



El cerebro y la música

The brain and music

Oscar Lozano Cruz¹, Shalom Santos Grapain¹, Fabio García-García².

Recibido: 21/02/2013 - Aceptado: 06/06/2013

RESUMEN

Estudios realizados en el cerebro humano utilizando técnicas de tomografía por emisión de positrones y resonancia magnética funcional han mostrado que la percepción, procesamiento e interpretación de la música implica la activación orquestada de circuitos neuronales específicos en áreas de la corteza auditiva y motora. De igual manera, la música produce al interior del cerebro la activación de regiones anatómicas que forman parte del sistema límbico y relacionadas con conductas como la actividad sexual, ingesta de comida o el consumo de alguna droga. En este contexto, el objetivo de la presente trabajo es revisar las bases neuronales del procesamiento y ejecución de la música.

Palabras clave: música; neurociencias; neuroimagen; cognición.

ABSTRACT

Studies in the human brain using techniques positron emission tomography and functional magnetic resonance imaging have shown that the perception, processing and interpretation of music involves the orchestrated activation of specific neural circuits in areas of auditory and motor cortex. Similarly, the music produced within the brain activation anatomical regions that are part of the limbic system and related behaviors such as sexual activity, food intake or consumption of drugs. In this context, the aim of this manuscript is to review the neural basis of processing and performance of music.

Keywords: music; neuroscience; language; neuroimage; cognition.

¹Estudiante de pregrado, Facultad de Medicina, Campus Xalapa, Universidad Veracruzana

²Investigador Titular. Departamento de Biomedicina. Instituto de Ciencias de la Salud. Universidad Veracruzana

Correspondencia:

Dr. Fabio García-García
Instituto de Ciencias de la Salud. Universidad Veracruzana
Av. Luis Castelazo-Ayala s/n. Industrial Animas
Xalapa, Veracruz. México. C.P. 91190
Teléfono: 228 8418925
Correo electrónico: fgarcia@uv.mx

INTRODUCCIÓN

La música ha estado presente como un lenguaje universal en todas las sociedades humanas, desde las más antiguas hasta la reciente¹. Aunque su origen y función continúan siendo un misterio, en los seres humanos emerge innata como precursor del lenguaje hablado², siendo una actividad compleja y difícil de describir.

El interés reciente por conocer los mecanismos neuronales de interpretación, procesamiento y ejecución musical ha permitido, mediante estudios de neuroimagen, conocer que estas actividades están basadas en la activación orquestada de redes neuronales específicas, permitiendo el desarrollo de un modelo cognitivo que explique la generación de la música con bases neurocientíficas. Por lo tanto, el objetivo de la presente trabajo es revisar las bases neuronales del procesamiento y ejecución de la música.

¿QUÉ ES LA MÚSICA?

La definición exacta de la música ha sido objeto de un largo debate, la Real Academia Española la define como “melodía, ritmo y armonía, combinados”, “la sucesión de sonidos modulados para recrear el oído” también como “Arte de combinar los sonidos de la voz humana o de los instrumentos, o de unos y otros a la vez, de suerte que produzcan deleite, conmoviendo la sensibilidad, la alegría o la tristeza”³. Estas definiciones propone a la música como un lenguaje organizado, un elemento cultural y un factor generador de emociones. Sin embargo, la música es la integración de todos sus componentes mediante un proceso cerebral complejo, donde participan de forma simultánea múltiples redes neuronales, que permiten percibir e interpretar a la música como la conocemos.

MÚSICA Y LENGUAJE

La música como lenguaje es sintáctica. Estudios que han utilizado la resonancia magnética funcional muestran que la música genera la activación de diferentes áreas de la corteza cerebral similares a las que activa el lenguaje verbal, incluyendo la activación del área de Broca⁴. Sin embargo, pacientes con pérdida de sus capacidades para el lenguaje hablado, mantienen sus habilidades musicales, sugiriendo un mecanismo cerebral independiente para la generación de la música. Por ejemplo, el compositor ruso Vissarion Y. Shebalin que presento afasia de Wernicke fue capaz de escribir su quinta sinfonía⁵. Asimismo, existen pacientes que conservan la capacidad para reconocer la letra de las canciones, aunque pierden la capacidad para identificar su melodía⁶.

MODELO COGNITIVO MUSICAL

Cuando escuchamos una pieza musical, el oído externo hace

converger las ondas de sonido en el meato auditivo, a través del cual, estimulan la membrana timpánica mecánicamente. En el oído medio, los huesecillos transmiten las vibraciones al oído interno, donde células ciliadas estimulan fibras nerviosas que transmiten al ganglio espiral de Corti. Las fibras nerviosas de este ganglio penetran en los núcleos cocleares dorsal y ventral situados en la parte superior del bulbo raquídeo. Desde allí los impulsos pasan por diferentes vías a los tubérculos cuadrigéminos inferiores y a través del cuerpo geniculado interno en el tálamo hasta la corteza auditiva, la cual está localizada en la circunvolución superior del lóbulo temporal⁷.

Estudios recientes realizados en la Universidad de Montreal por la investigadora Isabelle Peretz han permitido el diseño de un modelo de cognición musical⁸⁻¹⁰. De acuerdo con este modelo, basado en pacientes con daño cerebral, la percepción musical se organiza en dos sistemas independientes. Uno se encarga del procesamiento de la melodía y se ha denominado sistema melódico (SM). El otro sistema se encarga del procesamiento del tiempo, denominado sistema temporal (ST).

El SM permite diferenciar dos componentes fundamentales de la música: el tono (notas) e intervalos (distancia entre las notas). Por otro lado, el ST permite enmarcar la melodía procesada en el tiempo a través de dos componentes: ritmo (pulsos) y métrica (acentos)². La ruta melódica tiene sus componentes esenciales en el giro temporal superior derecho¹¹, como se muestra en la figura 1, mientras que áreas en los ganglios basales y en la corteza pre-motora están encargadas del control motor y de la percepción temporal² (figura 1).

Los dos sistemas, actúan conjuntamente y envían información a través de redes neuronales distintas al léxico musical, lugar donde se encuentra toda la información musical que se percibe a lo largo de la vida. El léxico musical permite activar al léxico fonético para el canto, la activación de funciones motoras para la ejecución musical y la activación de memoria asociativa para la recuperación de material no musical². En la figura 2 se muestra un esquema del modelo de procesamiento musical.

EJECUCIÓN MUSICAL

La ejecución musical requiere, como mínimo, la función de tres elementos motores: sincronización del tiempo, secuenciación de movimientos y la organización espacial del movimiento¹². La primera es atribuida a un mecanismo neuronal, el cual, a través de oscilaciones y pulsos representan el reloj interno. Mediante estudios de neuroimagen se ha demostrado la importancia de áreas corticales y subcorticales incluyendo los ganglios basales y el área motora suplementaria para marcar el tiempo de la música¹³. De manera importante, estudios en pacientes con pérdida de

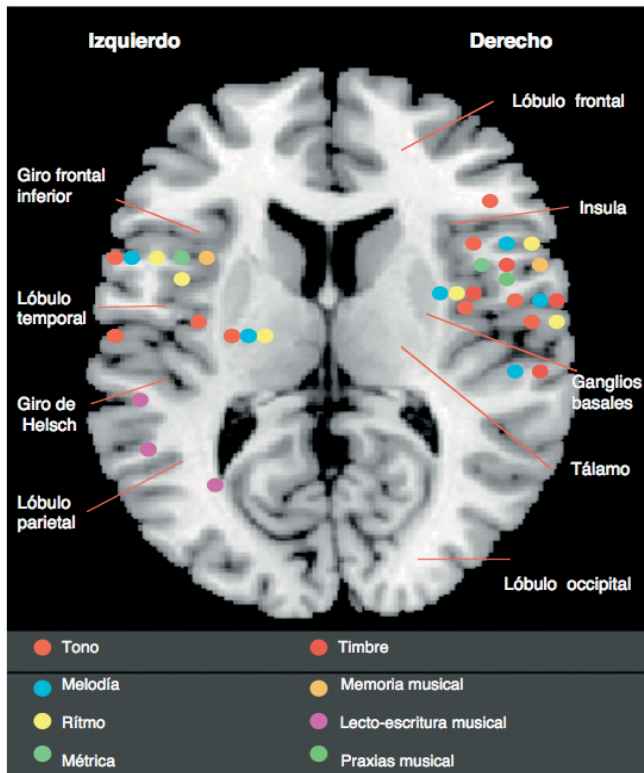


Figura 1. Resonancia magnética en proyección axial que muestra la localización anatómica de los componentes que participan en el modelo cognitivo musical. Tomado de García-Casares N, et al. Modelo de cognición musical y amusia. Neurología. 2011. doi:10.1016/j.nrl.2011.04.010

La tercera fase involucra la participación de la corteza parietal, corteza sensoriomotora y corteza pre-motora en la integración de la información espacial, sensorial y motora¹⁶, indispensables todas ellas para la ejecución musical.

Resulta natural para muchos de nosotros “mover un pie” ante el ritmo de la música, lo que sugiere un vínculo directo entre el sistema auditivo y el sistema motor. Esta vinculación puede ser conceptualizada en dos categorías: la pro-alimentación y la retroalimentación¹⁷. La pro-alimentación se presenta cuando el sistema auditivo influye predominantemente en el acto motor, a menudo de manera predictiva, como ejemplo encontramos el movimiento de un pie ante el sonido, anticipando el ritmo musical. Por otro lado, la retroalimentación sucede cuando el músico al tocar un instrumento o cantar mantiene el tono de manera continua, escuchando y realizando ajustes adecuados. Estudios han demostrado que cuando la retroalimentación auditiva es manipulada de manera experimental¹⁸, la ejecución se ve afectada, lo que sugiere que estas acciones dependen de una sola operación mental. Se ha encontrado información suficiente para decir que la corteza pre-motora es el vínculo entre el sistema auditivo y motor¹².

EMOCIONES Y MÚSICA

La música como elemento cultural, favorece un estilo de comunicación y de expresión emocional. Sabemos que los músicos experimentan emociones cuando interpretan una pieza y su objetivo es transmitirlo a la audiencia. Las emociones evocadas por la música dependen de la actividad del sistema límbico y paralímbico¹⁹, que son consideradas las estructuras cerebrales del procesamiento emocional, pues su lesión se asocia a deterioro emocional, siendo la amígdala la estructura cerebral predominante en la generación, mantenimiento y finalización de emociones que son importantes para la supervivencia de los humanos²⁰. Estudios de neuroimagen realizados en la universidad de McGill en Montreal por Robert Zatorre y Anne Blood en el 2001 demostraron que al escuchar música atonal se activan áreas del sistema límbico relacionadas con sensaciones desagradables, mientras que al escuchar música tonal se producen sensaciones placenteras²¹. La música activa sistemas de recompensa similares a la ingesta de comida, consumo de drogas o actividad sexual y se ha sugerido al sistema dopaminérgico como el principal implicado, debido a que mediante estudios de neuroimagen, se observa un aumento del flujo sanguíneo cerebral en el núcleo accumbens²², sitio cerebral relacionado con el placer. Un estudio realizado con tomografía por emisión de positrones a sujetos no músicos en el cual escucharon acordes consonantes y disonantes mostró, que los acordes consonantes activan el área orbitofrontal y región subcallosa del hemisferio derecho y los acordes disonantes

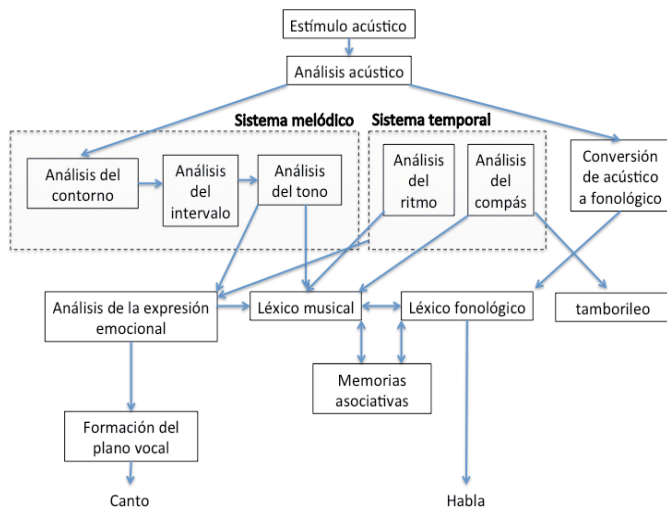


Figura 2. Modelo de procesamiento musical. En la imagen se representan las distintas vías por las cuales viaja la información a través de los distintos componentes de la música. Adaptado de: Peretz J, Coltheart M. The modularity of music processing. Nat Neurosci. 2003;6:688-91

habilidades de sincronización en el tiempo, han resaltado la función del cerebelo¹⁴. En la segunda fase que corresponde a la elaboración y aprendizaje de secuencias motoras participan los ganglios basales, la corteza motora suplementaria y el cerebelo¹⁵.

activan al giro parahipocámpico ipsilateral y se asocian con sensaciones desagradables²³. Lo cual sugiere que el cerebro es capaz de disociar de manera funcional el contenido emocional transmitido por la música.

Se ha demostrado que la música con tiempo rápido y tonalidad mayor crea reacciones de felicidad y por el contrario, la música con tiempo lento y tonalidad menor genera tristeza²⁴, además al escuchar una pieza por cierto tiempo, la frecuencia respiratoria se sincroniza con el tiempo de la obra²⁵ así como lo hace también la frecuencia cardíaca²⁶. Cuando se escucha música de naturaleza placentera se activan áreas cerebrales que responden también a estímulos hedónicos²⁷. Sin embargo, la respuesta emotiva inducida por la música depende de la experiencia de vida de cada individuo.

EFFECTO MOZART

Rauscher y colaboradores de la Universidad de California, publicaron en 1995 los resultados de una investigación realizada con grupos de estudiantes universitarios, la cual dio origen al efecto Mozart²⁸. El experimento consistió en aplicar pruebas de habilidades a tres grupos de universitarios antes y después de escuchar música. Se encontró que el grupo que había escuchado la Sonata para dos pianos en Re mayor (K448) y el Concierto para piano No. 23 en La mayor (K488) de Mozart obtuvieron un mejor resultado en las pruebas visoespaciales y al sumar la puntuación de las demás pruebas se obtuvo un incremento en la puntuación del coeficiente intelectual de aproximadamente 8 puntos, la permanencia de esa habilidad en el grupo no se mantuvo en el tiempo. Sin embargo, los resultados no pudieron replicarse en otras poblaciones²⁹, lo que dio origen al cuestionamiento del efecto Mozart.

GENES Y MÚSICA

La música es un proceso cognitivo en humanos, por tanto depende de la interacción de receptores y neurotransmisores. Un estudio genético de familias finlandesas con miembros dedicados a la música profesional, mostró la participación del receptor de arginina-vasopresina 1A (AVPR1A), el transportador de serotonina (SLC6A4), la enzima catecol-o-metiltransferasa (COMT), el receptor de dopamina (DRD2) y tiroxina hidroxilasa 1 (TPH1) en la aptitud musical³⁰. Los resultados mostraron que las funciones creativas en música tienen un componente genético significativo, concluyendo que el polimorfismo AVPR1A se asocia a la habilidad de estructuración auditiva y la creación de arreglos. El gen responsable de la síntesis de serotonina periférica, el TPH1, se asocia a la creación numérica y de figuras, por su parte el polimorfismo de TPH1-A7779C favorece la composición musical. Finalmente, los polimorfismos de SLC6A4 que se expresa en

corteza y sistema límbico, se asocian a la memoria musical.

ALTERACIONES NEUROLÓGICAS Y MÚSICA

La epilepsia musicogénica es un trastorno neurológico poco frecuente, consiste en una condición clínica evocada sensorialmente y en su forma clásica se describen como crisis provocadas al escuchar música³¹. Se han descrito múltiples casos sin rebasar 250 en la literatura médica³² y en el 61% de los pacientes se encuentra un foco epileptógeno en el lóbulo temporal derecho³³.

Las alucinaciones musicales representan un trastorno en el procesamiento de sonidos³⁴, Stewart y cols., las clasifican en tres grupos: asociada a un trastorno neurológico, asociada a un trastorno psiquiátrico o asociada a sordera³⁵. Es común que se presenten en casos de depresión, esquizofrenia y trastorno obsesivo-compulsivo. Sin embargo, la sordera es el factor que más se asocia a las alucinaciones musicales³⁵. Griffiths observó que los cerebros de estos pacientes presentan un incremento en el flujo sanguíneo en el lóbulo temporal, en los ganglios basales y en la corteza del lóbulo frontal inferior³⁶, lo que sugiere la activación generalizada de las áreas que se activan al escuchar música pero sin un estímulo evidente que lo desencadene.

El daño de los componentes de la percepción musical causa un síndrome denominado amusia o agnosia musical³⁷, este trastorno puede ser congénito o adquirido y cuenta con numerosas variedades. Aunque no existe una clasificación universal, podemos estudiarlas con base en las alteraciones clínicas que provocan, de manera que podemos encontrar: amusia motora (incapacidad para cantar o silbar), amusia perceptiva (incapacidad para discriminar los tonos), amnesia musical (incapacidad para reconocer canciones familiares), apraxia musical (incapacidad para interpretar música), agrafia musical (incapacidad para escribir música) y alexia musical (incapacidad para leer música)². En una revisión realizada por N. García Casares de la universidad de Málaga en España, muestra las principales características y manifestaciones clínicas de las amusias, siendo la principal etiología el infarto cerebral, edad mayor a 50 años, sexo femenino y comorbilidad de afasia, mientras que el principal déficit es la imposibilidad de reconocer ritmos y melodías².

Hay que tener en cuenta que los pacientes con amusia presentan dificultades para comprender la música pero otras funciones cognitivas permanecen intactas, un ejemplo es el compositor francés Maurice Ravel, quien en una etapa de su vida presentó afasia de Wernicke, amusia motora, agrafia musical y apraxia musical, pero tenía la capacidad de reconocer melodías y emocionarse con ellas. Ravel no podía expresar la música que su cerebro creaba y ante tanta frustración dijo: "Y todavía existe

tanta música en mi cabeza"³⁸.

CONCLUSIONES

La música es un fenómeno cotidiano en nuestra sociedad, aunque su origen y función continúan siendo desconocidos, actualmente representa una ventana para estudiar las funciones del cerebro. Desde esta perspectiva, los estudios de neuroimagen sobre la percepción, interpretación y ejecución musical, en pacientes con lesiones cerebrales, sugieren que la música es un proceso cognitivo complejo. La música evoca emociones e incluso activa circuitos cerebrales relacionados con estímulos hedónicos como el sexo, la ingesta de comida o el consumo de drogas. Además el análisis de polimorfismos realizados en familias con aptitudes musicales, ponen de manifiesto que las funciones creativas en música tienen un componente genético significativo, lo que sugiere que las aptitudes musicales se heredan y por esa razón no cualquier persona puede ser músico. Sin embargo escuchar música o generarla son actividades que inducen cambios importantes en la función cerebral, se refuerzan circuitos, se expresan genes y cambian neurotransmisores, que a su vez impactan de manera importante otras funciones cognitivas.

Agradecimientos

Al curso "Conozcamos el cerebro estudiando al sueño" impartido por el Dr. Fabio García quien me brindó la oportunidad de realizar esta revisión y al programa de tutorías de la Facultad de Medicina de la Universidad Veracruzana.

BIBLIOGRAFÍA

- Zatorre RJ, Peretz I. The biological foundations of music. New York: New York Academy of Sciences; 2001.
- García-Casares N, Berthier M, Walsh S, González-Santos P. Modelo de cognición musical y amusia. *Neurología* 2011. doi:10.1016/j.nrl.2011.04.010
- Diccionario de la lengua española. 22.ª edición. Madrid: Espasa Calpe; 2001. Música.
- Patel AD. Language, music, syntax and the brain. *Nat Neurosci* 2003; 6(7):674-81.
- Luria AR, Tsetkova L, Futer D. Aphasia in a composer. *J Neurol Sci* 1995; 2(3):288-92.
- Griffiths TD y col. Spatial and temporal auditory processing deficits following right hemisphere infarction. A psychophysical study. *Brain* 1997; 120(Pt 5):785-94.
- Barret KE, Barman SM, Boitano S, Brooks HL. Fisiología médica. México: McGraw-Hill Interamericana 2010;p.203-215.
- Peretz I. Musical disorders. From behavior to genes. *Curr Dir Psychol Sci* 2008; 17:329-33.
- Peretz I, Cummings S, Dubé MP. The genetics of congenital amusia (tone-deafness): a family-aggregation study. *Am J Hum Genet* 2007; 81(3):582-8.
- Peretz I, Brattico E, Järvenpää, Tervaniemi M. The amusic brain: in tune, out of key, and unaware. *Brain* 2009; 132(Pt 5):1277-86.
- Alossa N, Castelli L. Amusia and musical functioning. *Eur Neurol* 2009; 61(5):269-77.
- Zatorre RJ, Chen JL, Penhune VB. When the brain plays music: Auditory-motor interactions in music perception and production. *Nat Rev Neurosci* 2007; 8(7):547-58.
- Petacchi A, Laird AR, Fox PT, Bower JM. Cerebellum and auditory function: an ALE metaanalysis of functional neuroimaging studies. *Hum Brain Mapp* 2005; 25(1):118-28.
- Ramnani N, Passingham RE. Changes in the human brain during rhythm learning. *J Cogn Neurosci* 2001; 13(7):952-66.
- Graybiel AM. The basal ganglia: learning new tricks and loving it. *Curr Opin Neurobiol* 2005; 15(6):638-44.
- Bengtsson SL, Ehrsson HH, Forssberg H, Ullén F. Dissociating brain regions controlling the temporal and ordinal structure of learned movement sequences. *Eur J Neurosci* 2004; 19(9):2591-602.
- Large EW, Palmer C. Perceiving temporal regularity in music. *Cogn Sci* 2002; 26(1):1-37.
- Repp BH. Effects of auditory feedback deprivation on expressive piano performance. *Music Percept* 1999; 16(4):409-38.
- Salimpoor VN y cols. Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nat Neurosci* 2011; 14(2):257-62.
- Dalgleish T. The emotional brain. *Nat Rev Neurosci* 2004; 5:583-89.
- Peretz I, Blood A, Penhune V y Zatorre R. Cortical deafness to dissonance. *Brain* 2001; 124(Pt 5):928-40.
- Blood A, Zatorre R. Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *National Academy of Sciences* 2001; 98(20):11818-23.
- Blood A, Zatorre R, Bermudez P, Evans A. Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic regions. *Nat Neurosci* 1999; 2(4):382-7.
- Krumhansl CL. An Exploratory Study of Musical Emotions and Psychophysiology. *Can J Exp Psychol* 1997; 51(4): 336-52.
- Bernardi L, Porta C, Sleight P. Cardiovascular, cerebrovascular and respiratory changes induced by different types of music in musicians and non-musicians: the importance of silence. *Heart* 2006; 92(4): 445-52.
- Cervellin G, Lippi G. From music-beat to beat: A journey in the complex interactions between music, brain and heart. *Eur J Intern Med* 2011; 22(4):371-4.
- Zatorre R, McGill J. Music food of neuroscience? *Nature* 2005; 434(7031):312-5.
- Rauscher FH, Shaw GL, Ky KN. Listening to Mozart enhances spatial-temporal reasoning: towards a neurophysiological basis. *Neurosci Lett* 1995; 185(1):44-7.
- McKelvie P, Low J. Listening to Mozart does not improve children's spatial ability: final curtains for the Mozart effect. *Br J Dev Psychol* 2002; 20(2):241-58.
- Ukkola LT. y col. Music aptitude is associated with AVPR1A-Haplotypes. *PLoS one* 2009; 4(5): 5534
- Wieser HG, Hungerböhler H, Siegel AM. and Buck A. Musicogenic Epilepsy: Review of the Literature and Case Report with Ictal Single Photon Emission Computed Tomography. *Epilepsia* 1997; 38(2):200-7.
- Buentello-García RM, Sentles-Madrid H, Juan-Orta DS, Alonso-Venegas MA. Trastornos neurológicos y música. *Arch Neurocién* 2011; 16(2):98-103.
- Gelisse P, y cols. Ictal SPECT in a case of pure musicogenic epilepsy. *Epileptic Disord* 2003; 5(3):133-7.
- Soria-Urios G, Duque P, García-Moreno JM. Música y cerebro: fundamentos neurocientíficos y trastornos musicales. *Rev Neurol*

- 2011; 52(1):45-55.
35. Stewart L, Kriegstein KV, Warren JD, Warren JD, Griffiths TD. Music and the brain: disorders of musical listening. *Brain* 2006; 129(Pt 10):2533-53.
 36. Griffiths TD. Musical hallucinosis in acquired deafness. *Phenomenology and brain substrate*. *Brain* 2000; 123(Pt 10):2065-76.
 37. Stewart L, Walsh V. Congenital Amusia: All the Songs Sound the Same. *Curr Biol* 2002; 12(12):420-1.
 38. Ramos S. *Filosofía de la vida artística*. México: Editorial Espasa-Calpe Mexicana 1976: p.141.