stroke: a magnetoencephalography and neuropsychological follow-up study. *PLoS One.* 2010 2;5:e15157.
67. Confavreux C, Croisile B, Garassus P, Aimard G, Trillet M. Progressive amusia and aprosody. *Arch Neurol.* 1992;49:971–6.
68. Liu F, Patel AD, Fourcin A, Stewart L. Intonation processing in congenital amusia: discrimination, identification and imitation. *Brain.* 2010;133:1682–93.
69. Douglas KM, Bilkey DK. Amusia is associated with deficits in spatial processing. *Nat Neurosci.* 2007;10:915–21.
70. Willems E. *El oído musical. La preparación auditiva del niño.* Barcelona: Paidós; 2001.
71. Bengtsson SL, Nagy Z, Skare S, Forsman L, Forssberg H, Ullen F. Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nat Neurosci.* 2005;8:1148–50.
72. Herdener M, Esposito F, Di Salle F, Boller C, Hilti CC, Habermeyer B, et al. Musical training induces functional plasticity in human hippocampus. *J Neurosci.* 2010;30:1377–84.
73. Wan CY, Schlaug G. Music making as a tool for promoting brain plasticity across the life span. *Neuroscientist.* 2010;16:566–77.
74. Weill-Chounlamountry A, Soyez-Gayout L, Tessier C, Pradat-Diehl P. Cognitive rehabilitation of amusia. *Ann Readapt Med Phys.* 2008;51:332–41.
75. Schlaug G, Norton A, Marchina S, Zipse L, Wan CY. From singing to speaking: facilitating recovery from nonfluent aphasia. *Future Neurol.* 2010;5:657–65.
76. Norton A, Zipse L, Marchina S, Schlaug G. Melodic intonation therapy: shared insights on how it is done and why it might help. *Ann N Y Acad Sci.* 2009;1169:4316.