

Artículo

Respuestas Cerebrales a Diferentes Estilos Musicales en Melómanos y No-Melómanos: un Análisis Desde la Perspectiva de la Activación y Conectividad Funcional de Redes Neuronales

Almudena González-Brito  y Julián J. González-González 

Universidad de La Laguna (España)

INFORMACIÓN

Recibido: 20/05/2025
Aceptado: 30/07/2025

Palabras clave:

fMRI
Música
Melómano
Conectividad funcional
Psicología musical

RESUMEN

Este estudio experimental analiza las respuestas cerebrales ante distintos estilos musicales en función de la experiencia musical del oyente. Utilizando imágenes de resonancia magnética funcional (fMRI), se evaluaron tanto la activación cortical como la conectividad funcional entre regiones cerebrales (señales BOLD) en dos grupos de participantes: melómanos y no melómanos. Los sujetos realizaron una tarea de escucha musical activa en cuatro condiciones: música tonal (extracto de J.S. Bach), música atonal (obra original sin estructura tonal), ruido blanco y silencio. Los resultados indican diferencias significativas entre ambos grupos, observándose en los melómanos una mayor activación de áreas asociadas con la emoción, el control motor y la integración sensoriomotora, así como patrones de conectividad más amplios y consistentes entre regiones corticales y subcorticales. En cambio, los no melómanos mostraron respuestas más localizadas y de menor intensidad. Estos hallazgos sugieren que la familiaridad y afinidad con la música influyen en la arquitectura funcional del cerebro durante la audición musical. En conclusión, este estudio aporta evidencia empírica sobre el papel modulador de la experiencia musical en la percepción y procesamiento cerebral del sonido, destacando cómo la música no solo se percibe, sino que se integra de forma diferenciada en función del bagaje del oyente. Estos resultados pueden tener implicaciones relevantes en el diseño de intervenciones basadas en música, tanto en contextos educativos como terapéuticos.

Brain Responses to Different Musical Styles in Music Lovers and Non-Music Lovers: An Analysis From the Perspective of Activation and Functional Connectivity of Neural Networks

ABSTRACT

This experimental study analyzes brain responses to different musical styles depending on the listener's musical experience. Using functional magnetic resonance imaging (fMRI), both cortical activation and functional connectivity between brain regions (BOLD signals) were evaluated in two groups of participants: music lovers and non-music lovers. Subjects performed an active music listening task under four conditions: tonal music (excerpt from J.S. Bach), atonal music (original work without tonal structure), white noise, and silence. The results indicate significant differences between the two groups, with music lovers showing greater activation in areas associated with emotion, motor control, and sensorimotor integration, as well as broader and more consistent connectivity patterns between cortical and subcortical regions. In contrast, non-music lovers showed more localized and less intense responses. These findings suggest that familiarity and affinity with music influence the brain's functional architecture during music listening. In conclusion, this study provides empirical evidence of the modulatory role of musical experience in the perception and neural processing of sound, highlighting how music is not only perceived but is also integrated differently depending on the listener's background. These results may have relevant implications for the design of music-based interventions, both in educational and therapeutic contexts.

Keywords:

fMRI
Music
Music lover
Functional connectivity
Music psychology

Citar como: González-Brito, Almudena y González-González, Julián J. (2025). Respuestas cerebrales a diferentes estilos musicales en melómanos y no-melómanos: un análisis desde la perspectiva de la activación y conectividad funcional de redes neuronales. *Apuntes de Psicología*, 43(3), 255-266. <https://doi.org/10.70478/apuntes.psi.2025.43.24>

Autora y e-mail de correspondencia: Almudena González Brito, agonzabr@ull.edu.es

Este artículo está publicado bajo Licencia Creative Commons 4.0 CC-BY-NC-ND

Introducción

Desde el punto de vista de la teoría de la música, en toda composición musical se consideran tres componentes fundamentales: melodía, armonía y ritmo. La visión de la neurociencia al respecto considera que cada uno de estos formantes se encuentran respaldados por diferentes redes neuronales superpuestas pero distintas (Koelsch, 2011; Zatorre et al., 2007). En la música occidental, las notas musicales articuladas en las reglas de la armonía constituyen la denominada sintaxis musical que nos acompaña a lo largo de la vida y, en adultos se ha observado que conforman una arquitectura neuronal específica para la escucha musical (Loui et al., 2009; 2010). Esta sintaxis se modela y articula en diferentes estilos musicales de la música occidental sobre los que las personas presentamos gustos y preferencias, en gran medida debido a nuestro aprendizaje y familiaridad y otros factores como los rasgos de personalidad o la enculturación musical (Trainor y Corrigan, 2010; Zatorre, 2005).

Desde la neurociencia la audición musical ha sido objeto de numerosos estudios en los últimos años utilizando la metodología fMRI y también los métodos basados en las señales eléctricas cerebrales (EEG, MEG). Así, en fMRI se han identificado patrones de activación específicos asociados con la percepción musical del timbre y el ritmo, la emoción, la familiaridad y la experiencia musical (Alluri et al., 2012, 2013, 2015). Con respecto a la estructura musical que conforma la sintaxis se ha demostrado que la música disonante activa estructuras como la amígdala, el hipocampo y el giro parahipocámpal, mientras que la música consonante activa regiones asociadas con emociones positivas, sin embargo, estas respuestas varían según la sensibilidad individual, mostrando mayor activación en melómanos (Koelsch et al., 2019a). En esta línea, Pereira y colegas (2011) encontraron -durante la escucha musical activa- que la música familiar produce activaciones del giro frontal superior, el surco temporal superior y el giro cingulado posterior, áreas implicadas en la memoria autobiográfica, la atención y la emoción. En estudios comparativos de músicos vs. no músicos en reposo se ha observado que los músicos presentan una conectividad funcional más robusta en regiones relacionadas con la percepción auditiva, la planificación motora y la integración sensoriomotora que los no músicos (Luo et al., 2012). En relación con los gustos musicales, la literatura neurocientífica es relativamente pequeña. En un estudio de fMRI se mostró que la conectividad funcional de/entre redes y regiones cerebrales varía según la preferencia musical: las canciones preferidas o que gustaban, aumentaba la conectividad de la red en modo predeterminado (DMN) y alteraba la conectividad entre las áreas cerebrales auditivas y el hipocampo, región esta última responsable de la memoria y la consolidación de las emociones sociales (Wilkins et al., 2014). Martínez-Molina y colegas (2019) en un estudio utilizando la técnica del tensor de difusión en fMRI encontraron que las diferencias individuales en la sensibilidad al placer musical estuvieron relacionadas con la conectividad entre el núcleo accumbens y la corteza orbitofrontal, regiones clave en el procesamiento de recompensas. El estudio de Alluri y colegas (2015) sobre distintos tipos de música (tango, música clásica y rock progresivo) analizó cómo la experiencia musical influye en la conectividad funcional asociada a las emociones musicales; la comparación de músicos *versus* no músicos reveló que los primeros mostraron mayor conectividad con el área motora suplementaria (SMA), regiones afectivas ventromediales

y ventrolaterales tanto cerebrales como del cerebelo, mientras que los no músicos presentaron una conectividad más fuerte en regiones subcorticales. Estos autores sugieren que la variabilidad entre individuos de la experiencia placentera en la audición musical puede tener una base neuroanatómica.

Como hemos visto, un factor importante que contribuye a sentir placer al escuchar música es el estilo musical. La mayoría de los estilos de la música occidental, desde épocas pasadas hasta hoy, utilizan la estructura tonal, que es un sistema jerárquico de relaciones interválicas junto con una métrica que, mediante patrones rítmicos y acentos, se repiten regularmente. La música compuesta por compositores, con características estructuradas, e interpretada con instrumentos musicales físicos (ya sean acústicos, eléctricos o electroacústicos), la voz, o ambos, como es el caso de la música tonal occidental, implica patrones que permiten a los oyentes formar expectativas que pueden posteriormente cumplirse o no y esto se debe a que la experiencia de la escucha musical se encuentra íntimamente vinculada a modelos predictivos ligados al cerebro (Vuust et al., 2022). Vuust y colegas (2022) profundizaron sobre el proceso de escuchar música en el ser humano, el cual difiere según los estilos musicales debido a que la escucha es un proceso en el que la respuesta cerebral se construye continuamente. Esta construcción se realiza a través de modelos predictivos con los que el cerebro anticipa eventos, situaciones o consecuencias futuras, en este caso con predicciones sobre lo que va a suceder en la secuencia temporal de una pieza musical a partir de las notas y secuencias musicales anteriores. Por tanto, estas predicciones varían según el estilo de la música escuchada y, en este proceso interviene además otros factores como los relacionados con la preferencia, la familiarización y la experiencia (Vuust y Frith, 2009; Vuust et al., 2009, 2018).

Se ha establecido que el procedimiento predictivo citado que desencadena la escucha musical da lugar a la percepción, la acción, la emoción y con el tiempo, al aprendizaje y se ha formulado mediante el denominado modelo de codificación predictiva de la música (PCM) (Vuust y Witek, 2014). Este postula que cuando escuchamos música, el cerebro despliega un modelo predictivo, basado en la experiencia previa, que guía la percepción musical. La literatura sobre la predicción musical es amplia (Koelsch et al., 2019b; Lerda y Jackendoff, 1983; Meyer, 1956) y además se ha relacionado con las emociones asociadas proponiéndose una relación entre la anticipación musical y la emoción consecuente con mecanismos cerebrales anticipatorios de supervivencia (ver Huron, 2006). Se sabe que las expectativas musicales son generadas por sensaciones auditivas que dependen de las predicciones de la mente. Estas predicciones, a su vez, dependen de un proceso de aprendizaje recursivo y de un ajuste continuado gracias a la plasticidad cerebral (Hansen y Pearce, 2014), también de la familiaridad con una pieza o género musical en particular (Vuust et al., 2012) y de la memoria a corto plazo para el pasado musical inmediato y las estrategias de escucha deliberada (Altenmüller, 2006). Estos mecanismos neuronales y las arquitecturas funcionales que subyacen a las expectativas musicales están así configurados por varios parámetros como la cultura, la historia personal de escucha de los sujetos, la formación musical y la biología (Monelle, 1992).

Nuestro grupo lleva tiempo interesado en el estudio de las respuestas cerebrales a diferentes estilos musicales durante la escucha musical (González et al., 2021), pues consideramos que su estudio puede contribuir no solo al conocimiento básico de

la escucha musical sino a sus posibles aplicaciones en distintos campos, por ello, lo hemos realizado con oyentes de distinta enculturación musical. Por otro lado, de lo relatado en el párrafo anterior, consideramos que el tema de la predicción (modelo PCM) es de un gran interés y actualidad en la escucha musical y de alguna manera podría explicar algunos de los resultados del presente trabajo en el que analizamos dos extractos musicales, uno predecible “clásico” (de estructura previsible y precisa) y otro impredecible contemporáneo (sin estructura conocida que utiliza la atonalidad y métrica libre). Nuestros resultados evidencian que tanto la formación musical como la afinidad y asiduidad de la escucha musical se encuentran asociadas con patrones distintivos de conectividad y activación cerebral. La audición musical no solo fortalece las redes neuronales relacionadas con la percepción auditiva, sino también se encuentra relacionada con procesos cognitivos superiores como la memoria, la emoción y la creatividad.

El presente trabajo se dirige a estudiar este marco conceptual utilizando las imágenes funcionales de resonancia magnética (fMRI) durante la audición de distintos estilos musicales de música occidental en sujetos con experiencia/familiaridad y gusto por la escucha musical y, que normalmente llamamos melómanos; *versus* sujetos sin experiencia ni preferencia o gusto por la audición musical y, que denominamos no melómanos.

Método

Participantes

Todos los/las participantes ($n=37$; 18 mujeres y 19 hombres) fueron voluntarios sanos y diestros, confirmado mediante el cuestionario de Edimburgo (Bryden, 1977; Oldfield, 1971), con una edad media de 43,4 años ($DE=6,8$) y sin antecedentes de trastornos neurológicos o psiquiátricos.

Todos los participantes eran originarios de Canarias (España) y fueron reclutados entre el alumnado de extensión universitaria de la Universidad de La Laguna que cursaban estudios en el momento de la realización del estudio experimental.

Se dividieron en dos grupos: 19 melómanos (Ms), de los cuales nueve mujeres, y 18 no melómanos (NMs), de los cuales también nueve mujeres, según cuestionario sobre experiencia musical, completado previamente tal como se detalla en el apartado siguiente.

El presente estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de La Laguna y se llevó a cabo de conformidad con la Declaración de Helsinki, revisada en 2013. Todos los participantes dieron su consentimiento informado por escrito antes de participar en el estudio. Este trabajo siguió las normas internacionales para autores responsables de publicaciones de investigación de Wager y Kleinert (2011).

Instrumentos

Para reclutar a los participantes se realizaron dos cuestionarios previos. El primero fue el cuestionario de Edimburgo, instrumento estandarizado diseñado para evaluar la lateralidad manual de un individuo, es decir, su preferencia por el uso de la mano derecha o izquierda en diversas tareas funcionales. Esta medida es de gran relevancia en estudios neurocientíficos, ya que la lateralidad se asocia a la organización funcional cerebral, especialmente en

relación con el lenguaje, la motricidad fina y el procesamiento auditivo. El segundo cuestionario redactado *exprofeso* por el equipo tenía como objetivo conocer los siguientes parámetros:

- 1) Formación musical: nula, muy baja, baja, media, alta.
- 2) Frecuencia de asistencia a conciertos mensual/anual en los últimos 5 años: nunca; alguna vez en mi vida; en ocasiones especiales (aproximadamente una vez al año); frecuentemente (aprox. tres veces al año); muy frecuentemente (aprox. mensualmente).
- 3) Horas de audición o escucha activa dedicadas a la semana: ninguna; poca; moderada; frecuente; diaria.
- 4) Diferenciación estilos musicales en conocimientos: nada, poco, algo, moderado, mucho.

Se puntuó con escalas del 1 al 5 y se descartaron los y las participantes con carreras profesionales en la música. En función de las puntuaciones en este cuestionario, se distribuyó a los participantes en dos grupos: Melómanos (puntuación media 14) y No-Melómanos (puntuación media 6).

Condiciones de Audición: Paradigma Experimental

Los tres estímulos sonoros utilizados en este diseño experimental diferían en la estructura, estilo y métrica. Los estímulos y condiciones de audición fueron las siguientes:

- a) La audición de un extracto de la *Sarabanda* (T) Suite BWV 1008 para violonchelo solo de Johann Sebastian Bach como representante de la música tonal, precisa y previsible.
- b) La audición de un extracto de una obra atonal (A) para violonchelo solo compuesta por Almudena González (coautora), una obra nueva caracterizada por la ausencia de centro tonal, un tempo libre y el uso de tres efectos sonoros específicos: sobrepresión, microtonos y *ponticello*. Este extracto atonal lo denominamos *Sincro* (ver extracto en González et al., 2021).
- c) La audición de ruido blanco (R) de potencia constante dentro de la gama de frecuencias/tonos audibles del ser humano.
- d) Utilizamos como condición de control o contraste con las audiciones sonoras un periodo de silencio (S).

Todas las audiciones, incluido el periodo de silencio, tuvieron una duración de 26 segundos. Durante la sesión, dentro del escáner, los participantes mantuvieron los ojos cerrados en posición supina y contaban con auriculares con micrófono para escuchar las instrucciones o solicitar la parada del experimento en caso de ser necesario. A las/los participantes se les demandaba a través de los auriculares una escucha atenta, durante la condición de silencio se les pidió que se concentraran únicamente en su propio ruido y movimiento respiratorio sin pensar ni imaginar nada más, en un estado de reposo absoluto. El desempeño y el estado del participante dentro del escáner fueron monitorizados visualmente en todo momento por uno de los dos autores del presente estudio desde la cabina donde se encontraban los ordenadores y a través de la ventana de cristal que separaba la cabina de la sala del escáner. Todos los y las participantes completaron una sesión de fMRI que duró (24x26 s) 10 m y 4 s.

Para el estudio de imágenes funcionales de resonancia magnética (fMRI) se empleó un diseño experimental en bloques. Cada estímulo/condición/audición se repitió seis veces y su orden se alteró aleatoriamente, para evitar habituación, según la secuencia de bloques sin pausas entre las condiciones que ilustra la figura 1.

Figura 1
Secuencia de Estímulos

S → T → R → A → T → S → A → R → A | S → T → R → S → A → R → T → A → R → S → T → R → A → T → S

Adquisición de Imágenes de Resonancia Magnética Funcional MR

Todos los datos de fMRI se registraron y almacenaron en los laboratorios del Servicio de Resonancia Magnética para la Investigación Biomédica de la Universidad de La Laguna (ULL, España). Cuando la o el participante se encontraba dentro del escáner, se le estabilizó la cabeza con almohadillas de espuma. Posteriormente, se obtuvieron imágenes funcionales orientadas axialmente mediante un escáner de RM Signa HD de 3 T (*GE Healthcare, Waukesha, WI, EE. UU.*) utilizando una secuencia de eco de gradiente de imágenes ecoplanares y una bobina de cabeza de 8 canales (TR = 2000 ms, TE = 21,6 ms, ángulo de giro = 90°, tamaño de matriz = 64 × 64 píxeles, 37 cortes, resolución plana de 4 × 4 mm, espaciado entre cortes = 4 mm, grosor de corte = 3,3 mm, adquisición intercalada). Los cortes se alinearon con la línea comisura anterior-comisura posterior y cubrieron todo el cerebro. El escaneo funcional fue precedido por 26 s de escaneos simulados para asegurar la magnetización estable del tejido. Se tomaron un total de 325 volúmenes durante la resonancia magnética funcional de cada participante en cada bloque. También se recopilaron imágenes anatómicas de alta resolución con orientación sagital como referencia anatómica. Se obtuvo una secuencia de pulsos tridimensional rápida con gradiente deteriorado (TR = 8,8 ms, TE = 1,7 ms, ángulo de giro = 12°, tamaño de la matriz = 256 × 256 píxeles, resolución del plano: 1 × 1 mm, espaciado entre cortes = 1 mm más 0 mm de separación entre cortes, grosor de corte = 1 mm).

Se desarrolló un script en MATLAB utilizando las rutinas de la caja de herramientas Cogent (*VisLab, s.f.*) para iniciar la adquisición de la secuencia de imágenes funcionales sincronizada con la iniciación de las audiciones según la secuencia y los tiempos mencionados anteriormente en el diseño de bloques. El conjunto de imágenes funcionales registradas durante la secuencia de bloques (325 imágenes por bloque) de cada participante fueron almacenadas en el ordenador para su posterior procesamiento y análisis. También almacenamos la imagen anatómica de cada participante para su uso en los procesamientos y análisis posteriores.

Preprocesamiento y Análisis de Imágenes Funcionales

Las imágenes funcionales se analizaron utilizando el software SPM12 (*Wellcome Centre for Human Neuroimaging, s.f.*). Las imágenes originales se realinearon, readaptaron y normalizaron en el formato/espacio MNI (*Montreal Neurological Institute*). Las imágenes normalizadas de 2 mm × 2 mm × 2 mm se suavizaron mediante un kernel gaussiano FWHM de 8 × 8 × 8. Se implementó un diseño de bloques (señalado anteriormente) en el contexto de un modelo lineal general (GLM) para los análisis de sujetos individuales. Se crearon tres regresores modelando la respuesta BOLD (*Blood Oxygenation Level Dependent*) a cada condición T, A, R y S. Las condiciones se modelaron utilizando una función box-car convolucionada con la HRF (Función de Respuesta Hemodinámica).

La obtención de los datos de activación cerebral se llevó a cabo en los dos niveles estadísticos del SPM12: En el primero se generaron mapas de activación (a partir de las respuestas HFR) para cada sujeto aplicando el estadístico *t*. Los mapas se calcularon para los tres contrastes de interés: Sarabanda > Silencio, Sincro > Silencio y Ruido > Silencio. Estas imágenes de contraste de primer nivel se llevaron al segundo nivel del SPM12. Aquí, escogiendo la opción Batch del SPM12, se seleccionaban para el procesamiento el conjunto de imágenes de un contraste determinado correspondientes a todos los sujetos Ms o NMs. El procedimiento constaba de cuatro pasos al final de los cuales obteníamos la imagen estadística (T) del contraste promedio del grupo de sujetos seleccionado y los clústeres de activación de las distintas regiones cerebrales con su nivel de significación y número de vóxeles activados. En resumen, a efectos prácticos para cada contraste y grupo de sujetos, con el SPM12 obtuvimos una imagen promedio con las regiones cerebrales activadas y un pdf con sus coordenadas MNI, su nivel estadístico de activación, y con el n° de vóxeles activados.

Con las imágenes del 2° nivel del SPM12, se utilizó el software xjView (*AliveLearn, s.f.*), mediante el cual fue posible identificar, seleccionar e imprimir el nombre de las regiones/redes/clústeres cerebrales activados de interés (ROIs) con un nivel de significación estadística para comparaciones múltiples $p\text{-FWE-corr} < 0.05$ (FWE: *family-wise error rate*), determinar sus coordenadas MNI, verificar su n° de vóxeles, y por otro dibujar las regiones de interés en los cortes anatómicos de mejor visualización y en los distintos contrastes de ambos grupos de participantes Ms y NMs como se comprobará en el apartado de Resultados.

Análisis de Conectividad Funcional

Las conectividades funcionales (CF) entre las diferentes regiones cerebrales de interés seleccionadas (ROIs) para investigar los tres contrastes considerados (Ruido > Silencio, Sarabanda > Silencio y Sincro > Silencio) se estimaron utilizando la caja de herramientas CONN (*CONN Toolbox, s.f.*; Whitfield-Gabrieli y Nieto-Castanon, 2012; Nieto-Castanon, 2020). En ella, se incluían 164 ROIs predefinidos: 91 corticales, 15 subcorticales y 27 del cerebelo del FSL Harvard-Oxford Atlas (*FMRIB Software Library, s.f.*) y 32 redes relacionadas con diferentes funciones cerebrales. Nosotros solo utilizamos 27 ROIs de los incluidos en CONN en el presente estudio y que correspondían a los 27 ROIs que resultaron con activación estadísticamente significativa en alguno de los contrastes realizado en el apartado anterior (ver en Resultados). Para iniciar CONN, utilizamos como datos de entrada la configuración de datos de primer nivel del SPM12 de cada uno de los participantes, es decir, las imágenes anatómicas y funcionales suavizadas computadas en el preprocesado. Es necesario también proporcionar en el apartado de “Condiciones” para el conjunto de los participantes y condiciones/bloques, la duración y los tiempos de inicio de cada bloque en la secuencia de la condición considerada (Sarabanda, Sincro, Ruido o Silencio); como covariables de primer nivel entramos para cada participante los datos requeridos proporcionados por

SPM12 durante el preprocesado y como covariable de segundo nivel entramos los participantes correspondientes al grupo de Ms y separadamente los del grupo de NMs. El programa realiza luego una etapa de depuración del ruido (*denoising*) de los datos, utilizando distintas operaciones de mejora sobre las series temporales funcionales. A continuación, pasamos al análisis de primer nivel, en que se estiman mapas de conectividad basados en semillas y matrices de conectividad ROI-to-ROI caracterizando los patrones de conectividad funcional con los 27 ROIs antes mencionados. La fuerza de la conectividad funcional se representó mediante coeficientes de correlación (CC) bivariado de Pearson transformados por Fisher a partir de un modelo lineal general ponderado, definido por separado para cada par de regiones semilla y diana, modelando la asociación entre sus series temporales de señal BOLD. Finalmente, el análisis de 2° nivel a nivel de grupos se realizó utilizando el Método Lineal General (GLM) haciendo uso de los resultados obtenidos en el análisis de primer nivel (ver en Nieto-Castanon, 2020). En definitiva, para estimar la CF entre las señales BOLD de dos vóxeles, utilizamos el coeficiente de correlación de Pearson y si era entre dos ROIs se obtenía entre el promedio de los CCs de cada ROI. En el presente trabajo, elegimos el análisis de ROI a ROI de segundo nivel utilizando dos aproximaciones. Para ambas, necesitamos previamente seleccionar los datos correspondientes a los contrastes entre condiciones, la semilla/s objeto de estudio, el vector de contrastes en cada caso y si éste es unilateral o bilateral; en el presente trabajo seleccionamos la opción bilateral para los contrastes que incluye correlaciones tanto positivas como negativas; elegimos la dirección de contrastes siguiente: Ruido>Silencio, Sarabanda>Silencio y Sincro>Silencio.

En la primera aproximación, seleccionamos un contraste y el grupo de participantes, computamos para cada uno de los 27 ROIs considerados como “semillas” o fuentes de conectividad, los ROIs “dianas” o “blancos” con los que presentaban una conectividad estadísticamente significativa (según el valor del estadístico T del test de comparaciones múltiples con $p\text{-FDR} < 0.05$) (FDR: *false discovery rate*). En la segunda aproximación, realizamos el análisis para la obtención del conectoma entre el conjunto de los 27 ROIs semillas seleccionadas. Los resultados estadísticos se umbralizaron combinando el nivel de conexión umbral $p\text{-FDR}$ corregido al 0.05

para las conexiones ROI a ROI y un umbral a nivel semilla (según la estadística basada en redes (NBS) (Zalesky et al., 2010) con el $p\text{-FDR}$ corregido al 0.05, sobre el número y la fuerza/intensidad de las conexiones individuales de cada subred obtenida. Las medidas NBS se llevaron a cabo utilizando tests de permutaciones no-paramétricas como se indica en CONN. Los resultados en cada caso proporcionan el valor del estadístico T y la magnitud del $p\text{-FDR}$ correspondiente a las conexiones investigadas. Nosotros presentamos en Resultados el conectoma circular entre ROIs con el valor de T en barra de colores.

Resultados

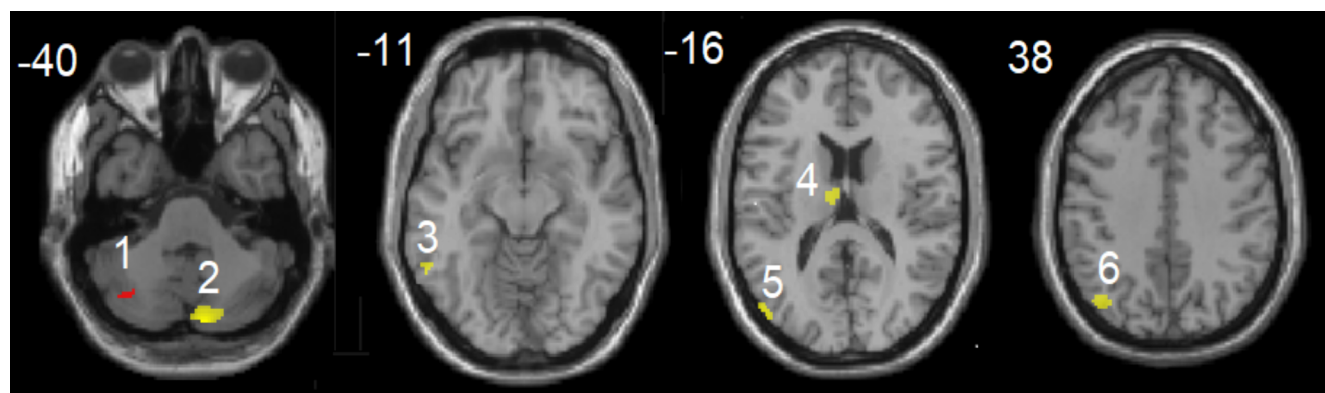
Activaciones en las Distintas Situaciones y Contrastes

En las imágenes de las figuras siguientes se muestran cortes transversales durante los diferentes contrastes considerados. En ellos, aparecen coloreadas las regiones con activación hemodinámica significativa ($FWE < 0.05$). Dentro del corte aparecen numeradas las distintas regiones activadas cuyas denominaciones y abreviaciones se describen en el texto que sigue con la extensión L/R para el lado izquierdo y R/r para el derecho del cerebro y cerebelo.

Como se muestra en la figura 2, la audición del ruido frente al silencio presenta un pequeño número de regiones activadas ($FWE < 0.05$) y estas se producen principalmente en los NMs. Así, a la altura $Z = -40$ aparecen activadas la corteza cerebelar izquierda (1, CERCRU2.L) en los Ms y en los NMs la corteza cerebelar derecha (2, CERCRU2.R). En el nivel $Z = -11$ sólo aparece activada en los NMs una zona de la parte posterior del giro temporal inferior (3, ITG.L); en el nivel $Z = -16$, una pequeña parte del tálamo (4, THA.L) y del giro occipital medio (5, MOG.L) y, finalmente, en el nivel $Z = +38$ se activaron un grupo de vóxeles del giro angular (6, ANG, L).

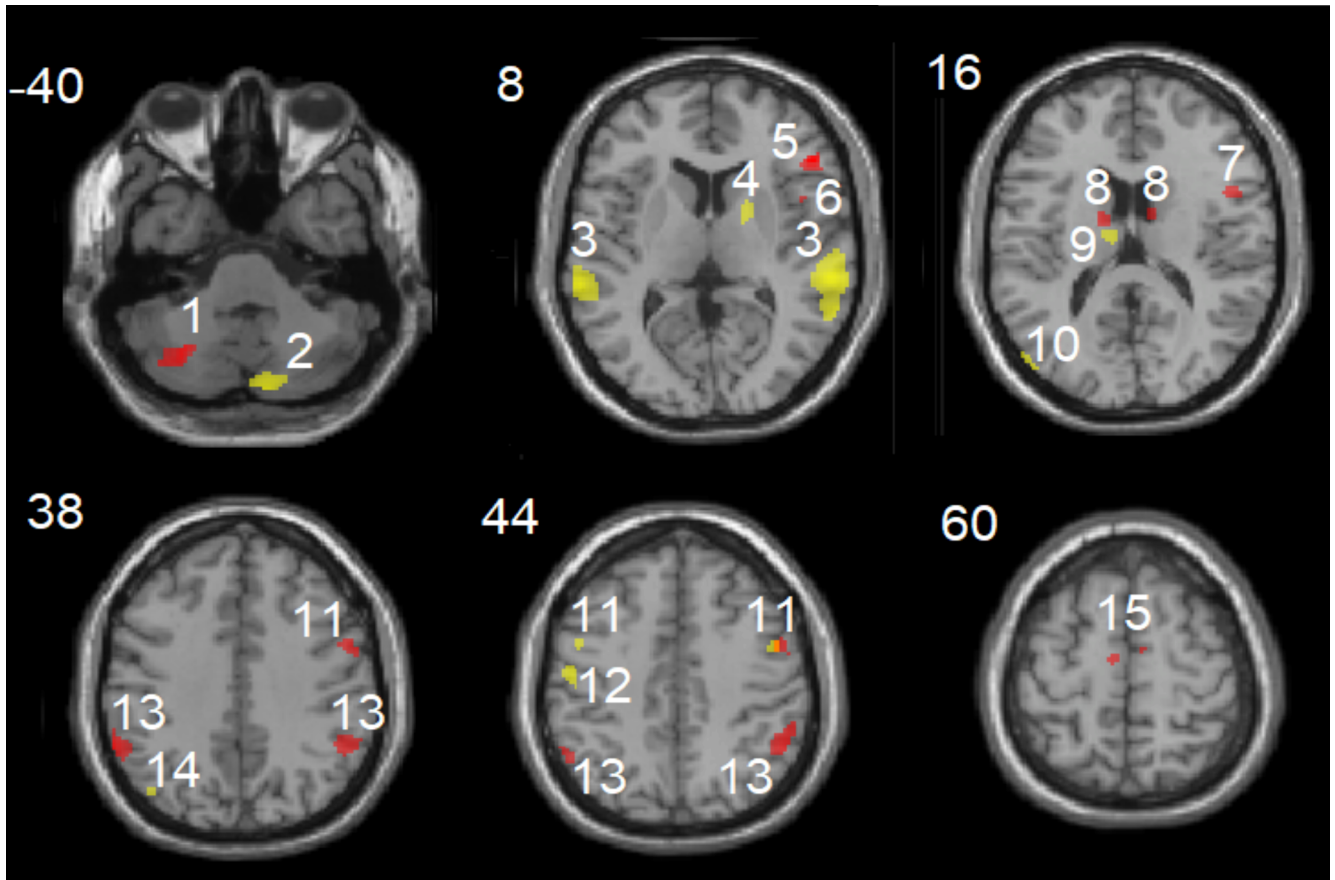
Como se muestra en la figura 3, en este contraste la audición de música tonal (Sarabanda) frente al silencio produjo las siguientes activaciones: al nivel $Z = -40$ en la corteza cerebelar, la región CERCRU2.L en los Ms y en los NMs la región CERCRU2.R más próxima al Vermis cerebelar. A la altura $Z = +8$ en los sujetos NMs aparecieron amplias zonas activadas en el giro temporal

Figura 2
Contraste Ruido > Silencio



Nota. Cortes transversales a distintos niveles de la coordenada Z (MNI) señalada en la parte superior izquierda de cada corte. Las regiones cerebrales/cerebelares con activación hemodinámica significativa ($FWE < 0.05$) aparecen coloreadas en rojo en los melómanos (M) y en amarillo en los no-melómanos (NMs). Ver en el texto la denominación de las distintas regiones numeradas en cada corte.

Figura 3
Contraste Ruido > Silencio

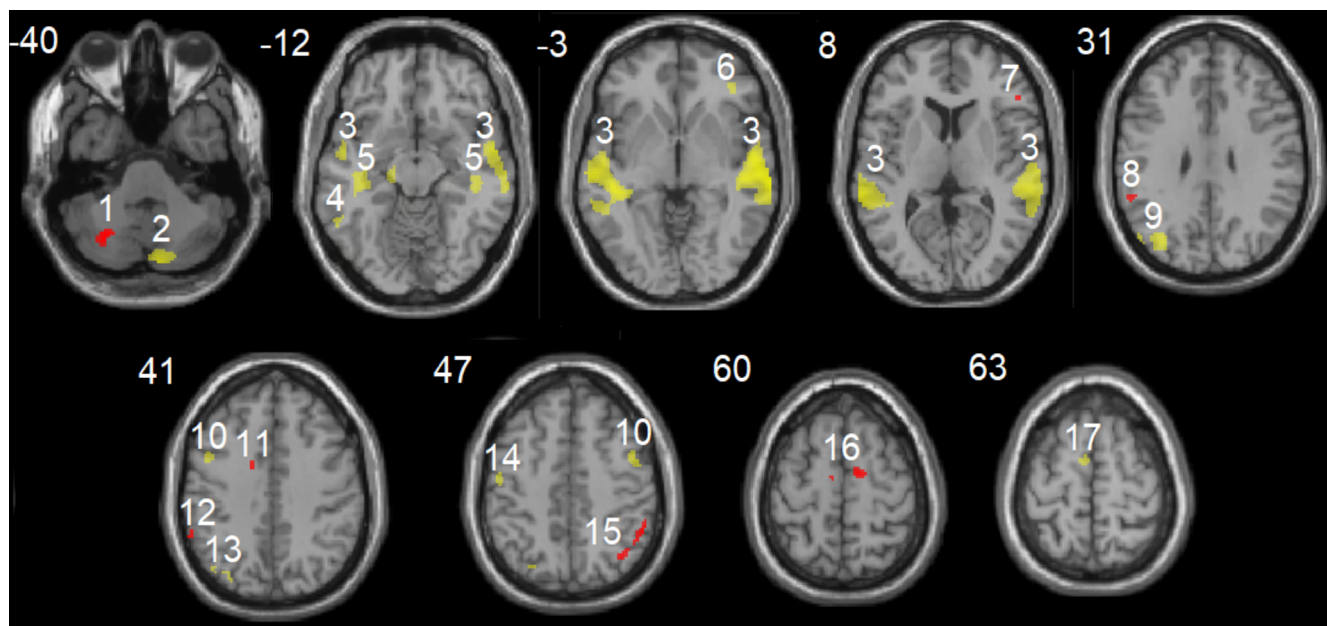


Nota. Idéntico formato y características que en la Figura 2. Explicaciones en el texto.

superior (3, STG) y medio (3, MTG) del área auditiva de ambos hemisferios; también se activaron puntos del núcleo putamen (núcleo de los ganglios basales del cuerpo estriado) (4, PUT.R) mientras que en los sujetos Ms se activaron dos regiones del lóbulo frontal inferior derecho: una zona del giro frontal inferior parte triangular (5, IFGtriang.R) y otra del giro frontal inferior parte opercular (6, IFGoperc.R). Al nivel $Z = +16$ en los sujetos Ms se manifestaron activaciones en el lóbulo frontal inferior derecho (7, IFGoperc) y en el núcleo caudado de los ganglios basales del estriado (8, CAU) derecho e izquierdo; en los sujetos NMs se activaron ciertas zonas del tálamo (9, THA.L), del giro angular (10, ANG.L) y del giro occipital medio (10, MOG.L). En el nivel $Z = +38$ en los sujetos Ms se activaron zonas del giro supramarginal (13, SMG) derecho e izquierdo y del giro precentral derecho (11, PreCG.R); en los NMs sólo aparecen zonas activadas en el giro ANG.R (14). A la altura $Z = +44$ en los Ms aparecen activadas zonas del PreCG.R (11) de SMG.L y SMG.R (13) [que se superponen en este corte con zonas de lóbulo parietal inferior IPL.L e IPL.R (13)]; en los NMs se activan también zonas del PreCG (11) derecho e izquierdo y del giro postcentral izquierdo (12, PoCG.L). En el nivel más próximo a la superficie $Z = +60$ y sólo en los Ms aparecen activadas zonas del área motora suplementaria derecha e izquierda (15, SMA).

Por su parte, la [figura 4](#) muestra las respuestas a la audición de la música atonal (Sincro) frente al silencio fueron en general más numerosas que las activadas en el contraste anterior. En el nivel $Z = -40$ las zonas del cerebelo CERCUR1.L (1) en los Ms y CERCUR2.R en los NMs. Al nivel $Z = -12$ aparecieron activaciones en los NMs en las regiones del hipocampo derecho e izquierdo (5, HIP), zonas auditivas derecha (R) e izquierda (L) del giro temporal superior (3, STG) y medio (3, MTG) y del inferior izquierdo (4, ITP.L). A la altura $Z = -3$ se activaron zonas L y R del giro temporal superior (3, STG) y medio (3, MTG) y de la región frontal IFGtriang.R (6) todas en los NMs. En el nivel $Z = +8$ igualmente las zonas temporales (3, STG, MTG) para los NMs y en los Ms la zona frontal inferior IFGtriang.R (7). A la altura $Z = +31$ las activaciones aparecieron en los Ms en la región SMG.L (8) y en los NMs en la región del precuneo (9, PCU.L) solapada a zonas del MOG.L (9). En el nivel $Z = +41$ en los Ms zonas del giro cingulado izquierdo (11, DCG.L) y del lóbulo parietal inferior (12, IPL.L) y en los NMs en zonas del PreCG.L (10) y del giro angular ANG.L (13). En el nivel $Z = +47$ aparecieron activaciones en los Ms en zonas contiguas del ANG.R y IPG.R (15); en los NMs en el PreCG.R (10) y PoCG.L (14). En los niveles más superiores aparecieron activaciones en la SMA.L y SMA.R en los Ms en $Z = +60$ y en el nivel $Z = +63$ en la SMA.L en los NMs.

Figura 4
Contraste Sincro > Silencio



Nota. Idéntico formato y características que en la Figura 2. Explicaciones en el texto.

Conectividades Funcionales Entre Regiones Seleccionadas

A partir de los resultados de las regiones activadas en los distintos contrastes relatados en el apartado anterior, seleccionamos la totalidad de ellas (en total 27 diferentes) para analizar en cada contraste la conectividad funcional desde dos aproximaciones. Primero considerándolas (cada una por separado) como “semillas de conectividad” computando las “dianas” con las que se conectaban, y en segundo lugar considerándolas conjuntamente para determinar/ dibujar en cada contraste la posible conectividad funcional entre

ellas, esto es, el conectoma representativo de cada contraste en ambos grupos de participantes oyentes Ms y NMs.

En las tablas que siguen sólo aparecen las regiones semilla que produjeron dianas en algunos de los dos grupos de sujetos considerados (Ms y NMs) de forma estadísticamente significativa ($p\text{-FDR} < 0.05$). En las [tablas 1, 2 y 3](#) observamos que, del total de 27 de regiones activadas en las distintas situaciones de audición y silencio, solo ocho regiones semilla, no comunes en las tres tablas, presentaron dianas estadísticamente significativas en los tres contrastes. Estas ocho semillas ofrecieron dianas

Tabla 1
Contraste Ruido > Silencio. Semillas (ROIs) y sus Diferentes Dianas en Cursiva (con $p\text{-FDR} < 0.05$) en Ambos Grupos de Oyentes

Semillas	Dianas	
	Melómanos	No Melómanos
PreCG.R	<i>FPL; SFG.L; MFG.L</i>	.....
ANG.R	<i>MFG.R</i>	.....
SMA.R	<i>MFG.L; FPL</i>	.....
HIP.L	<i>FPL</i>	.....
IPL.L	<i>IFGtriang. L&R; IFGoperc.L&R</i>	.....
SMA.L	<i>FPL; MFG.L; IFGoperc. L</i>	.....
SMG.L	<i>IFGtriang. L&R</i>	.....
SMG.R	<i>SFG.R; FP; IFGtriang.R</i>	<i>IFGtriang.L</i>

Nota. En este contraste (Ruido > Silencio) y los de las tablas siguientes se presentan en columnas las Semillas (ROIs) y sus diferentes Dianas en cursiva (con $p\text{-FDR} < 0.05$) en ambos grupos de oyentes. La denominación completa de las regiones cerebrales cuyas abreviaciones (en formato inglés) aparecen en la tabla se encuentran explicitadas en el texto del primer apartado de Resultados “Activaciones en las Distintas Situaciones y Contrastes” con la extensión L/I para el hemisferio izquierdo y R/r para el derecho.

Tabla 2
Contraste Sarabanda > Silencio. Semillas (ROIs) y sus Diferentes Dianas en Cursiva (con $p\text{-FDR} < 0.05$) en Ambos Grupos de Oyentes

Semillas	Dianas	
	Melómanos	No Melómanos
PreCG.R	<i>FPL; SFG.L; MFG.L</i>	.....
ANG.R	<i>MFG.R</i>	.....
SMA.R	<i>MFG.L; FPL; IFGtriang.L</i>	.....
SMA.L	.....	<i>MFG.L; IFGtriang.L</i>
PUT.R	<i>IC.L&R</i>	.....
IPL.L	<i>IFGtriang.L; IFGoperc.L</i>	<i>IFGtriang.L; IFGoperc.L</i>
SMG.R	<i>SFG.R; FPL</i>	.....
SMG.L	<i>MFG.R; IFGtriang.L&R; IFGoperc.L</i>	<i>IFGtriang.L</i>

Nota. La denominación completa de las regiones cerebrales cuyas abreviaciones (en formato inglés) aparecen en la Tabla se encuentran explicitadas en el texto del primer apartado de Resultados “Activaciones en las Distintas Situaciones y Contrastes” con la extensión L/I para el hemisferio izquierdo y R/r para el derecho.

Tabla 3

Contraste Sincro > Silencio. Semillas (ROIs) y sus Diferentes Dianas en Cursiva (con $p\text{-FDR} < 0.05$) en Ambos Grupos de Oyentes

Semillas	Dianas	
	Melómanos	No Melómanos
PreCG.R	<i>FPL; SFG.L</i>	.....
ANG.R	<i>MFG.R</i>	.....
SMA.R	<i>FPL; IFGtriang.L</i>	.....
SMA.L	<i>IFGoper.L</i>	<i>MFG.L; IFGtriang.L</i>
PUT.R	<i>IC.L&R</i>	
HIP.L	<i>FPR</i>	
SMG.R	<i>SFG.R; FPL; IFGtriang.R</i>	.....
SMG.L	<i>IFGtriang.L&R; IFGoper.L</i>	<i>IFGtriang.L</i>

Nota. La denominación completa de las regiones cerebrales cuyas abreviaciones (en formato inglés) aparecen en la Tabla se encuentran explicitadas en el texto del primer apartado de Resultados “Activaciones en las Distintas Situaciones y Contrastes” con la extensión L/I para el hemisferio izquierdo y R/r para el derecho.

principalmente en los sujetos correspondientes al grupo de Ms en los tres contrastes analizados. A partir de las tres tablas observamos que las regiones semilla que conectaban con dianas en los sujetos Ms en los tres contrastes, esto es, que fueron comunes a la audición de las tres piezas sonoras frente al silencio en los melómanos Ms, fueron el giro Precentral (PreCG) y el área motora suplementaria (SMA) en el lóbulo frontal, el giro Angular (ANG) y el giro supramarginal (SMG) en el lóbulo parietal. En los sujetos NMs solo el giro supramarginal (SMG) surgió como semilla de conectividad común en los tres contrastes. Como regiones semillas no comunes en los tres contrastes, aparecieron el lóbulo parietal inferior (IPL) con dianas en la corteza prefrontal en los sujetos Ms durante la audición del ruido y la música tonal en los sujetos Ms y solo de la música tonal en los NMs (tablas 1 y 2).

En relación con las regiones subcorticales mostraron regiones semilla en el sistema límbico el hipocampo (HIP), que apareció como semilla común (tablas 1 y 3) en la audición del ruido y de la música atonal (Sincro) en los sujetos Ms con dianas en la corteza polar frontal (FP) y, en el sistema de los ganglios basales del estriado el putamen (PUT), que apareció como semilla de conectividad solo en los Ms con dianas en la corteza insular (IC) en la audición de ambos estilos tonal y atonal (tablas 2 y 3).

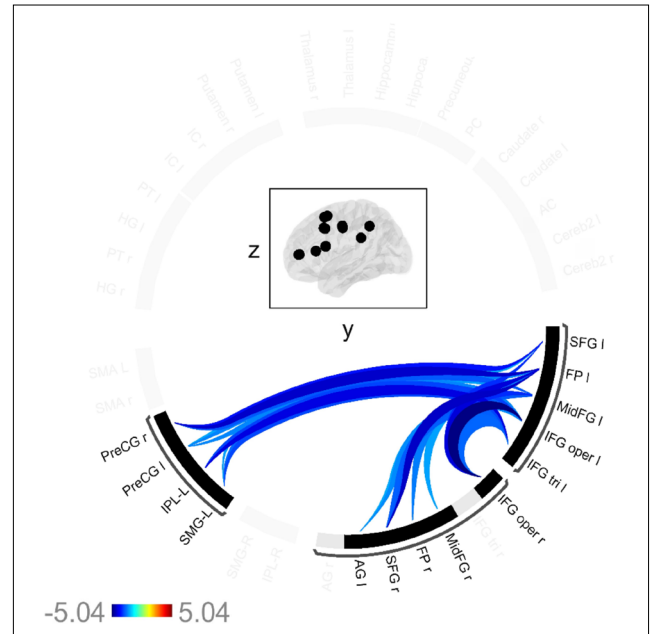
Conectomas en los Tres Contrastes Analizados y Sujetos Oyentes Ms y NMs

El cálculo de los conectomas se realizó considerando como regiones semilla el conjunto de las 27 regiones activadas durante la audición de las tres piezas sonoras (Ruido, Sarabanda y Sincro) frente al Silencio con un nivel de significación estadística para múltiples contrastes de $p\text{-FDR} < 0.05$.

En la figura 5 vemos el Conectoma del Contraste Ruido > Silencio en Sujetos Ms y observamos que sólo un pequeño número de semillas se conectan con correlación inversa (azul) entre sí. La barra de colores en esta imagen y las siguientes indica el valor de la intensidad de la conectividad medida por la magnitud del estadístico T de la conexión correspondiente. Las abreviaciones usadas en el conectoma son similares a las ya relatadas en los apartados anteriores (aquí ANG por

Figura 5

Conectoma del Contraste Ruido > Silencio en Sujetos Ms



Nota. La denominación completa de las regiones cerebrales cuyas abreviaciones (en formato inglés) aparecen en el conectoma se encuentran explicitadas en el texto del primer apartado de Resultados “Activaciones en las Distintas Situaciones y Contrastes” con la extensión L/I para el hemisferio izquierdo y R/r para el derecho.

AG o MFG por MidFG). Ver las conectividades más características del conectoma en la tabla 1. Por razones de significación estadística, en el conectoma pueden aparecer algunas conexiones nuevas o faltar alguna descrita en la tabla 1. En sujetos NMs, el contraste Ruido > Silencio no mostró diferencias significativas.

La figura 6 muestra los conectomas del contraste Sarabanda > Silencio en sujetos Ms y NMs. Las conectividades más características se presentan en la tabla 2. Aquí las abreviaciones son similares a las de la Tabla 1-3 (MidFG por MFG). Para los sujetos NMs aparecen conectividades que, por razones estadísticas, no se mostraron en la tabla 2; concretamente aparece una conectividad importante entre el giro cingulado anterior (AC) con la corteza motora suplementaria SMA.L y entre el PreCG.R y la SFG.R no mostrada en la tabla. No aparecen en cambio representadas las conectividades de las semillas SMG y IPL de la tabla 2.

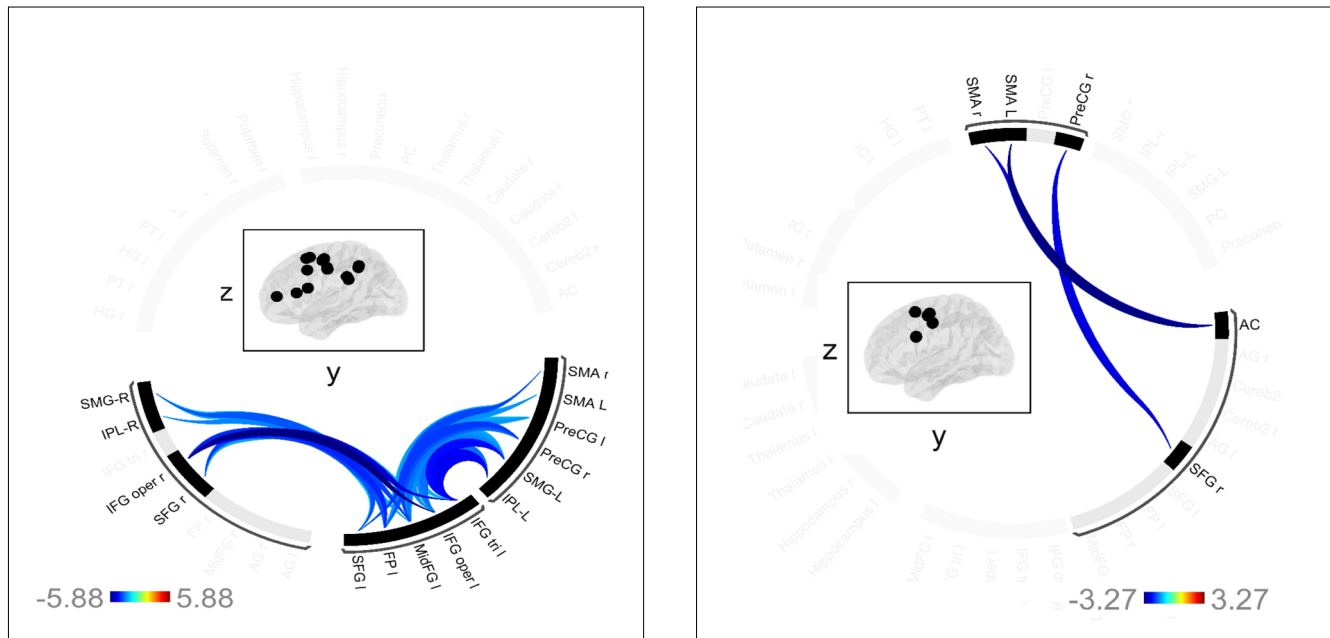
No se encontraron valores significativos en los conectomas del contraste Sincro > Silencio ni en sujetos Ms, ni en los NMs.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio revelan diferencias estadísticamente significativas en la activación y conectividad funcional cerebral entre melómanos y no melómanos durante la escucha de distintos estilos musicales. Estos hallazgos apoyan la hipótesis de que la experiencia musical previa y la afinidad por la música moldean de manera diferenciada la arquitectura funcional del cerebro, tal como se planteó en la introducción bajo el marco del modelo de codificación predictiva (PCM) (Koelsch et al., 2019b; Vuust y Witek, 2014).

Figura 6

Conectoma del Contraste Sarabanda > Silencio en Sujetos Ms (Izquierda) y NMs (Derecha)



Nota. La denominación completa de las regiones cerebrales cuyas abreviaciones (en formato inglés) aparecen en el conectoma se encuentran explicitadas en el texto del primer apartado de Resultados “Activaciones en las Distintas Situaciones y Contrastes” con la extensión L/l para el hemisferio izquierdo y R/r para el derecho.

Activación Cortical

En primer lugar, se evidenció una mayor activación cortical y subcortical en los melómanos, especialmente en áreas relacionadas con el procesamiento emocional (como el giro cingulado y el hipocampo), la planificación motora (área motora suplementaria y giro precentral) y la integración sensoriomotora (giro supramarginal y angular). Esta activación extendida es coherente con estudios previos que indican que la familiaridad y la sensibilidad musical incrementan la implicación de regiones cerebrales superiores (Alluri et al., 2015; Pereira et al., 2011). Además, las conexiones más robustas y densas observadas en el grupo de melómanos refuerzan la noción de que la experiencia musical prolongada promueve una mayor eficiencia en la red funcional cerebral (Li et al., 2019; Martínez-Molina et al., 2019).

El contraste entre música tonal (Sarabanda) y silencio produjo patrones diferenciales de activación. En melómanos, las regiones frontales inferiores y la SMA se activaron de forma significativa, lo que sugiere una mayor implicación de procesos anticipatorios y motores, acordes con el modelo PCM. Esta activación puede reflejar la generación y validación de predicciones musicales más precisas, derivadas de la experiencia previa con la música tonal. En cambio, los no melómanos mostraron una activación más limitada y focalizada en regiones auditivas básicas, lo que sugiere un procesamiento más sensorial y menos integrativo de la música.

Durante la audición de música atonal (Sincro), se observó un patrón interesante: en los no melómanos, se activaron áreas como el hipocampo y el precuneo, regiones asociadas con la memoria

autobiográfica y la evaluación contextual, lo que podría reflejar una mayor demanda de procesamiento ante un estímulo impredecible y menos estructurado. Por el contrario, en los melómanos, se observó activación en regiones relacionadas con el control cognitivo y emocional, lo que puede indicar una mayor capacidad para tolerar o incluso disfrutar la ambigüedad musical, en línea con estudios previos sobre placer musical y predicción (Cheung et al., 2019).

Conectividad Funcional

En términos de conectividad funcional, los melómanos mostraron conectomas significativos tanto para la música tonal como atonal, mientras que en los no melómanos los conectomas fueron menos consistentes o incluso ausentes, especialmente para los contrastes más complejos como Sincro > Silencio. Esta diferencia resalta cómo la experiencia musical puede modular no solo la activación localizada sino también la integración global de la información en redes neuronales distribuidas (Wilkins et al., 2014).

Por último, el ruido blanco activó principalmente regiones cerebelosas y auditivas básicas, especialmente en no melómanos, lo que podría interpretarse como una respuesta no específica al estímulo sonoro. Sin embargo, en melómanos se activaron también regiones frontales, lo cual podría indicar un intento de estructuración cognitiva incluso de un estímulo carente de estructura musical, coherente con la idea de un cerebro más predispuesto a organizar perceptivamente el entorno sonoro (Zatorre et al., 2005). A este respecto, las respuestas de la corteza cerebelar (CERCRU2) ocurrieron indiscriminadamente en las tres audiciones sonoras frente al silencio. No obstante, aparecieron en ambos grupos de escuchantes en distintas regiones del cerebelo,

por lo que parecen más relacionadas con la coordinación muscular necesaria para el mantenimiento de la postura de los participantes en el escáner de resonancia que con alguna alteración producida por la escucha musical.

En suma, los resultados confirmaron que la estructura de la música (tonal vs. atonal) y la familiaridad/afinidad musical del escuchante influyeron significativamente en la activación y conectividad funcional del cerebro, en consonancia con los principios del modelo PCM. Este estudio proporciona evidencia empírica de que los mecanismos predictivos del cerebro, tal como se argumenta en la introducción, están modulados por la experiencia y gusto musical, y que estos factores son claves para comprender la diversidad en la percepción musical humana.

Limitaciones y Futuras Líneas de Investigación

Este estudio presenta algunas limitaciones que conviene señalar. La generalizabilidad de los resultados se vio limitada por varios factores como el tamaño y la representatividad de la muestra relativamente reducido ($n = 37$) lo cual limita la generalización de los resultados a poblaciones más amplias y diversas. Aunque se establecieron criterios de inclusión rigurosos, la homogeneidad geográfica y cultural de los participantes (procedentes de una misma región) puede influir en los patrones de enculturación musical observados, así como en la respuesta cerebral al estímulo auditivo.

Asimismo, la elección de estímulos musicales, si bien cuidadosamente diseñada para representar estilos contrastivos (tonal vs. atonal), podría ampliarse en futuras líneas de investigación para incluir una gama más diversa de géneros musicales contemporáneos (electrónica, world music, jazz, etc.), lo que permitiría evaluar cómo se reconfiguran las redes cerebrales ante estructuras rítmicas y tímbricas no occidentales. También sería deseable complementar las técnicas de fMRI con métodos electrofisiológicos (EEG/MEG) que permitan un análisis más fino de la dinámica temporal de las respuestas cerebrales ante la música.

En cuanto a las implicaciones los hallazgos de este estudio abren vías relevantes en el ámbito de la musicoterapia, al confirmar que la experiencia musical moldea patrones específicos de activación y conectividad funcional. Esto sugiere que los programas terapéuticos basados en la escucha musical podrían adaptarse al perfil neurocognitivo y musical del paciente, optimizando su eficacia en contextos como la rehabilitación *post-ictus*, los trastornos del estado de ánimo o el deterioro cognitivo.

Desde una perspectiva de neuroestética, los resultados refuerzan la idea de que la música no solo es un fenómeno sensorial, sino una experiencia estética compleja en la que convergen la emoción, la memoria y la expectativa (Brattico y Pearce, 2013; Blood y Zatorre, 2001). Comprender cómo diferentes estilos musicales activan redes asociadas al placer, la recompensa y la integración sensoriomotora permitirá afinar modelos teóricos sobre la experiencia estética en la música.

Finalmente, este trabajo se alinea con una línea emergente que podríamos denominar psiconeuromusicología, entendida como una convergencia entre la psicología musical, la neurociencia cognitiva y los estudios culturales que busca comprender la experiencia musical como un proceso integral y situado (Wallin et al., 2000). Explorar cómo variables como el género, la

edad, el contexto cultural o la historia de escucha afectan al tipo de respuesta cerebral a la música será fundamental para avanzar hacia una neurociencia de la música más inclusiva, interdisciplinar y aplicada.

Conclusión

Este estudio aporta evidencia significativa sobre cómo la experiencia musical y la afinidad por la música modulan las respuestas cerebrales a distintos estilos musicales. Los datos obtenidos mediante fMRI indican que los melómanos presentan patrones de activación más amplios y una conectividad funcional más compleja, especialmente ante estímulos musicales estructurados como la música tonal, pero también ante composiciones atonales más impredecibles. Estos hallazgos son consistentes con el modelo de codificación predictiva, que postula que el cerebro genera expectativas en función de la experiencia previa y ajusta sus respuestas ante la confirmación o violación de esas predicciones.

Asimismo, se observa que la familiaridad con la música no solo afecta el procesamiento auditivo, sino que también involucra regiones asociadas con la emoción, la memoria y la planificación motora, lo que resalta la naturaleza multisensorial y cognitiva de la experiencia musical. La menor activación y conectividad observadas en los no melómanos sugiere una forma de procesamiento más básica, centrada en la percepción sensorial inmediata y con menor implicación de redes de integración emocional y cognitiva.

En conjunto, estos resultados refuerzan la idea de que la escucha musical no es un fenómeno pasivo, sino un proceso activo y dinámico profundamente influido por la historia personal de cada individuo. Las implicaciones de estos hallazgos son amplias y abren nuevas vías para la investigación aplicada en campos como la musicoterapia, la educación musical, la neuroestética y la rehabilitación neurocognitiva.

Contribución a la Autoría

Almudena González Brito: elaboración del diseño experimental, recogida y análisis de datos, redacción del texto definitivo.

Julián J. González González: análisis de los datos, supervisión del procedimiento, elaboración inicial del texto y supervisión del texto definitivo.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran que no incurren en conflictos de intereses en relación con este trabajo.

Financiación

El presente trabajo no recibió financiación específica de agencias del sector público, comercial o de organismos no gubernamentales.

Agradecimientos

El equipo investigador agradece la participación voluntaria de todas las personas que colaboraron en este estudio, así como el apoyo institucional de la Universidad de La Laguna, cuyo respaldo hizo posible su realización.

Referencias

- AliveLearn (s.f.). *xjView: A viewing program for SPM*. <https://www.alivelearn.net/xjview>
- Alluri, Vinoo.; Toiviainen, Petri.; Jääskeläinen, Irma P.; Glerean, Enrico.; Sams, Mati. y Brattico, Elvira. (2012). Large-scale brain networks emerge from dynamic processing of musical timbre, key and rhythm. *Neuroimage*, 59(4):3677-89. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.11.019>
- Alluri, Vinoo; Toiviainen, Petri; Lund, Thomas E.; Wallentin, Mikkel; Vuust, Peter; Nandi, Amit K.; Ristaniemi, Tomi y Brattico, Elvira (2013). From Vivaldi to Beatles and back: predicting lateralized brain responses to music. *Neuroimage*, 83, 627-36. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.06.064>
- Alluri, Vinoo; Brattico, Elvira; Toiviainen, Petri; Burunat, Ibilla; Bogert, Benedikt; Numminen, Jyrki y Kliuchko, Maria (2015). Musical expertise modulates functional connectivity of limbic regions during continuous music listening. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 25(4), 443-454. <https://doi.org/10.1037/pmu0000124>
- Altenmüller, Eckart O. (2006). How many music centers are in the brain? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 273-280. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2001.tb05738.x>
- Brattico, E., y Pearce, R. (2013). The Neuroaesthetics of Music. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*. 7. <https://doi.org/10.1037/a0031624>
- Blood, Anne J. y Zatorre, Robert J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(20), 11818-11823. <https://doi.org/10.1073/pnas.191355898>
- Bryden, Michael P. (1977). Measuring handedness with questionnaires. *Neuropsychologia*, 15(4-5), 617-624. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(77\)90067-7](https://doi.org/10.1016/0028-3932(77)90067-7)
- Cheung, Vincent K. M., Harrison, Peter M. C., Meyer, Lars, Pearce, Marcus T., Haynes, John-Dylan, y Koelsch, Stefan. (2019). Uncertainty and surprise jointly predict musical pleasure and amygdala, hippocampus, and auditory cortex activity. *Current Biology*, 29(23), 4084-4092, e4084. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.09.067>
- CONN Toolbox. (s.f.). *CONN: Functional connectivity toolbox*. <https://web.conn-toolbox.org/>
- FMRIB Software Library (s.f.). *Harvard-Oxford cortical and subcortical structural atlases*. University of Oxford. <https://fsl.fmrib.ox.ac.uk/fsl/fslwiki/Atlases>
- González, Almudena; Santapau, Manuel; Gamundi, Antoni; Pereda, Ernesto y González, Julián Jesús (2021). Modificaciones en la estructura topológica de las redes de conectividad funcional del EEG durante la escucha de música de concierto tonal y atonal en músicos y no músicos. *Brain Sciences*, 11(2), 159. <https://doi.org/10.3390/brainsci11020159>
- Hansen, Niels C. y Pearce, Marcus T. (2014). Predictive uncertainty in auditory sequence processing. *Frontiers in Psychology*, 4, 1008. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01052>
- Huron, David (2006). *Sweet anticipation: Music and the psychology of expectation*. MIT Press.
- Koelsch, Stefan (2011). Toward a neural basis of music perception: A review and updated model *Frontiers in Psychology*, 2, 110. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00110>
- Koelsch, Stefan; Jacobs, Arthur M.; Menninghaus, Winfried; Liebal, Katja; Klann-Delius, Gisela; Von Scheve, Christian y Gebauer, Guido F. (2019a). The quartet theory of human emotions: An integrative and neurofunctional model. *Physics of Life Reviews*, 13, 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2015.03.001>
- Koelsch, Stefan; Vuust, Peter y Friston, Karl (2019b). Predictive processes and the peculiar case of music. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(1), 63-77. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2015.03.001>
- Lerdahl, Fred, y Jackendoff, Ray. (1983). *A generative theory of tonal music*. MIT Press.
- Li, Heng; Wang, Aiyuan; Zhang, Yanchun y Guo, Baoshuang. (2019). Dynamic Reconfiguration of Distribution Network Considering Time-varying Characteristics of DG. *6th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI)* (pp. 274-279). IEEE Xplore. <https://doi.org/10.1109/ICSAI48974.2019.9010140>
- Loui, Psyche; Wessel, David L. y Hudson-Kam, Carla L. (2010). Humans rapidly learn grammatical structure in a new musical scale. *Music Perception*, 27(5), 377-388. <https://doi.org/10.1525/mp.2010.27.5.377>
- Loui, Psyche; Wu, Erica H.; Wessel, David L. y Knight, Robert T. (2009). A generalized mechanism for the perception of pitch patterns. *Journal of Neuroscience*, 29(2), 454-459. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4503-08.2009>
- Luo, Cheng; Guo, Zhi-Wei; Lai, Yong-Xiu; Liao, Wei; Liu, Qiang; Kendrick, Keith M.; Yao, De-Zhong y Li, Hong (2012). Musical training induces functional plasticity in perceptual and motor networks: Insights from resting-state fMRI. *Plos ONE*, 7(5), e36568. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036568>
- Martínez-Molina, Natalia; Mas-Herrero, Eduard; Rodríguez-Fornells, Antoni; Zatorre, Robert J. y Marco-Pallarés, Josep (2019). White matter microstructure reflects individual differences in music reward sensitivity. *The Journal of Neuroscience*, 39(25), 5018-5027. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2020-18.2019>
- Meyer, Leonard B. (1956). *Emotion and meaning in music*. University of Chicago Press.
- Monelle, Raymond. (1992). *Linguistics and semiotics in music*. New York, Routledges. <https://doi.org/10.4324/9781315076942>
- Nieto-Castanon, Alfonso (2020). Cluster-level inferences. En Alfonso Nieto-Castanon, *Handbook of functional connectivity Magnetic Resonance Imaging methods in CONN* (pp. 83-104). Hilbert Press. <https://doi.org/10.56441/hilbertpress.2207.6603>
- Oldfield, Richard C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Pereira, Cristiana S.; Teixeira, João; Figueiredo, Patrícia; Xavier, João; Castro, Sónia L. y Brattico, Elvira (2011). Music and emotions in the brain: Familiarity matters. *PLoS ONE*, 6(11), e27241. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027241>
- Trainor, Laurel y Corrigan, Kathleen. (2010). Music Acquisition and Effects of Musical Experience. *Music Perception. Springer Handbook of Auditory Research*, vol 36. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6114-3_4
- VisLab UCL (s.f.). *Cogent 2000*. University College London. https://github.com/lnnrwttkhn/Cogent2000?utm_source
- Vuust, Peter; Brattico, Elvira; Seppänen, Miika; Näätänen, Risto y Tervaniemi, Mari (2012). The sound of music: Differentiating musicians using a fast, musical multi-feature mismatch negativity paradigm. *Neuropsychologia*, 50(7), 1432-1443. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.02.028>
- Vuust, Peter; Dietz, Martin J.; Witek, Maria A.G. y Kringelbach, Morten L. (2018). Now you hear it: A predictive coding model for understanding rhythmic incongruity. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1423(1), 19-29. <https://doi.org/10.1111/nyas.13622>

- Vuust, Peter y Frith, Christopher (2009). Anticipation is the key to understanding music and the effects of music on emotion. *Behavioral and Brain Research Sciences* 31, 599-600. <https://doi.org/10.1017/S0140525X08005542>
- Vuust, Peter y Witek, Maria A.G. (2014). Rhythmic complexity and predictive coding: A novel approach to modeling rhythm and meter perception in music. *Frontiers in Psychology*, 5, 1111. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01111>
- Vuust, Peter; Østergaard, Lasse; Pallesen, Kristian J.; Bailey, Christopher y Roepstorff, Andreas (2009). Predictive coding of music: Brain responses to rhythmic incongruity. *Cortex*, 45(1), 80-92. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.05.014>
- Vuust, Peter; Heggli, Ole A.; Friston, Karl J. y Kringelbach, Morten L. (2022). Music in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 23(5), 287-305. <https://doi.org/10.1038/s41583-022-00578-5>
- Wager, Elizabeth y Kleinert, Sabine (2011). Responsible research publication: International standards for authors. En Tony Mayer y Nicholas Steneck (Eds.), *Promoting research integrity in a global environment* (pp. 309-316). World Scientific Publishing. <https://doi.org/10.1142/8102>
- Wallin, Nils L.; Merker, Bjorn y Brown, Steven (Eds.). (2000). *The origins of music*. The MIT Press.
- Wellcome Centre for Human Neuroimaging. (s.f.). *Statistical Parametric Mapping SPM12*. University College London. <https://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm12/>
- Whitfield-Gabrieli, Susan, y Nieto-Castañón, Alfonso. (2012). CONN: A functional connectivity toolbox for correlated and anticorrelated brain networks. *Brain Connectivity*, 2(3), 125-141. <https://doi.org/10.1089/brain.2012.0073>
- Wilkins, Ryan W.; Hodges, Donald A.; Laurienti, Paul J.; Steen, Mary y Burdette, Jonathan H. (2014). Network science and the effects of music preference on functional brain connectivity. *Scientific Reports*, 4, 6130. <https://doi.org/10.1038/srep06130>
- Zalesky, Andrew.; Fornito, Alex.; Bullmore, Edward. T. (2010). Network-based statistic: identifying differences in brain networks. *Neuroimage*. 2010 Dec;53(4):1197-207. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.06.041>
- Zatorre, Robert. (2005). Music, the food of neuroscience? *Nature*. 434. 312-5. <https://doi.org/10.1038/434312a>
- Zatorre, Robert J.; Chen, Joyce L. y Penhune, Virginia B. (2007). When the brain plays music: Auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(7), 547-558. <https://doi.org/10.1038/nrn2152>