



City Research Online

City, University of London Institutional Repository

Citation: Sel, A. & Calvo-Merino, B. (2013). Neuroarchitecture of musical emotions. REVISTA DE NEUROLOGIA, 56(5), pp. 289-297.

This is the published version of the paper.

This version of the publication may differ from the final published version.

Permanent repository link: <https://openaccess.city.ac.uk/id/eprint/4527/>

Link to published version:

Copyright: City Research Online aims to make research outputs of City, University of London available to a wider audience. Copyright and Moral Rights remain with the author(s) and/or copyright holders. URLs from City Research Online may be freely distributed and linked to.

Reuse: Copies of full items can be used for personal research or study, educational, or not-for-profit purposes without prior permission or charge. Provided that the authors, title and full bibliographic details are credited, a hyperlink and/or URL is given for the original metadata page and the content is not changed in any way.

Neuroarquitectura de la emoción musical

Alejandra Sel, Beatriz Calvo-Merino

Resumen. La respuesta emocional ante la música, o emoción musical, es una respuesta universal que depende de diferentes procesos psicológicos y recluta una extensa red de estructuras neuronales. Mediante el empleo de técnicas como la electroencefalografía, la resonancia magnética funcional y los estudios con población clínica e individuos con formación musical previa, se ha empezado a dilucidar estos mecanismos cerebrales. El objetivo de este artículo es hacer una revisión de los trabajos más relevantes en los que se identifican los correlatos neuronales de la emoción musical, desde los procesos más automáticos hasta los más complejos, y comprender cómo interaccionan en el cerebro. En concreto, se describe cómo la presentación de música emocional está asociada a una respuesta rápida en estructuras talámicas y subtalámicas, acompañada por cambios electrodérmicos y endocrinos. También se explica que el procesamiento de la emoción musical implica la activación de la corteza auditiva y estructuras límbicas y paralímbicas, como la amígdala, la corteza cingulada anterior o el hipocampo, lo que demuestra la contribución del sistema límbico a la emoción musical. Asimismo, se detalla cómo la emoción musical depende de los significados semántico y sintáctico de la música, procesados en áreas temporales y parietofrontales, respectivamente. Además, se mencionan trabajos recientes que han demostrado cómo los mecanismos de simulación emocional también contribuyen a la emoción musical. Por último, se hace un resumen de estos trabajos, comentando sus limitaciones y ofreciendo alternativas para seguir avanzando en el estudio de la neuroarquitectura de la emoción musical.

Palabras clave. Emoción. Música. Semántica. Simulación emocional. Sintáctica. Sistema límbico.

Introducción

La música es, según la definición tradicional del término, la sucesión de sonidos combinados siguiendo los principios de la melodía, la armonía y el ritmo, que evoca una respuesta emocional en los individuos [1]. La respuesta emocional asociada a la música, o emoción musical, es de carácter universal [2,3], y se considera una de las razones principales por las que la música está presente en todas las culturas y épocas conocidas hasta el momento, y es un elemento clave en las interacciones humanas [3-7].

Su universalidad ha convertido a la música y su emoción asociada en un interesante objeto de estudio de diversas disciplinas que intentan dilucidar los mecanismos cerebrales responsables de la emoción musical. Los datos recogidos hasta la fecha señalan que la emoción musical es el resultado de una serie de procesos complejos en los que interviene una extensa red de estructuras neurales corticales, subcorticales y del oído interno [1,8,9]. Sin embargo, a pesar de que el número de estudios neurocientíficos ha crecido considerablemente en los últimos años y se han descrito distintos procesos neurales perceptivos y emocionales, aún se conoce relativa-

mente poco acerca de la naturaleza de estos procesos y de cómo se integran para dar lugar a la respuesta emocional del individuo ante la experiencia musical. Por ello, se hace necesario considerar estos procesos y mecanismos en su conjunto con el objetivo final de alcanzar un mejor conocimiento de la arquitectura neuronal responsable de la emoción musical.

Objetivo

El objetivo de este artículo es reunir los trabajos más significativos que intentan identificar los correlatos neuronales de la emoción musical, y comprender cómo estos correlatos interaccionan en el cerebro, contribuyendo al procesamiento de la emoción musical. La mayoría de este tipo de estudios se basa en el registro de la actividad cerebral con técnicas de neuroimagen, como la resonancia magnética funcional, la electroencefalografía o la magnetoencefalografía, así como en el estudio de pacientes o individuos con formación musical previa (expertos), mientras se controlan los parámetros asociados a la emoción musical. Esta revisión ofrece una perspec-

Departamento de Psicología Básica II: Procesos Cognitivos; Facultad de Psicología; Universidad Complutense de Madrid; Pozuelo de Alarcón, Madrid, España (A. Sel, B. Calvo-Merino). Departamento de Psicología; City University London; Londres, Reino Unido (B. Calvo-Merino).

Correspondencia:

Dra. Alejandra Sel de Felipe. Departamento de Psicología Básica II: Procesos Cognitivos. Facultad de Psicología. Universidad Complutense de Madrid. Campus de Somosaguas. E-28223 Pozuelo de Alarcón (Madrid).

Fax:

+34 913 943 117.

E-mail:

asel@pdi.ucm.es

Financiación:

Artículo financiado por la beca para la Formación del Personal Universitario, ref. AP2008-00664, Ministerio de Educación (A.S.), y por la beca Ramón y Cajal, RYC-2008-03090 (B.C.M.).

Acceptado tras revisión externa: 12.02.13.

Cómo citar este artículo:

Sel A, Calvo-Merino B. Neuroarquitectura de la emoción musical. Rev Neurol 2013; 56: 289-97.

© 2013 Revista de Neurología

Tabla. Trabajos más relevantes que describen los parámetros determinantes de la música positiva y negativa.

	Parámetros musicales	Emoción musical positiva	Emoción musical negativa
Khalfa et al [11]	Tempo	Tempo rápido	Tempo lento
	Modo	Modo mayor	Modo menor
	Tono	Tono alto	Tono bajo
Trainor [3]	Volumen	Volumen elevado	Volumen bajo
	Consonancia	Música consonante	Música disonante
Ball et al [15]	Consonancia	Consonante	Disonante
	Tempo	Tempo mayor	Tempo menor
	Ritmo	Variables constantes: ritmo, melodía y contorno musical	Variables constantes: ritmo, melodía y contorno musical
	Melodía		
	Contorno musical		
	Khalfa et al [12]	Consonancia	Consonante
Koelsch et al [32]	Consonancia	Consonante	Disonante
Peretz et al [16]	Tempo	Tempo rápido	Tempo lento
	Modo	Modo mayor	Modo menor
	Complejidad estructural	Estructura compleja	Estructura compleja
	Consonancia	Consonante	Disonante
Menon y Levitin [48]	Tono	Variables constantes: tono, timbre y volumen	Variables constantes: tono, timbre y volumen
	Timbre		
	Volumen		
Gabrielsson y Lindstrom [13]	Consonancia	Consonante	Disonante
	Tempo	Tempo rápido	Tempo lento
Hevner [17]	Modo	Modo mayor	Modo menor
	Menor influencia: tono, armonía y ritmo	Armonía simple	Tono bajo
Gagnon y Peretz [18]	Tempo	Tempo rápido	Tempo lento
	Modo	Modo mayor	Modo menor
Kamenetsky [19]	Tempo	Tempo rápido	Tempo lento

tiva general de los resultados encontrados hasta la fecha sobre la emoción musical y sus bases neuronales, y sirve como punto de referencia para trabajos futuros.

La primera sección hace una introducción sobre los principales parámetros que definen la música, identificando aquéllos de especial relevancia para la emoción musical. Los estudios en el área manipulan estos parámetros bajo condiciones experimentales con el objetivo de estudiar distintos procesos implicados en la emoción musical. Seguidamente, se hace un recorrido por los procesos neuronales que se suceden desde que la música entra por el pabellón auditivo hasta que alcanza los niveles superiores en la corteza asociativa. De esta forma, se describe paso a paso cómo el procesamiento de la emoción musical va reclutando distintas estructuras cerebrales conforme aumenta la complejidad del proceso. En la sección final, se resumen los resultados más significativos y sus implicaciones en el área de la emoción musical.

Parámetros musicales bajo control experimental

La música está constituida por un conjunto finito de elementos o parámetros que se pueden organizar de distintas formas siguiendo una serie de reglas predefinidas, de forma similar al lenguaje [7, 10]. Entre estos parámetros encontramos el tempo, los patrones de tensión-distensión, el tono, el timbre, o la intensidad o volumen. El tempo se define como la organización temporal de los elementos o ritmo musical, y el modo, como la organización de los elementos en una escala musical mayor o menor [1,11,12]. La música caracterizada por un tempo rápido y un modo mayor se asocia con emociones positivas, mientras que la música con un tempo lento y modo menor suele provocar respuestas negativas (tristeza) [11-13]. Los patrones de tensión-distensión musical existentes en la estructura también influyen en la emoción musical. Estos patrones están definidos por la proporción entre los acordes consonantes y disonantes en la estructura musical [14]. Cuando la proporción total de acordes disonantes en la estructura es mayor de la esperada, o la distribución de los elementos no sigue los patrones normativos de tensión-distensión, la música se percibe como disonante. Un resumen de otros parámetros en la respuesta emocional ante la música se puede encontrar en la tabla [15-19]. Una revisión completa de estos y otros parámetros puede hallarse en Gabrielsson et al [13].

Con el objetivo de estudiar las bases neurológicas de la emoción musical, los parámetros musicales se manipulan de forma sistemática, observándose cambios cerebrales y conductuales en la respuesta emocional asociados a estas manipulaciones. Así, en el estudio de la emoción musical, algunos estudios realizan manipulaciones sistemáticas de tempo y modo [11], mientras que otros manipulan el grado de disonancia en la estructura (haciendo versiones artificiales de música original) [9]. Sin embargo, se ha sugerido que las respuestas emocionales positivas y negativas asociadas a cambios en el tempo y el modo son relativamente diferentes a las asociadas a la consonancia-disonancia musical [12]. Mientras que el tempo lento/modo bajo genera respuestas negativas de melancolía (que, en ciertas ocasiones, no tienen por qué percibirse como subjetivamente negativas, sino que suelen ser respuestas emocionales negativas de aproximación), las estructuras disonantes están vinculadas con respuestas negativas aversivas (respuesta emocional negativa de evitación), lo que invita a sugerir que los mecanismos neuronales responsables de estos dos tipos de respuestas negativas parecen ser diferentes. Estas diferencias pueden estar en la base de las discrepancias observadas en los distintos estudios, por lo que es necesario ser cautelosos al comparar resultados de diferentes investigaciones y considerar el procedimiento seguido para generar la emoción.

Además de la manipulación experimental de los parámetros musicales, algunos estudios comparan resultados entre expertos, o individuos con formación musical previa, y no expertos, o grupo control, con el objetivo de observar si existe especialización de estos procesos debida a una mayor interacción o familiaridad de los expertos con la música. Estos trabajos se describirán de forma detallada en los siguientes apartados. Por último, hay que añadir que, en el estudio sistemático de la emoción, ésta se considera un constructo ortogonal organizado en torno a dos continuos: el continuo de activación o intensidad emocional, y el continuo de valencia (positiva frente a negativa) [20]. En el presente artículo, se sigue esta clasificación para describir los procesos perceptivos y cognitivos responsables de la emoción musical, y las bases neuronales asociadas a estos procesos.

Contribución del sistema autónomo a la emoción musical

La música entra por el oído hacia la cóclea, donde produce vibraciones en la membrana basilar, trans-

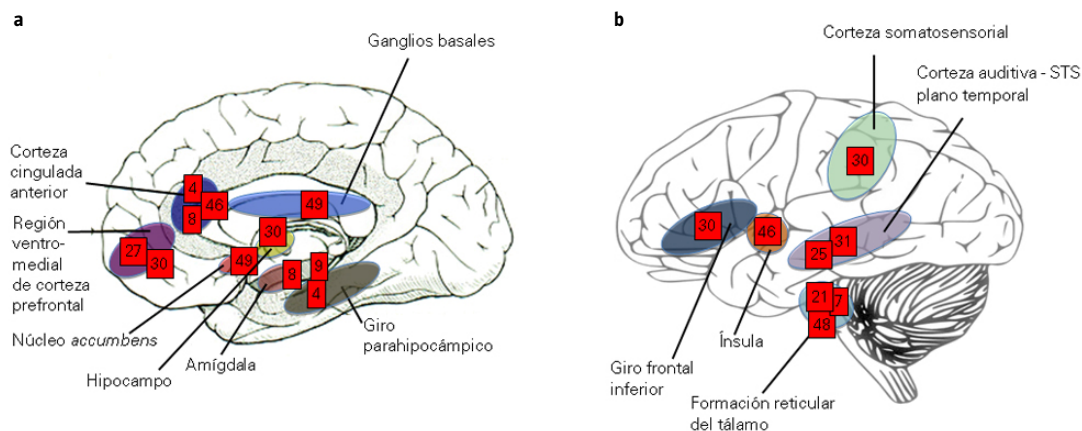
formando las ondas musicales en actividad eléctrica. La actividad eléctrica se transmite hacia regiones talámicas y subtalámicas, como la formación reticular del tálamo, el complejo olivar superior y los colículos inferiores [7,21]. En estas áreas se produce un primer procesamiento de la señal acústica, basado en el análisis del tono, el timbre y la intensidad musical, y se observan variaciones en la actividad eléctrica talámica asociadas a cambios en estos parámetros [22,23]. Este análisis permite identificar sonidos disonantes o potencialmente peligrosos, ante los que se genera una rápida respuesta del sistema autónomo, contribuyendo así a la respuesta emocional musical.

Se ha observado un aumento de la respuesta electrodérmica y de la frecuencia cardíaca ante estímulos musicales disonantes, valorados subjetivamente como negativos [24,25]. Además, esta respuesta autónoma se modula por distintos factores. Por un lado, la intensidad de la respuesta autonómica es mayor en expertos o individuos con formación musical previa que en no expertos [26]. Este resultado sugiere que el entrenamiento musical puede aumentar la sensibilidad de los individuos ante la música. Por otra parte, datos recogidos en población clínica con lesiones en la región ventromedial de la corteza prefrontal muestran una ausencia del aumento de respuesta electrodérmica ante música que ellos mismos valoran como emocional [27]. Estos últimos datos sugieren que, además de las estructuras talámicas y subtalámicas, existen otras estructuras, como la corteza prefrontal, que contribuyen a la respuesta autónoma emocional ante la música.

Implicación de la corteza sensorial auditiva y la memoria ecoica en la emoción musical

Desde el núcleo geniculado medial del tálamo, la información parte hacia la corteza auditiva sensorial (áreas 41, 42 y 52 de Brodmann) [7]. En la corteza auditiva se analizan exhaustivamente los parámetros musicales (tempo, modo, tono, timbre, intensidad de sonido, etc.) y la organización de los elementos en la estructura. Asimismo, en la corteza auditiva, las propiedades físicas musicales se transforman en propiedades perceptivas, para poder ser almacenadas en la memoria ecoica [28,29]. La memoria ecoica, o memoria sensorial auditiva, es una estructura donde se retiene una cantidad importante de información auditiva durante un período corto de 3-4 s, antes de que cobre un significado completo. En la memoria ecoica se evalúa la escena musical, y se analiza la melodía, el ritmo, el timbre,

Figura. Representación gráfica de las áreas que contribuyen a la emoción musical, así como los diferentes estudios que han demostrado la activación de estas áreas ante música percibida como emocional (los números se corresponden con las referencias bibliográficas del texto). a) Corte sagital medial; b) Vista lateral del hemisferio izquierdo.



el modo, la organización espacial y la distancia entre los elementos en la estructura musical. Este análisis permite, por ejemplo, distinguir entre tonos mayores y menores [30,31].

Las operaciones que se realizan en la corteza sensorial auditiva y en la memoria ecoica contribuyen a la respuesta emocional musical. Se ha observado que las manipulaciones sistemáticas en el tempo y el modo, o en la melodía (parámetros que definen la emoción en la música), están asociadas a cambios en la actividad de la corteza sensorial auditiva. Por ejemplo, la eliminación de cambios en el tempo en un fragmento musical para manipular artificialmente la melodía provoca un aumento en la amplitud del componente electrofisiológico N100, índice de procesos preatencionales en la corteza auditiva [25].

Por otra parte, Koelsch et al [32] demostraron cambios significativos de activación en regiones de la corteza auditiva como el giro temporal superior, el plano temporal y la corteza ventrolateral prefrontal ante música consonante o placentera (en comparación con música disonante o displacentera). Esto sugiere que la corteza auditiva tiene un papel fundamental en la discriminación de estímulos musicales positivos y negativos, acorde con los resultados obtenidos por otros estudios donde se emplean otros estímulos auditivos emocionales de carácter complejo [30].

Aunque los estudios con expertos que demuestran cambios en la corteza asociados a la emoción

musical son escasos, Halpern et al [31] encontraron un aumento de latencia en el componente electrofisiológico P300 (tomado como índice de procesamiento de información musical en la corteza) ante el modo menor, en comparación con tonos mayores en un grupo de músicos expertos. Esta diferencia no se encontró en el grupo control. Los autores interpretaron este resultado concluyendo que expertos y no expertos procesan el modo en la música de forma diferente, lo que presumiblemente afectaría a la respuesta emocional, teniendo en cuenta la importancia de este parámetro en la emoción musical. Así, parece necesario seguir investigando para clarificar la posible interacción entre el nivel de experiencia y la contribución de la corteza auditiva en la emoción musical.

Regiones límbicas y emoción musical

Desde la corteza sensorial auditiva, la información se proyecta al sistema límbico, que cumple un papel fundamental en el procesamiento de la emoción musical, así como de la emoción en general [1,32]. Datos de neuroimagen demuestran que se producen cambios en la activación de estructuras del sistema límbico ante la presentación de música consonante frente a música disonante, y se han identificado varias estructuras que contribuyen a la percepción de emoción musical positiva frente a negativa [4,8,32].

Una de estas estructuras es la amígdala [8]. La presentación de música disonante o negativa va asociada a un aumento de la actividad en la amígdala, mientras que la presentación de música positiva disminuye la actividad en este núcleo [4,8,32]. Esta reacción de la amígdala se ha demostrado previamente ante estímulos negativos de diferente naturaleza, coincidiendo con la visión de la amígdala como 'centro del miedo' [32].

Otra estructura límbica importante en la emoción musical es la corteza cingulada anterior [4,8]. La presentación de música consonante o placentera se asocia con el incremento del flujo sanguíneo cerebral en la corteza cingulada anterior [4,8]. Éste es responsable de la sincronización biológica de respuestas psicofisiológicas, motoras, cognitivas y motivacionales [32], por lo que contribuye significativamente a la respuesta subjetiva de emoción ante la música.

Se ha demostrado que la música negativa incrementa la actividad en el hipocampo [32] (estructura principalmente ligada al contenido semántico emocional en la música) y el giro parahipocámpico [4, 8,9] (especializado en la percepción de la dureza acústica que codifica el tempo y el modo, que recibe aferencias de la corteza sensorial y los polos temporales [4]). Esto sugiere que estas estructuras tienen un papel relevante en la respuesta emocional ante estímulos musicales negativos [32]. Otras estructuras límbicas que contribuyen a la respuesta autónoma ante la música son la ínsula, el núcleo estriado ventral y el mesencéfalo (Figura) [8,9].

Chapin et al [33] observaron un aumento de activación significativo en el núcleo estriado ventral, los ganglios basales, el giro subcalloso y el núcleo ventral cingulado anterior en individuos altamente expuestos a estímulos musicales (para los que la música tenía un significado especialmente relevante en su vida) en comparación con el grupo control. Esto sugiere que la continua exposición a la música se asocia con cambios en la respuesta emocional de estructuras límbicas. En línea con otros estudios, estos resultados ofrecen evidencias a favor del potencial poder de la música como herramienta terapéutica para el tratamiento de alteraciones del estado de ánimo, y se hace necesario seguir investigando en esta línea.

Papel de la semántica en la emoción musical

Una vez que la información musical pasa por el almacén de memoria sensorial auditiva y las unidades temporales pasan a ser un único percepto auditivo,

la información musical cobra un significado concreto. Este significado lleva asociado una emoción, que contribuye significativamente a la respuesta emocional musical general. El significado musical puede ser de dos tipos: significado extramusical o explícito, información externa que está asociada a la música (por ejemplo, himno nacional, música similar a sonidos de animales, etc.); o significado intramusical o implícito, significado procedente de las relaciones que se establecen entre al menos dos elementos de la estructura musical (equivalente a la relación semántica entre dos elementos de una oración). La respuesta emocional musical puede estar asociada tanto al significado explícito como al implícito [34-39].

La presentación de música emocional va asociada con cambios en la actividad cerebral de áreas semánticas en el lóbulo temporal. Por ejemplo, mediante el empleo de la técnica de electroencefalografía, Steinbeis et al [37] demostraron un incremento del componente N400 (índice general de acceso al conocimiento semántico) ante la presentación de fragmentos musicales que iban precedidos por una palabra semánticamente congruente. Asimismo, la presentación previa de música con significado semántico relacionado con la palabra subsiguiente se asociaba con un aumento de N400. En otro estudio, Koelsch et al [25] observaron un incremento en el componente electroencefalográfico N5 (índice de significado musical implícito) ante fragmentos musicales con cambios en la consonancia del modo y el timbre. Estos cambios en el componente N5 fueron acompañados por un incremento en la conductancia de la piel y frecuencia cardíaca. Los autores interpretaron los resultados como un efecto del significado implícito de la música sobre la respuesta emocional [25].

Una estructura fundamental en el procesamiento semántico de la emoción musical es el hipocampo. El hipocampo, además de formar parte del circuito límbico, es responsable de procesos de aprendizaje y memoria, y tiene un papel fundamental en el mecanismo de respuesta emocional a nivel semántico. En uno de los primeros trabajos sobre el estudio de la emoción musical, Blood y Zatorre [8] observaron un aumento de actividad del hipocampo ante música positiva. Este resultado coincide con estudios posteriores [4] y demuestra el papel fundamental de esta estructura en el procesamiento de música emocional, sobre todo de la positiva. Sin embargo, algunos autores opinan que la respuesta del hipocampo ante la música estaría más relacionada con una respuesta ante música familiar que ante música emocional [4], por lo que es conve-

niente que en trabajos futuros se controle la variable familiaridad, de forma que se pueda descartar esta posibilidad.

Contribución de la sintáctica a la emoción musical

De forma paralela a la semántica musical, tienen lugar los procesos de comprensión de la estructura sintáctica musical. El análisis sintáctico de la música consiste en establecer relaciones entre una nota o acorde, y el 'contexto' de acordes anteriores o estructura armónica precedente, con el objetivo de construir una representación mental de la estructura musical. Para que este proceso se realice con éxito, es necesario emplear el conocimiento previo, generándose así expectativas sobre la información entrante. Si el mensaje entrante no se ajusta al esperado, la información se percibe como poco familiar, lo que aumenta la dificultad para construir la estructura. Esta dificultad suele estar asociada con respuestas emocionales negativas. De esta forma, la presentación de música disonante se asocia con respuestas emocionales negativas, como asimismo se observa a nivel conductual y de respuesta cerebral [9,11].

Koelsch et al [32] observaron que la presentación de música con cambios en su estructura está asociada a una modulación de la activación en la corteza ventrolateral prefrontal. En esta línea, la presentación de música consonante percibida como placentera está asociada a cambios en el giro central (área de Brodmann 43) y en el giro frontal inferior (áreas de Brodmann 44, 45 y 46) [32]. En contraposición, en un estudio realizado con electroencefalografía se observó que la presentación de música con contenido emocional no produce cambios en el componente ERAN (índice temprano de operaciones sintácticas en las que se integran los elementos en la estructura musical). Sin embargo, sí que se registraron cambios en la respuesta electrodermal ante estímulos musicales de naturaleza similar [25]. Por lo tanto, como indican los estudios de neuroimagen y los datos de respuesta electrodermica, parece que los cambios en la estructura sintáctica sí están asociados con cambios en la respuesta emocional ante la música. Lo que queda aún por resolver es la naturaleza de las operaciones responsables de esos cambios.

Por último, estudios que han comparado procesos de análisis sintáctico musical entre expertos y no expertos no han encontrado diferencias significativas en la respuesta neuronal o de comporta-

miento. Basándose en estos resultados, los autores sugieren que el análisis sintáctico musical depende del conocimiento implícito adquirido mediante la mera exposición a la música en experiencias diarias, presente así en expertos y en no expertos [40]. Sin embargo, teniendo en cuenta el reducido número de estudios realizados y las evidencias existentes a favor de una especialización del procesamiento musical general tras el entrenamiento, parece necesario seguir investigando en esta línea, con el objetivo de dilucidar el posible efecto del entrenamiento musical sobre el procesamiento sintáctico musical y su emoción asociada.

Simulación y emoción musical

La tendencia a la acción como respuesta inmediata ante la música es un fenómeno que se observa en la vida diaria. La mera presentación de música induce a mover la cabeza, los pies, a dar palmas, etc. En concreto, las respuestas motoras inducidas por la presentación de música se caracterizan por ser movimientos sincronizados de varios individuos, que generalmente tienen lugar en actividades sociales de forma coordinada. Esto incrementa el sentimiento de pertenencia grupal, típicamente percibido como muy positivo y reforzante para el individuo, contribuyendo así a la respuesta emocional musical [4].

De acuerdo con las teorías de simulación emocional, la mera presentación de música recluta mecanismos cerebrales de acción motora, incluso en ausencia de acción aparente. Según estas teorías, la presentación de estímulos emocionales implica no sólo la activación de las áreas responsables de la percepción, sino que, además, activa las áreas cerebrales responsables de la producción del estímulo emocional percibido. Este proceso se conoce como *embodiment* emocional [41], está basado en los mecanismos de acción-percepción [42,43] y se observa ante cualquier tipo de estímulo emocional, y también ante la presentación de música [44-49].

Evidencias de los mecanismos de acción-percepción en el procesamiento de la emoción musical vienen, sobre todo, de estudios con resonancia magnética funcional [4]. En estos estudios se ha demostrado que la presentación de música percibida como emocional activa áreas somatosensoriales y motoras, como, por ejemplo, la fisura de Rolando [32]. Esta área representa la boca (laringe) y el gusto, y es responsable de la producción de sonidos que controlan la melodía, el ritmo o el timbre. La activación de esta y otras áreas motoras se interpreta como un índice de simulación emocional que con-

tribuye significativamente a la experiencia emocional ante la música.

Otras áreas motoras que se activan ante la presentación de música son la formación reticular del tálamo [48] y el núcleo *accumbens* [49]. Este último forma parte del circuito dopaminérgico o circuito de recompensa, y conecta áreas del sistema límbico, como la amígdala o el hipocampo, con áreas motoras, como los ganglios basales, lo que señala que el núcleo *accumbens* contribuye especialmente a la simulación de respuestas emocionales ante música positiva [4,9,49].

Otras evidencias de la implicación de áreas somatosensoriales y motoras en el procesamiento de la emoción musical provienen de estudios con expertos. Se ha observado que la presentación de música interfiere significativamente con la planificación de la acción necesaria para tocar un instrumento en individuos con formación musical previa [44]. Sin embargo, aún no se conoce con precisión si la interferencia de la presentación de música sobre la acción aumenta en proporción al nivel de entrenamiento musical previo, o si este entrenamiento puede incrementar la respuesta de simulación emocional. Por tanto, es necesario llevar a cabo futuros estudios con el objetivo de comprobar si el nivel de experiencia está asociado con un incremento de la reacción emocional ante la música mediante los mecanismos de simulación.

Resumen y conclusiones

El objetivo de este artículo es describir y organizar de forma coherente y crítica diferentes trabajos que han aportado datos relevantes sobre la neuroarquitectura de la emoción musical, sirviendo como punto de referencia para las futuras investigaciones en este ámbito.

La emoción musical viene determinada por una serie de parámetros musicales. Los más relevantes son el tempo, el modo y el nivel de consonancia, los cuales se modifican produciendo cambios en distintas áreas cerebrales. Una de las limitaciones importantes son las diferencias metodológicas entre trabajos, que dificultan la comparación de resultados, por lo que es necesario reducir estas diferencias en trabajos futuros.

Como se ha descrito, la emoción musical es una respuesta que comienza de forma casi inmediata a la presentación del sonido. Se asocia con la activación de áreas del sistema autónomo, como el tálamo, y se observan cambios en la conductancia de la piel y la frecuencia cardíaca. Algunos datos indican

que la música está asociada con cambios hormonales, lo que demuestra que la música consonante reduce los niveles de estrés y aminora los efectos depresivos y ansiolíticos [4], por lo que, aunque no se conocen muchos datos sobre el efecto terapéutico de la música, datos iniciales indican que merece la pena seguir explorando en esta línea.

La presentación de música también se asocia con patrones de respuesta electrofisiológica y de activación en corteza auditiva, y la manipulación de parámetros relevantes (tempo y modo) o de la estructura (consonante frente a disonante) están vinculados con cambios en los patrones de respuesta, lo que demuestra la importancia de la corteza auditiva en la percepción de la emoción musical. Aunque existen evidencias de que el entrenamiento musical modula estos cambios, no queda claro si esta familiaridad aumenta la respuesta emocional ante la música, con lo que se hace necesario seguir investigando en este sentido.

El sistema límbico tiene un papel de especial relevancia en la respuesta emocional ante la música siendo el centro principal de las emociones. La presentación de música emocional está asociada con modulaciones significativas en la amígdala, el hipocampo, los polos temporales y el giro parahipocámpico. Sin embargo, debido a la heterogeneidad de resultados, no se ha podido establecer un patrón de activación consistente para la emoción positiva frente a la negativa en estas áreas, lo que señala la necesidad de homogeneizar las manipulaciones experimentales.

El procesamiento semántico y sintáctico musical también contribuye significativamente a la respuesta emocional. La música tiene un significado al que va asociado una respuesta emocional, que, además, parece interaccionar con el nivel de experiencia musical previo. Por otra parte, hasta el momento no se han observado cambios en el procesamiento sintáctico musical debido al entrenamiento musical, lo que parece contradecir resultados observados en otros aspectos.

La presentación de música también se asocia con la activación de áreas somatosensoriales y motoras que contribuyen a la emoción musical. Estas respuestas parecen ser más intensas en expertos que en personas sin formación musical previa, aunque, hasta la fecha, no se conoce con precisión si este aumento de activación en áreas sensoriomotoras va asociado a un aumento en la respuesta emocional.

Por tanto, como se puede observar a lo largo de esta revisión, la respuesta emocional ante la música es una respuesta compleja, en la que intervienen múltiples mecanismos cognitivos y neuronales a di-

ferentes niveles. Aunque hay datos que apuntan que el entrenamiento musical aumenta la respuesta emocional, la escasez de resultados y su heterogeneidad no permiten establecer conclusiones en este sentido. El estudio con expertos puede ayudarnos a entender mejor la dinámica de los procesos cognitivos, perceptivos y neuronales de la emoción musical, como así se ha demostrado en el estudio de la respuesta cerebral ante otros estímulos artísticos, como la danza [43].

Bibliografía

- Soria-Urios G, Duque P, García-Moreno JM. Música y cerebro: fundamentos neurocientíficos y trastornos musicales. *Rev Neurol* 2011; 52: 45-55.
- Peretz I. The nature of music from a biological perspective. *Cognition* 2006; 100: 1-32.
- Trainor LJ. The neural roots of music. *Nature* 2008; 453: 598-9.
- Koelsch S. Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends Cog Sci* 2010; 14: 131-7.
- Fritz T, Jentschke S, Gosselin N, Sammler D, Peretz I, Turner R. Universal recognition of three basic emotions in music. *Curr Biol* 2009; 19: 573-6.
- Juslin PN, Västfjäll D. Emotional responses to music: the need to consider underlying mechanisms. *Behav Brain Sci* 2008; 31: 559-621.
- Talero JG, Zarruk A, Espinosa B. Percepción musical y funciones cognitivas. ¿Existe el efecto Mozart? *Rev Neurol* 2004; 39: 1167-73.
- Blood AJ, Zatorre RJ. Intensely pleasurable responses to music correlates with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2001; 98: 11818-23.
- Blood AJ, Zatorre RJ, Bermúdez P, Evans AC. Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions. *Nat Neurosci* 1999; 2: 382-7.
- Patel AD. Music, language and the brain. New York: Oxford University Press; 2008.
- Khalifa S, Schön D, Anton JL, Liégeois-Chauvel C. Brain regions involved in recognition of happiness and sadness in music. *Neuroreport* 2005; 6: 1981-4.
- Khalifa S, Guye M, Peretz I, Chapon F, Girard N, Chauvel P, et al. Evidence of lateralized anteromedial temporal structures involvement in musical emotion processing. *Neuropsychologia* 2008; 46: 2485-93.
- Gabrielsson A, Lindstrom E. The influence of musical structure on emotional expression. In Juslin PN, Sloboda JA, eds. *Music and emotion, theory and research*. Oxford University Press; 2001. p. 222-48.
- McDermott J. The evolution of music. *Nature* 2008; 453: 287-8.
- Ball T, Rahm B, Eickhoff SB, Schulze-Bonhage A, Speck O, Mutschle I. Response properties of human amygdala subregions: evidence based on functional MRI combined with probabilistic anatomical maps. *PLoS One* 2007; 2: e307.
- Peretz I, Gagnon L, Bouchard B. Music and emotion: perceptual determinants, immediacy, and isolation after brain damage. *Cognition* 1998; 68: 111-41.
- Hevner K. The affective value of pitch and tempo in music. *Am J Psychol* 1937; 74: 103-18.
- Gagnon L, Peretz I. Mode and tempo relative contributions to 'happy-sad' judgments in equitone melodies. *Cogn Emot* 2003; 17: 25-40.
- Kamenetsky SB. Emotional responses to music: experience, expression, and physiology. *Psychol Music* 2009; 37: 61-90.
- Barrett LF. Discrete emotions or dimensions? The role of valence focus and arousal focus. *Cogn Emot* 2004; 12: 579-99.
- Koelsch K. Toward a neural basis of music perception. *Trends Cogn Sci* 2005; 9: 576-84.
- Sinex DG, Guzik H, Li H, Henderson-Sabes J. Responses of auditory nerve fibers to harmonic and mistuned complex tones. *Hear Res* 2003; 182: 130-9.
- Langer G, Ochse M. The neural basis of pitch and harmony in the auditory system. *Musicae Scientiae* 2006; 10: 185-208.
- Orini M, Bailón R, Enk R, Koelsch S, Mainardi L, Laguna P. A method for continuously assessing the autonomic response to music-induced emotions through HRV analysis. *Med Bio Eng Comput* 2010; 48: 423-33.
- Koelsch S, Kilches S, Steinbeis N, Schelinski S. Effects of unexpected chords and performer's expression on brain responses and electrodermal activity. *PLoS One* 2008; 9: e2631.
- Dellacherie D, Roy M, Hugueville L, Peretz I, Samson S. The effect of musical experience on emotional self-reports and psychophysiological responses to dissonance. *Psychophysiology* 2010; 48: 337-49.
- Johnsen E, Tranel D, Lutgendorf S, Adolphs R. A neuro-anatomical dissociation for emotion induced by music. *Int J Psychophysiol* 2009; 72: 24-33.
- Bregman A. *Auditory scene analysis: the perceptual organization of sound*. Cambridge, MA: MIT Press; 1994.
- Patterson RD, Uppenkamp S, Johnsrude IS, Griffiths TD. The processing of temporal pitch and melody information in auditory cortex. *Neuron* 2002; 36: 767-76.
- Plichta MM, Gerdes AB, Alpers GW. Auditory cortex activation is modulated by emotion: a functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) study. *Neuroimage* 2011; 55: 1200-7.
- Halpern A, Martin JS, Reed TD. An ERP study of major-minor classification in melodies. *Music Percept* 2008; 25: 181-91.
- Koelsch S, Fritz T, Cramon DYV, Muller K, Friederici AD. Investigating emotion with music: an fMRI study. *Hum Brain Mapp* 2006; 27: 239-50.
- Chapin H, Jantzen K, Kelso JAS, Steinberg F, Large E. Dynamic emotional and neural responses to music depend on performance expression and listener experience. *PLoS One* 2010; 5: e13812.
- Scherer KR. Emotions as episodes of subsystem synchronization driven by nonlinear appraisal processes. In Lewis MD, Granic I, eds. *Emotion, development, and self-organization*. Cambridge: Cambridge University Press; 2000. p. 70-99.
- Janata P. The neural architecture of music-evoked autobiographical memories. *Cereb Cortex* 2009; 19: 2579-94.
- Meyer L. *Emotion and meaning in music*. Chicago: University of Chicago; 1956.
- Steinbeis N, Koelsch S. Comparing the processing of music and language meaning using EEG and fMRI provides evidence for similar and distinct neural representations. *PLoS One* 2008; 3: e2226.
- Koopman C, Davies S. Musical meaning in a broader perspective. *J Aesthet Art Criticism* 2001; 59: 261-73.
- Jäncke L. Music, memory and emotion. *J Biol* 2008; 7: 21.
- Koelsch K. Toward a neural basis of music perception – a review and updated model. *Front Psychol* 2012; 110: 1-20.
- Adolphs R. Recognizing emotion from facial expressions: psychological and neurological mechanisms. *Behav Cogn Neurosci* 2002; 1: 21-62.
- Rizzolatti G, Craighero L. The mirror neuron system. *Annu Rev Neurosci* 2004; 27: 169-92.
- Calvo-Merino B, Grèzes J, Glaser DE, Passingham RE, Haggard P. Seeing or doing? Influence of visual and motor familiarity in action observation. *Curr Biol* 2006; 16: 1905-10.
- Hauelsen J, Knösche T. Involuntary motor activity in pianists evoked by music perception. *J Cogn Neurosci* 2001; 13: 786-92.
- Callan D, Tsytarev V, Hanakawa T, Callan A, Katsuhara M, Fukuyama H, et al. Song and speech: brain regions involved with perception and covert production. *Neuroimage* 2006; 31: 1327-42.
- Chapin H, Jantzen K, Kelso JAS, Steinberg F, Large E. Dynamic emotional and neural responses to music depend on performance expression and listener experience. *PLoS One* 2010; 5: e13812.
- Janata P, Grafton ST. Swinging in the brain: shared neural

- substrates for behaviors related to sequencing and music. *Nat Neurosci* 2003; 6: 682-7.
48. Menon V, Levitin DJ. The rewards of music listening: response and physiological connectivity of the mesolimbic system. *Neuroimage* 2005; 28: 175-84.
49. Salimpoor VN, Benovoy M, Longo G, Cooperstock JR, Zatorre RJ. The rewarding aspects of music listening involve the dopaminergic striatal reward systems of the brain: an investigation with [¹¹C] raclopride PET and fMRI. *Neuroimage* 2008; 47 (Suppl 1): S39-41.

Neuroarchitecture of musical emotions

Summary. The emotional response to music, or musical emotion, is a universal response that draws on diverse psychological processes implemented in a large array of neural structures and mechanisms. Studies using electroencephalography, functional magnetic resonance, lesions and individuals with extent musical training have begun to elucidate some of these mechanisms. The objective of this article is reviewing the most relevant studies that have tried to identify the neural correlates of musical emotion from the more automatic to the more complex processes, and to understand how these correlates interact in the brain. The article describes how the presentation of music perceived as emotional is associated with a rapid autonomic response in thalamic and subthalamic structures, accompanied by changes in the electrodermal and endocrine responses. It also explains how musical emotion processing activates auditory cortex, as well as a series of limbic and paralimbic structures, such as the amygdala, the anterior cingulate cortex or the hippocampus, demonstrating the relevant contribution of the limbic system to musical emotion. Further, it is detailed how musical emotion depends to a great extent on semantic and syntactic process carried out in temporal and parietofrontal areas, respectively. Some of the recent works demonstrating that musical emotion highly relies on emotional simulation are also mentioned. Finally, a summary of these studies, their limitations, and suggestions for further research on the neuroarchitecture of musical emotion are given.

Key words. Emotion. Emotional simulation. Limbic system. Music. Semantics. Syntactic.