

*UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO*

PATRONES CEREBRALES METABÓLICOS Y ELÉCTRICOS
CORRELACIONADOS CON SENTIMIENTOS AGRADABLES Y
DESAGRADABLES INDUCIDOS POR OBRAS MAESTRAS DE LA
MÚSICA

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR
EN PSICOLOGÍA PRESENTA EL M en C ENRIQUE
OCTAVIO FLORES GUTIÉRREZ

Comité tutorial:

DRA. MARÍA CORSI CABRERA
DR. JOSÉ LUIS DÍAZ GÓMEZ
DR. FERNANDO BARRIOS ALVAREZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE PSICOLOGÍA, UNAM
Ciudad Universitaria, México, D. F.

AGRADECIMIENTOS

Enrique Flores contó con el apoyo de una beca para estudios de doctorado que le otorgó el *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* y un complemento de beca concedido por la *Dirección General de Estudios de Posgrado* de la UNAM.

El proyecto fue parcialmente apoyado por la DGAPA IN214702-3.

Los experimentos de EEG se realizaron en el laboratorio de sueño de la facultad de Psicología de la UNAM a cargo de la Dra. María Corsi.

Los experimentos de Resonancia Magnética se llevaron a cabo en el Hospital ABC gracias a un convenio para tiempo de investigación con la UNAM promovido por el Dr. Fernando Barrios.

También agradecemos a Leopoldo González Santos y Perla M. Salgado por la asistencia técnica en la obtención de las Imágenes por Resonancia Magnética Funcional.

Agradecemos al Dr. Miguel Ángel Guevara su constante apoyo en la elaboración de los programas para el manejo de datos y análisis estadístico.

Y agradecemos a Fernando Salinas Iñiguez la asistencia técnica en la interfase para el registro de la música en el despliegue del Electroencefalograma.

ÍNDICE

Agradecimientos	2
Resumen en idioma Ingles	3
Resumen	4
Índice	5
Introducción	6
Objetivo	9
Hipótesis	9
Método	10
Sujetos	10
Estímulos musicales	10
Extractos musicales y presentación de los estímulos	13
Registro de la evaluación subjetiva	15
Registro de la activación hemodinámica cerebral	16
Registro de la actividad coherente del EEG	16
Análisis de la evaluación subjetiva	17
Análisis de la activación hemodinámica cerebral	18
Análisis de coherencia del EEG	19
Resultados	23
Evaluación subjetiva.	23
Sentimientos agradables por la música	25
Sentimientos desagradables por la música	29
Excitación o calma por la música	31
Diferencias entre la música y el ruido	33
Discusión	35
Conclusión	40
Referencias	43

ANEXOS (Publicaciones derivadas del trabajo de tesis)

1. Metabolic and Electric Brain Patterns During Pleasant and Unpleasant Emotions Induced by Music Masterpieces.

2. Differential Alpha Coherence Hemispheric Patterns in Men and Women During Pleasant and Unpleasant Musical Emotions.

3. The Type and Number of Emotions Induced by Music Masterpieces Differ Between Men and Women: a Preliminary Study.

SUMMARY

Brain correlates comparing the emotional states induced by three dissimilar masterpiece excerpts were obtained, the following techniques were used: validated reports of the emotion with Principal Component Analysis; Image by Functional Magnetic Resonance; and coherent activity of the Electro Encephalogram. Nineteen subjects, men and women with age average of twenty-five years, not-musicians, were studied. For generating affability were used a calm work of J. S. Bach and an energetic symphonic extract of G. Mahler, as well for producing feelings of restlessness or displeasure, music by contemporary composer J. Prokofiev, dissonant, atematic and unpredictable, was used. Each piece was divided in ten consecutive segments of thirty seconds those that were alternated with segments of noise of equal duration. In this way the subjects experienced thirty minutes of auditory stimulation considering the three types of music and the noise. The comparison between the pleasant and disagreeable states induced by music was done. The results showed that the two techniques for registry of the cerebral function identified a left cortical network in the pleasant feelings (Bach and Mahler versus Prokofiev) that included the prefrontal regions, inferior parietal, posterior temporal, and auditory area. In contrast, the disagreeable emotions (Prokofiev versus Bach and Mahler) involve the activation of the frontopolar area with right predominance and paralimbic areas. The findings of the comparison of musical excerpts, all together against the noise revealed, bilateral activation of auditory areas, the inferior frontal gyrus, in frontopolar area, and also in the left temporal pole. Which confirms that, in the general answer to music some areas of cognitive and language processing, are recruited. The results support the interpretation of which the left cognitive areas probably contribute to the pleasant feelings when the melodic sequences follow waited sequences for recognized processes, whereas the right hemisphere probably underlying to the disagreeable feelings when is necessary the search of meaning in the presence of unexpected sequences or novel situations. Thus, sensorial and cognitive integration is necessary during the emotion by music.

RESUMEN

Fueron investigados los correlatos cerebrales de la reacción emocional generada por la audición de tres diferentes obras musicales y para ello se usaron las siguientes técnicas: reportes validados de la emoción con Análisis de Componentes Principales, Imagen por Resonancia Magnética Funcional y actividad coherente del Electroencefalograma. Participaron diecinueve sujetos, hombres y mujeres con edad promedio de veinticinco años, no-músicos. Como estímulos musicales generadores de agrado fueron utilizadas, una tranquila obra de J. S. Bach y un enérgico pasaje sinfónico de G. Mahler. A su vez, como productor de sentimientos de inquietud o desagrado fue usada música disonante, atemática e impredecible, del compositor contemporáneo J. Prodromidès. Cada pieza estuvo dividida en diez segmentos consecutivos de treinta segundos los que se alternaron con segmentos de ruido de igual duración. De esta forma los sujetos experimentaron treinta minutos de estimulación auditiva considerando los tres tipos de música y el ruido. Se hizo la comparación entre los estados agradables y desagradables inducidos por la música. Los resultados mostraron que las dos técnicas para registro de la función cerebral identificaron una red cortical izquierda en los sentimientos agradables (Bach y Mahler vs. Prodromidès) que incluyó a las regiones prefrontal, parietal inferior, temporal posterior y área auditiva. En contraste, las emociones desagradables (Prodromidès vs. Bach y Mahler) involucran la activación del área frontopolar con predominio derecho y áreas paralímbicas. Los hallazgos de la comparación de todos los pasajes musicales juntos contra el ruido, revelaron activación bilateral de áreas auditivas en el polo temporal izquierdo, en el giro frontal inferior y también en el área frontopolar, lo que confirma que en la respuesta general a la música se reclutan algunas áreas de procesamiento cognitivo y de lenguaje. Los resultados apoyan la interpretación de que las áreas cognitivas izquierdas contribuyen a los sentimientos agradables probablemente cuando las secuencias melódicas siguen secuencias esperadas en procesos ya reconocidos, mientras que el hemisferio derecho subyace a los sentimientos desagradables probablemente cuando es necesaria la búsqueda de significado ante secuencias inesperadas o situaciones novedosas. Así, la integración sensorial y cognoscitiva es necesaria durante la emoción por la música.

INTRODUCCIÓN

La música es un estímulo complejo producido por humanos. Cada día nos damos cuenta que en todas partes del mundo y desde que tenemos memoria histórica la música es creada, deseada y disfrutada, debido principalmente a sus poderosos efectos en emociones, sentimientos o estados de ánimo. A pesar de ser un fenómeno de gran impacto, su estudio científico se había postergado, probablemente por las dificultades en su abordaje experimental y la interpretación de los resultados. Los efectos que la música puede producir están plasmados desde la antigüedad en varios escritos que hablan de investigaciones y disertaciones de algunos de los grandes y legendarios filósofos griegos como son Pitágoras, Aristógenes, Platón y Aristóteles¹, pero más allá de reportes solamente anecdóticos o empíricos, actualmente esos efectos son confirmados por diferentes disciplinas, por ejemplo, en musicología evolutiva donde se investigan las posibles razones por las cuales la música podría ser parte de un proceso de ventaja adaptativa en la evolución humana debido precisamente a sus efectos emocionales (Huron 2001), o en estudios para investigar diferencias transculturales de la percepción emocional en música junto con los factores psicofísicos y socioculturales que intervienen en esos procesos (Balkwill y Thompson 1999), o en el estudio experimental del efecto emocional potenciado por la música cuando se usa junto a la presentación de imágenes de contenido afectivo (Baumgartner *et al.*, 2005) o también, en la elaboración de estrategias de autorregulación del estado de ánimo y también como apoyo en la terapéutica psicológica (Thayer *et al.* 1994). En el campo de las neurociencias, el estudio de las cualidades musicales fundamentales se inició hace unas tres décadas y están extensamente estudiadas, por ejemplo, las diferencias entre secuencias melódicas consonantes o disonantes, o entre secuencias de tonos que forman melodías, tonos simples y finalmente ruidos (Zatorre *et al.* 1994; Patterson *et al.* 2002), otros estudios exploran diferencias entre músicos y no músicos, o diferencias en la percepción de melodías entre sujetos normales y pacientes con daño cerebral (Peretz, Gagnon, y Bouchard 1998; Gagnon y Peretz 2000), también hay investigaciones que estudian el procesamiento cerebral de la información tonal (Zatorre 2001; Janata *et al.* 2002), el timbre musical

¹ Pitágoras pensaba que la música era un número; Aristógenes, su discípulo, consideraba que la música generaba emociones y sensaciones, y que lo importante en la música era precisamente ese aspecto sensorial al que Pitágoras no prestaba atención (Sebastian F. Moro (2007). Review from “*Sulla musica greca antica. Studi e ricerche*” Meriani A. 2003. In *The Classical Review*. Volume 57, Issue 01, pp 56-58. doi: 10.1017/S0009840X06003155, Published online by Cambridge University Press).

(Halpern *et al.* 2004), y la estructura rítmica (Sakai *et al.* 1999; Samson *et al.* 2001). Debido a que todas y cada una de estas y otras cualidades musicales son en su conjunto lo que finalmente logra evocar una respuesta afectiva en cualquier persona (Hevner 1936; Altenmüller *et al.* 2002), ha habido un creciente interés por usar música real como estímulo experimental (Krumhansl 2003). Sin embargo, hay que considerar que el estímulo musical consiste de un flujo temporal de eventos auditivos organizados, y que su comprensión y la de la emoción concurrente sólo pueden ser detectadas sobre ventanas relativamente largas de tiempo (segundos a minutos).

El uso de música real parece no solo pertinente sino necesario para el estudio de emociones producidas por música, y aquí destacamos especialmente el repertorio incluido en la categoría de obras maestras de la música ya que éste está caracterizado por un alto nivel de perfeccionamiento en el manejo de recursos sonoros y elementos musicales que son hábilmente desarrollados para obtener la expresión de una idea musical que generalmente va dirigida a evocar diversos y consistentes estados afectivos. Este tipo de obras pueden ser consideradas idealmente satisfactorias para analizar los correlatos cerebrales de la respuesta emocional a la música (Ogata 1995; Blood y Zatorre 2001; Altenmüller *et al.* 2002).

Recientemente surgieron investigaciones que reportan los correlatos cerebrales de las reacciones emocionales a la música. Por ejemplo, unas pocas publicaciones con técnica de imagen por resonancia magnética funcional como en Koelsch *et al.* (2006) "*Investigating emotion with music*" o también el artículo ya clásico de Blood y Zatorre (2001) "*Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion*" con tomografía por emisión de positrones, los que muestran cómo algunas emociones musicales intensas involucran la participación de redes límbicas y paralímbicas en la integración de información sensorial y cognitiva. Los resultados en estos estudios reportan que los sentimientos conmovedores y emocionantes producidos por estímulos musicales favoritos se correlacionan con un incremento del flujo sanguíneo en regiones de las cortezas orbitofrontal, frontopolar y cingulada subcallosa (Blood y Zatorre 2001). También en no-músicos, durante la experiencia de sentimientos agradables producidos por la escucha pasiva de música instrumental no familiar, se reportó la activación de estructuras límbicas, junto con regiones perceptuales y cognitivas (Brown

et al. 2004; Koelsch *et al.* 2006). Además, también se encontró que las correlaciones con sentimientos desagradables provocados por estímulos disonantes incrementan el flujo en el giro parahipocampal y precuneus derechos (Blood *et al.* 1999).

Aunque la reacción afectiva a la música explorada por medio de técnicas para obtención de imagen cerebral muestra, como acabamos de ver, regiones particulares que pueden explicar distintas respuestas emocionales, tal activación no nos provee la información sobre cuál es la interacción funcional entre esas áreas del cerebro.

El electroencefalograma (EEG) es un adecuado método para seguir momento a momento los cambios en la actividad eléctrica cerebral inducidos al escuchar música, tanto en períodos cortos (milisegundos) como durante periodos prolongados, el EEG también puede proveer un promedio temporal de la actividad cerebral inducida por el continuo flujo de tonos cuando una época de varios segundos es analizada (Bhattacharya *et al.*, 2001; Patel y Balaban, 2000). Con ésta técnica se ha reportado, por ejemplo, el registro en curso de la actividad eléctrica dentro del hipocampo y se observó que cambia con intervalos musicales disonantes e inestables (Wieser y Mazzola 1986). En otra investigación, Ramos y Corsi-Cabrera (1989), encontraron un incremento frontal de la potencia relativa theta y un decremento de la potencia relativa alfa usando piezas musicales agradables. En otro estudio pionero, Petsche H., Pockberger H. y Rappelsberger P. (1985) buscando diferencias en el espectro de potencia entre músicos y no músicos, encontraron un decremento significativo de la potencia absoluta durante la tarea de escuchar música, reversible en los momentos de silencio y descanso, el efecto en los músicos se mostró en ambos hemisferios pero más en el derecho en la banda de 18 a 24 Hz, en tanto que en los no músicos se presentó con predominio izquierdo en la banda de 13 a 18 Hz. Por otra parte, Davidson (1992) propone un indicador del tono emocional en estímulos de recompensa y castigo, ya que observó que los ensayos en sujetos con estímulos de recompensa fueron asociados a disminución de la potencia alfa en frontal izquierdo a diferencia de los ensayos de castigo en donde hubo una disminución de la potencia de alpha pero en frontal derecho. Además, el EEG también se puede considerar un indicador general de la representación cognitiva (Klimesch, 1999), por ejemplo, resulta particularmente interesante el rango de frecuencia alfa, ya que sobre la corteza temporal se relaciona con el procesamiento de información auditiva específicamente en un ritmo de 10 Hz (Lehtelä, et al 1997).

En el presente estudio se usó otra valiosa alternativa del EEG, el acoplamiento funcional o actividad coherente entre sectores cerebrales que es relevante en la explicación de varias operaciones de atención, cognición y emoción. La actividad coherente del EEG (Singer 1999; Nunez *et al.* 2001) se relaciona con el procesamiento de información en frecuencias específicas (Basar *et al.* 2001; Patel y Balaban 2000) sirviendo como mecanismo de “enlace” para integrar procesos cerebrales distantes dentro de una experiencia unificada incluyendo la emocional y se manifiesta durante el procesamiento musical como un incremento armónico de las relaciones coherentes corticales (Petsche y Etlinger 1998; Bhattacharya *et al.* 2001).

La correlación de los datos entre las derivaciones del EEG provee valores matemáticos de relación lineal entre dos señales e indica un acoplamiento funcional entre las regiones subyacentes (Shaw, 1984). Una alta correlación entre dos señales simultáneas de EEG indica que los potenciales de campo están sincronizados entre ellos, con otros o con otras asambleas neuronales. El registro de la actividad sincronizada entre sectores del cerebro es importante y nos damos cuenta de eso porque, por ejemplo, cambia en los estados de sueño (Steriade, 1997; Perez-Garci *et al.*, 2001) y también cambia en una tarea cognitiva integrativa como es el procesamiento musical (Petsche y Etlinger, 1998; Bhattacharya *et al.*, 2001; Flores-Gutiérrez *et al.*, 2007). Por lo tanto, en este trabajo está considerado que durante emociones particulares por la música, una alta correlación podría ser indicativa de relaciones funcionales destacadas en tanto que una baja correlación podría ser evidencia de un desacoplamiento funcional.

OBJETIVO

Obtener los correlatos cerebrales de los efectos emocionales de agrado y desagrado generados por música.

HIPÓTESIS

- Habrá diferencias en la actividad metabólica y eléctrica del cerebro entre el estímulo musical y el ruido blanco.
- Obtendremos diferencias metabólicas y eléctricas de la actividad cerebral en relación a los tipos de emoción reportadas por los sujetos ante cada tipo de música.

MÉTODO

SUJETOS

Después de ser convocados en la población de alumnos de la facultad de psicología de la Universidad Nacional Autónoma de México y habiendo dado su consentimiento informado, fueron seleccionados para participar en el estudio un total de diecinueve sujetos, estudiantes, diestros, no-músicos, hombres y mujeres con una edad media de 25 años ($DS \pm 3.05$). La entrevista estructurada aseguró que no tuvieran entrenamiento formal en música, que tuvieran buena salud general, estuvieran libres de trastornos neurológicos y del uso de drogas psicoactivas. Las mujeres fueron registradas entre el quinto y décimo día del ciclo menstrual para minimizar el efecto de variaciones hormonales (Solís-Ortiz et. al. 1994). Dieciseis del grupo participaron en el estudio con el registro del electroencefalograma (EEG), y seis para el estudio de imagen por resonancia magnética funcional (IRMf). De estos últimos solo tres compartieron ambas técnicas en sesiones separadas, primero la IRMf y después, el EEG en fechas posteriores de entre tres a seis meses. Los sujetos participaron en el estudio como escuchas pasivos, sin otra tarea cognitiva más que escuchar atentamente los estímulos, y como Mullholland (1995) afirma, de esta forma los recursos cerebrales están más disponibles para la recolección espontánea de impresiones y sentimientos.

ESTÍMULOS MUSICALES

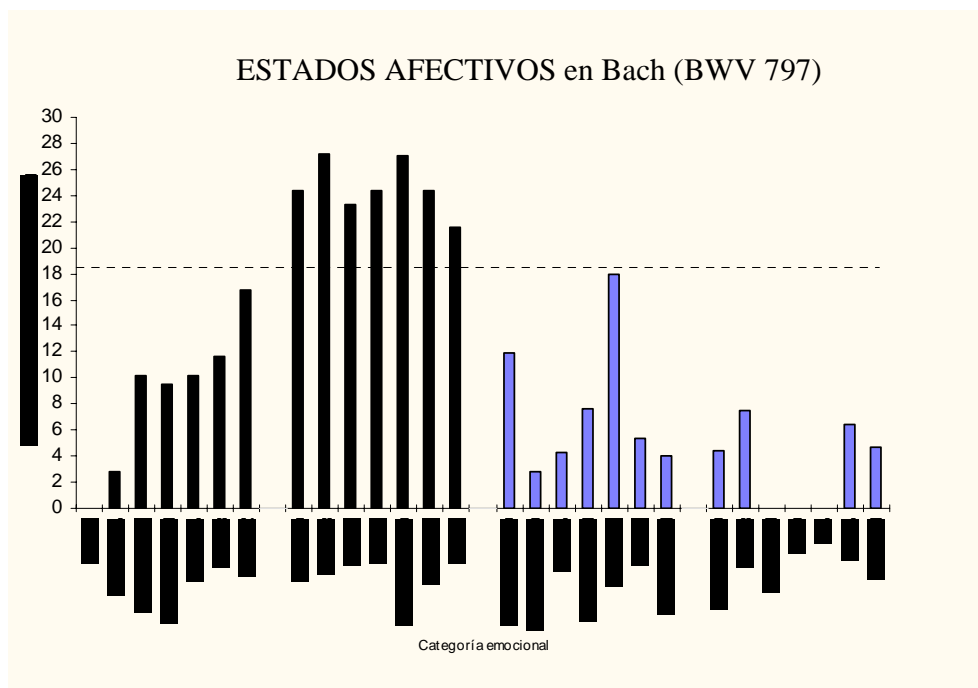
Se escogieron como estímulos experimentales tres secciones de música clásica no comercial y se corroboró que era desconocida para los participantes en los cuestionarios que respondieron durante el estudio. Se aplicaron con el conocimiento previo de las emociones subjetivas que seguramente serían evocadas conforme a los trabajos de Ramos y colaboradores (1996) y de Flores-Gutiérrez (2001). De esta forma, entre las varias obras maestras musicales que habían sido cuidadosamente estudiadas, las siguientes fueron seleccionadas por sus efectos confirmados en los sentimientos.

Para la inducción de emociones de desagrado o miedo se utilizó una inquietante pieza de música del compositor contemporáneo J. Prodrómides (nació en 1927 - activo hasta la actualidad), la obra para orquesta sinfónica, coros e instrumentos especiales, es

parte de la pista de música de la película Dantón¹. Esta pieza fue previamente reportada como evocadora confiable de emociones de desagrado (Fig. 1), fue validada por una prueba con trescientos treinta y cinco sujetos usando escalas visual análogas (Ramos et al, 1996).



Figura 1. Frecuencia de los adjetivos obtenidos para los estados afectivos placenteros y displacenteros provocados por la obra musical Peer Gynt de E Grieg, y la música para la película Dantón de J Prodromidés. La gráfica es tomada del estudio de Julieta Ramos y colaboradores en 1996.



¹ Soundtrack by Warsaw Philharmonic Orchestra, directed by Jan Pruszek, and the Choral Society of Warsaw directed by Maciej Jaskiewicz. Gaumont, RCA PL 33743, 1983.

Figura 2.- Atribución de emociones a la obra de Bach en un estudio previo de Flores-Gutiérrez. Este gráfico de las puntuaciones para el segmento musical de J S Bach, invención para piano BWV 797, evoca una respuesta robusta, compacta y totalmente específica en el segundo sector de emociones agradables y relajadas (lado izquierdo, segundo cuadrante). Es así que las siete emociones del conjunto (agrado, placer, deseo, amor, tranquilidad, certeza y alivio) rebasaron el nivel de significación, y ninguna otra lo hizo. Hay un elemento de tristeza que se aproxima al umbral significativo. No se registraron respuestas para el sector de activación y desagrado (lado derecho).

Para inducir sentimientos de agrado y felicidad, se utilizaron dos piezas de música, una suave y delicada de J. S. Bach (nació en 1685 – murió en 1750), la Invención a tres voces BWV 797, también llamada sinfonía número 11, interpretada al piano por el destacado pianista Glenn Gould², y la otra es una pieza enérgica y dramática para orquesta sinfónica del gran compositor Gustav Mahler (nació en 1860 - murió en 1911), se trata de la quinta Sinfonía en la primera parte de su segundo movimiento³.

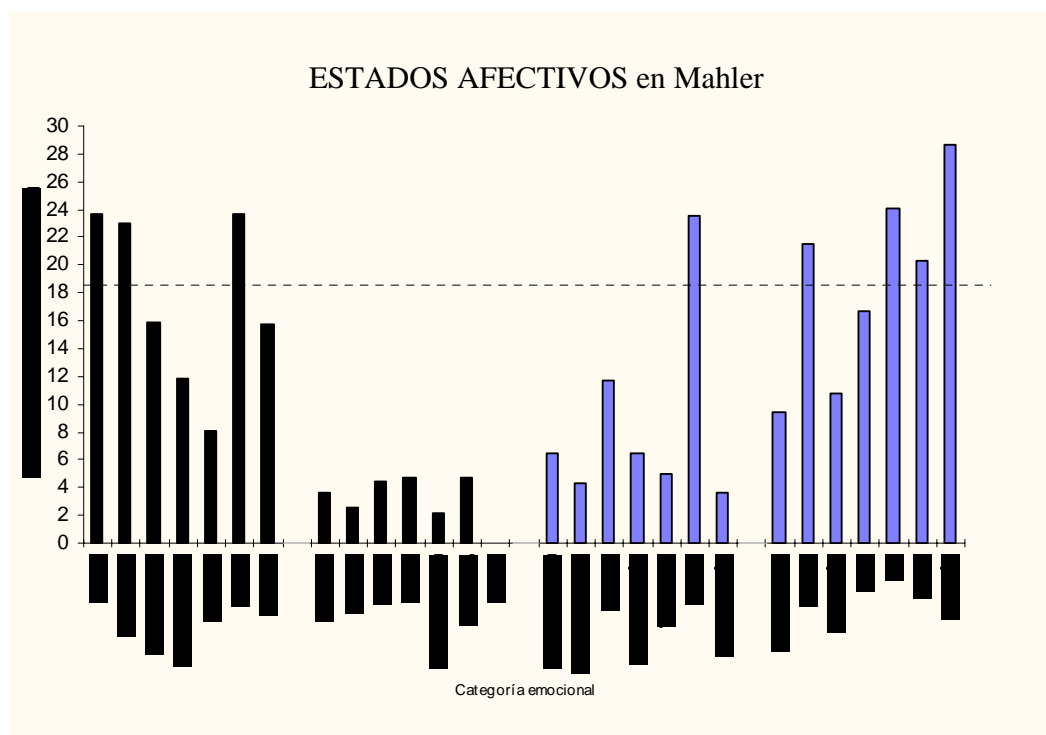


Figura 3.- Atribución de emociones a la obra de Mahler en un estudio previo de Flores-Gutiérrez. En el segmento musical del segundo movimiento de la 5ª Sinfonía de Mahler vemos una respuesta hacia la activación. Cuatro emociones del primer grupo (polo de activación-positiva, extremo izquierdo) alcanzan valores significativos: vigor, sorpresa y valor. También hay un dominio de emociones del cuarto sector (polo de activación-negativa, extremo derecho), en particular tensión, y con menos nivel de

² Gould. CD, Goldberg Variations BWV 988, Three-Part Inventions n. 2 -15, BWV 788 - BWV 801. Sony, SMK 52685. 1959.

³ Berlin Philharmonic Orchestra, Bernard Haitink, Conductor. Symphony No. 4 in G major, and, Symphony No.5 in C sharp minor. CD, Philips, 475 446-2, 1993.

atribución ira, dolor, duda y miedo. Los niveles más bajos se ubicaron en el segundo grupo de emociones positivas y relajadas.

Se corroboró en un estudio previo, realizado en una muestra constituida por ciento ocho sujetos universitarios, que estas dos últimas piezas evocaron consistentemente emociones subjetivas agradables (Flores-Gutierrez, 2001), así mismo se puso en evidencia que difirieron en su capacidad para inducir activación (Figs. 2 y 3).

En términos de un modelo reportado previamente acerca de la topografía del sistema afectivo (Díaz & Flores-Gutiérrez, 2001) se puede apreciar (Figura 4) que se usaron piezas musicales que producen emociones localizadas en tres de los cuatro cuadrantes, formados por la intersección ortogonal de las variables de la emoción más aceptadas, es decir, los ejes de valencia hedónica y activación (Feldman & Russell, 1998), ubicadas como sigue, con Mahler, placer-activación (Figs. 3 y 4); con Bach, placer-calma (Figs. 2 y 4); y con Prodomidès (Fig. 1 y 4) displacer activación.

Así como las piezas de Bach y Mahler evocaron un significativo nivel de agrado, también la música de Prodomidès y la de Mahler evocaron, en el presente estudio, un muy parecido nivel de activación.

PREPARACIÓN DE LOS EXTRACTOS MUSICALES Y PRESENTACIÓN DE LOS ESTÍMULOS

Las respuestas afectivas a la música requieren integración sobre períodos de tiempo prolongados para lograr la extracción del significado emocional, por eso los estímulos sonoros fueron presentados con un diseño en bloques de varios segundos. A su vez, el diseño fue útil para ser aplicado a las diferentes técnicas de registro utilizadas y en cada caso las obras musicales fueron igualmente apreciadas dentro de las posibilidades de cada técnica.

Para la aplicación de este diseño, cada sección musical fue dividida en diez segmentos consecutivos de treinta segundos, intercalados con diez segmentos de treinta segundos de ruido blanco, para un total de diez minutos por cada tipo de música. Finalmente, todos los sujetos escucharon las tres piezas, por lo tanto, considerando exclusivamente los estímulos auditivos, la exposición duró treinta minutos. La sesión total,

tomando en cuenta la preparación de los sujetos para cada tipo de registro y el manejo de los cuestionarios de evaluación subjetiva, duró aproximadamente sesenta minutos.

En todos los casos se aplicó el mismo diseño experimental y los mismos estímulos (Fig. 5), el orden de presentación fue siempre contrabalanceado.

Las pistas de audio fueron grabadas en un CD por medio de un sistema digital, con cada obra segmentada y editada de acuerdo a los requerimientos del protocolo por medio del programa Sound Forge 5.0. El ruido blanco fue obtenido de la estática de radio y se comprobó que su espectro sonoro fuera homogéneo y constante.

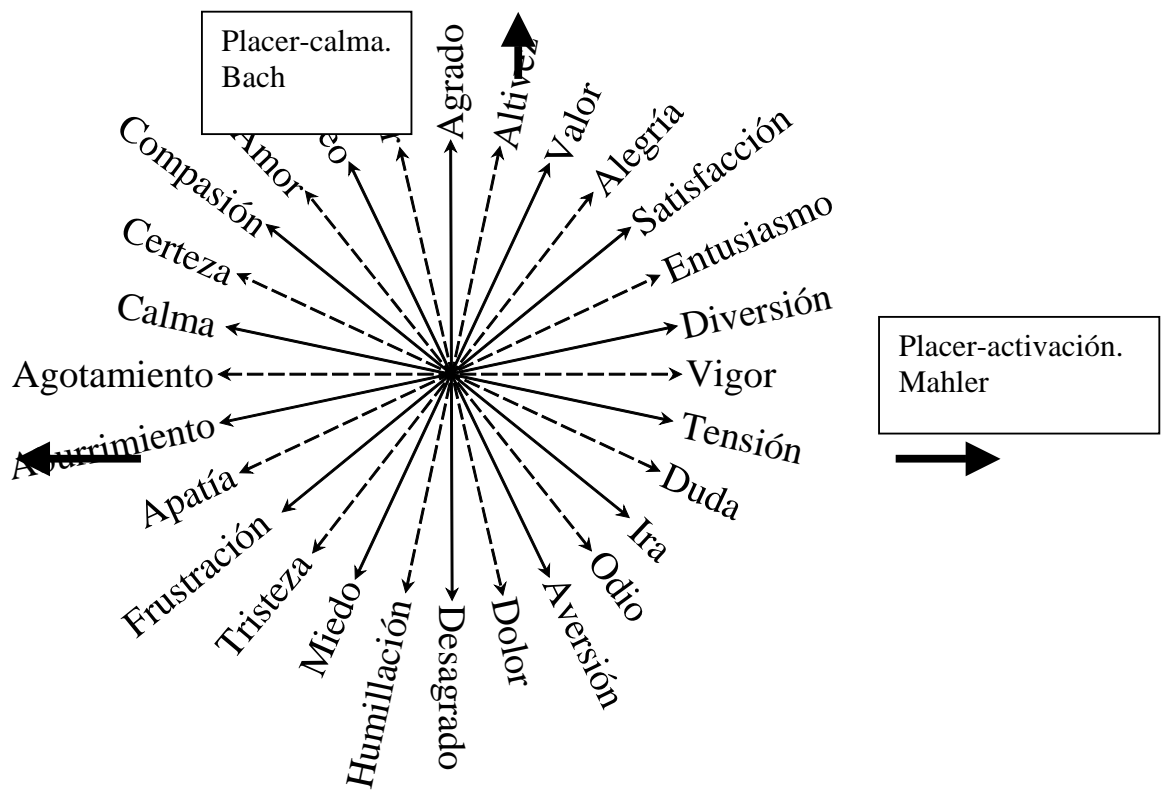


Figura 4.- Modelo circular de la emoción de Prody y Flores-Gutiérrez. Se pueden localizar los cuatro cuadrantes que combinan activación y valencia. El modelo está construido con ejes polares de antónimos. Los recuadros ubican a cada estímulo de la investigación actual, dentro del área correspondiente según el modelo de la emoción de Prody y Flores-Gutiérrez.

Durante los experimentos para obtener la IRMF, los estímulos de música y ruido blanco fueron aplicados dentro del resonador por medio de audífonos neumáticos sellados

en torno a los oídos que sirvieron también para mitigar el ruido propio de la máquina. En el caso de las sesiones de registro del EEG los sujetos estuvieron aislados, confortablemente sentados dentro de una cámara sono-amortiguada y con luz suave, por lo que no fue necesario el uso de audífonos evitando así un factor de distracción y la posibilidad de manipulación de los estímulos por los sujetos. Los estímulos musicales fueron presentados por medio de dos bocinas al frente, con una separación de dos punto veinte metros entre ellas, a dos metros de distancia y un metro sobre la cabeza de los participantes, aproximadamente. La intensidad estuvo en el rango de 60 a 80 dB SPL. Los sujetos fueron instruidos para que mantuvieran los ojos cerrados durante cada presentación.

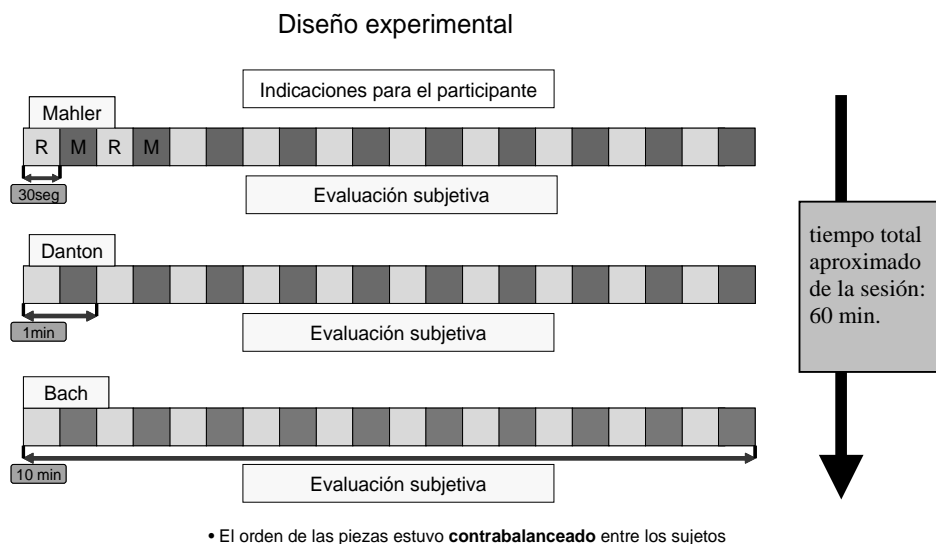


Figura 5.- Diseño Experimental en la presente investigación. El desempeño de una sesión, consistió en primer lugar de las indicaciones generales para el participante y a continuación, la presentación de los diferentes estímulos musicales (M) alternados con ruido blanco (R) en bloques de treinta segundos. Después de cada sección de bloques de un tipo de música (por ejemplo, en la primera barra: Mahler) con una duración de diez minutos, fue aplicado el cuestionario de evaluación subjetiva correspondiente. La secuencia de las piezas (Mahler-Dantón-Bach) en esta figura es solo un ejemplo, ya que para cada sujeto estuvieron contrabalanceadas. Aunque sólo de estímulos auditivos se suman treinta minutos, la sesión total duró aproximadamente sesenta minutos.

REGISTRO DE LA EVALUACIÓN SUBJETIVA

Los sujetos reportaron su experiencia emocional inmediatamente después de cada pieza musical. Tres preguntas dicotómicas (si/no) exploraron si a los sujetos les gustó la música, si les gustaría volverla a oír, y si la conocían previamente. Para el registro de la evaluación subjetiva evocada por cada obra musical, diecinueve términos de la emoción

validados en estudios previos, entre los que se encuentran, por ejemplo: alegría, calma, tristeza, enojo, y temor (Ramos et al. 1996; Flores-Gutiérrez 2001), fueron presentados a los sujetos usando escalas tipo Likert. Estas escalas consisten de una barra continua de diez centímetros representando ausencia del sentimiento a la extrema izquierda y un alto grado en el extremo de la derecha. Este instrumento para la evaluación subjetiva de las obras musicales, fue validado previamente de la siguiente manera. Treinta y dos términos fueron originalmente seleccionados de la taxonomía de estados afectivos de Clore y Ortony (1988), traducidos al español, e investigados por sinónimos y significado por ochenta sujetos. La lista original quedó reducida a los diecinueve adjetivos usados en el presente estudio por el Análisis de Componentes Principales (Joliffe 1986). Esos factores fueron validados por doscientos quince sujetos y finalmente corroborados en otro estudio experimental con música, por cuarenta sujetos más (Ramos et al., 1996).

Aunque los sujetos quizás tuvieran una métrica idiosincrásica para trasladar su intensidad emocional interna a una dimensión espacial, los extremos de las escalas fueron claramente definidos, de tal manera que en el extremo izquierdo los sujetos pudieron considerar “no sentimiento en absoluto = 0 milímetros”; y en el extremo derecho de cada escala “la máxima intensidad sensible para esa emoción = 100 milímetros”. Después que los sujetos marcaron el nivel para cada término de la emoción en cada barra, la intensidad del sentimiento reportado fue valorada en centímetros desde el mencionado punto cero en el extremo izquierdo y los datos numéricos se desahogaron en una matriz para cálculos subsiguientes.

REGISTRO DE LA ACTIVACIÓN HEMODINÁMICA CEREBRAL

Todas las sesiones, anatómicas y funcionales de Resonancia Magnética, fueron realizadas en un escáner General Electric LX modelo v9.x de 1.5 Teslas, equipado con gradientes 23 mT/m usando una cuadratura estándar en la bobina principal. Los sujetos fueron sostenidos con seguridad en el contenedor principal para minimizar los movimientos de la cabeza. Las imágenes funcionales fueron obtenidas por una secuencia de pulso GE EPI-BOLD con un ángulo de deslizamiento de 90°, TE = 60 ms, TR = 3000 ms, FOV = 256 mm, usando una matriz 64 X 64, dimensión de voxel 4 x 4 x 8 mm. Fueron obtenidas siete rebanadas axiales contiguas (separación cero) de 8.0 mm de espesor. Las imágenes fueron

centradas al lóbulo temporal. Para obtener una referencia de alta resolución, imágenes estructurales fueron obtenidas para cada sujeto usando alta resolución pesada en T1, localizada exactamente sobre el mismo lugar de las secciones de los estudios funcionales.

REGISTRO DE LA ACTIVIDAD COHERENTE DEL EEG

La actividad coherente del EEG fue registrada en las localizaciones Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4, O1, O2, Fz, Cz y Pz del Sistema Internacional 10-20, referidas ipsilateralmente a los lóbulos auriculares, con electrodos Grass tipo copa de oro. Cuatro electrodos adicionales para movimientos oculares (EOG) dos horizontales y dos verticales, fueron referidos al mismo electrodo (A1), haciendo la detección de los movimientos oculares segura y simple.

La actividad del EEG, EOG y la señal de la pista de sonido en el mismo montaje fueron amplificadas usando un polígrafo digital Neurodata GRASS con filtros puestos en 1 Hz y 70 Hz (-3 dB, roll off – 6 dB/oct), digitalizados a una frecuencia de muestreo de 512 Hz y guardados en una PC usando el programa de adquisición GRASS-GAMMA⁴ version 4.4 durante la duración completa de los estímulos. EL EEG obtenido fue segmentado en épocas de dos segundos sincronizando con el inicio de las piezas musicales. Para evitar el efecto sorpresa, la primera y última épocas de dos segundos en cada inicio y fin de los bloques de música y de ruido, fueron descartadas.

ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN SUBJETIVA

Los resultados cuantitativos de todas las escalas subjetivas correspondientes a los tres tipos de música fueron sometidos al Análisis de Componentes Principales (ACP) seguido por rotación varimax. Los datos para el ACP consistieron de una matriz de coeficiente de correlación de 19 x 19 datos de las escalas. Los vectores de cada componente caracterizando la matriz del coeficiente de correlación, junto con sus valores asociados, fueron sujetos a un procedimiento de exclusión que tenía como propósito la construcción de componentes o factores expresados como una combinación lineal de ítems. Solo vectores asociados con valores > 1 fueron considerados. Se requirieron cargas por factor superiores a 0.5 para que una escala fuera incluida en un componente.

⁴ <http://www.grasstechnologies.com/products/researchsoft/gamma1.html>

El propósito de usar el ACP fue, para corroborar aquellos componentes obtenidos previamente por Ramos y Col. (1966), también para reducir el número de variables, es decir, el número de adjetivos emocionales en nuestro estudio, discernir estados emocionales independientes evocados por las piezas musicales y constituir nuevas variables.

Los datos originales de los componentes resultantes fueron comparados con ANOVAs para medidas repetidas con las piezas musicales como variable intra-sujeto. Comparaciones Post-hoc con la prueba de Tukey nos permitieron determinar diferencias asociadas con los sentimientos subjetivos para cada componente.

Las preguntas dicotómicas fueron comparadas por la prueba Chi cuadrada.

ANÁLISIS DE LA ACTIVACIÓN HEMODINÁMICA CEREBRAL

Los datos de los estudios de Resonancia Magnética fueron transferidos fuera de línea a una estación de trabajo, se usó un formato de imagen propio del escáner GE. Las imágenes fueron transferidas y salvadas dentro del formato de análisis SPM2 como grupos en orden temporal usando el sistema MRIcro de Chris Rorden⁵. De esta forma, los grupos de imágenes funcionales ordenados en el tiempo fueron analizados y se obtuvo la estadística con el software SPM2⁶. La alineación fue asegurada usando los procedimientos estandarizados incluidos en SPM (Friston *et al.* 1994). Las imágenes funcionales se sometieron al proceso estándar EPI (Echo-planar imaging) que provee SPM. Se aplicó un alisamiento espacial para el suavizado de las imágenes con núcleo Gaussiano de FWHM (“Full Width at Half Maximum”) de 8 mm, sin filtros de pasa-baja o pasa-alta. Los signos funcionales fueron obtenidos con correlación a la función Box-car y con convolución a la función de la respuesta hemodinámica sin la corrección derivativa de tiempo (Friston *et al.* 1995). El análisis estadístico de los datos de IRMf está basado en el Modelo General Lineal (GLM) estimado con una probabilidad máxima restringida (ReML) usando un modelo autoregresivo (AR) con interacciones No-Volterra⁷. El regresor relevante fue cada una de las piezas musicales y el contraste implícito se calculó con cada regresor contra cero para detectar áreas activadas en cada segmento musical y cada contraste contra todos los otros

⁵ <http://www.sph.sc.edu/comd/rorden/mricro.html>

⁶ Wellcome Department of Imaging Neuroscience, Institute of Neurology, London WC1N 3BG UK, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>

⁷ SPM manual, Functional Imaging Laboratory, Wellcome Department of Imaging Neuroscience, Institute of Neurology, London WC1N 3BG UK, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>

para detectar las diferencias. Clusters compuestos por menos de cinco voxels fueron excluidos del análisis. Los mapas funcionales fueron estimados usando la corrección de “Family Wise Error” (FWE) con umbral $p = 0.05$.

La significancia de los mapas de probabilidad fueron computados para cada condición dentro del espacio estandarizado de Talairach (Lancaster *et al.* 2000).

La imagen cerebral de los correlatos de los sentimientos agradables fue calculada sustrayendo los períodos de escucha en Prodromidès del promedio de Bach y Mahler y por cada pieza por separado. Los sentimientos desagradables se calcularon por el procedimiento opuesto. El procesamiento general y emocionalmente-inespecífico fue evaluado sustrayendo los períodos de escucha para ruido del promedio de las tres piezas musicales.

ANÁLISIS DE COHERENCIA DEL EEG

El registro crudo fue revisado visualmente para localizar movimientos oculares, parpadeos y artefactos musculares. En éste procedimiento, más que corregir los movimientos oculares por la inspección directa y simultánea de los canales vertical y horizontal del EOG, nosotros seguimos la estrategia segura de rechazar todas las épocas de dos segundos con movimientos oculares.

De acuerdo con los objetivos del estudio todos los valores de correlación cruzada fueron obtenidos a tiempo cero como un indicativo de oscilaciones sincronizadas, simultáneamente relacionadas con los estados emocionales verificados. El espectro de correlación cruzada entre los pares de derivaciones para cada sujeto y condición fueron obtenidos para todas las épocas de dos segundos libres de artefactos. Con una velocidad de muestreo de 512 Hz y una longitud de segmento de 1024 puntos esto resulta en una resolución de frecuencia de 0.5 Hz usando el programa POTENCOR⁸ (Guevara *et al.* 2003). Este programa, inicialmente calcula la Transformada Rápida de Fourier y después determina el espectro de correlación proporcionando valores entre -1 y +1. El procesamiento de las señales para tiempo cero, es ejecutado de acuerdo a la ecuación desarrollada para ese propósito. Este es un poderoso procedimiento ampliamente usado para obtener relaciones lineales entre dos derivaciones que no están afectadas por la amplitud de las señales correlacionadas.

⁸ Disponible por solicitud a mguevara@cencar.udg.mx

El procesamiento de las señales es ejecutada de acuerdo a la ecuación

$$r(x) = \frac{S_{AB\text{ real}}(x)}{\sqrt{S_{AA}(x)S_{BB}(x)}}$$

Donde:

De $r(x)$, $x = 0, 1, 2, \dots, N-1$ (N valores del espectro de correlación entre las señales de los segmentos A y B)

$S_{AA}(x)$, $S_{BB}(x)$, $x = 0, 1, 2, \dots, N-1$ (Transformada inversa de Fourier del autoespectro de las señales A y B)

$S_{AB\text{ real}}(x)$, $x = 0, 1, 2, \dots, N-1$ (parte real de la transformada inversa de Fourier del espectro cruzado entre A y B)

Todas las épocas de dos segundos libres de artefactos (al menos 465 épocas de dos segundos por cada sujeto) fueron analizadas. El espectro de correlación para cada sujeto y condición fue obtenido para rangos de 1 Hz a tiempo cero sin corrimiento, entre todos los pares de derivaciones usando el mencionado programa POTENCOR.

Antes del análisis estadístico, los valores de correlación fueron transformados a puntuaciones Z de Fisher (Guilford y Fruchter 1978) para aproximarlas a una distribución normal. Las frecuencias más altas y más bajas fueron descartadas del análisis estadístico para evitar contaminación por movimientos oculares y actividad EMG por posible contracción de músculos faciales u occipitales debidos a la emoción, considerando para el análisis las frecuencias entre 3 y 25 Hz. Los valores de correlación fueron promediados desde todas las épocas de la misma condición para cada sujeto y par de derivaciones. Se obtuvieron un mínimo de 77 épocas libres de artefactos por sujeto y por cada condición.

El análisis de componentes principales (ACP) fue usado para reducir el número de variables y para obtener bandas anchas independientes basadas en la actividad EEG correspondiente a las condiciones experimentales del estudio. Los datos para ACP consistieron de una matriz de coeficiente de correlación de 23 x 23 de valores de la potencia absoluta (PA) de las 23 frecuencias. La potencia absoluta para cada banda de frecuencia, derivación, y condición, fue sometida a ACP seguida por rotación Varimax. Este método extrae componentes ortogonales independientes, en este caso, las frecuencias

con actividad correlacionada. El procedimiento ha sido exitosamente usado para extraer bandas anchas correspondientes a estados conductuales particulares (Corsi-Cabrera *et al.* 2000; Merica y Fortune 2005). Solo componentes asociados con valores mayores que 1 fueron considerados, y una carga factorial mayor que 0.5 fue requerida para incluir un rango de frecuencia en un componente. Las siguientes cuatro bandas fueron extraídas:

Banda Ancha	Varianza Explicada	Valor por Componente
3-8 Hz	24.29%	7.57
8-10 Hz	13.10%	5.59
11-14 Hz	12.48%	2.87
14-25 Hz	32.92 %	3.01

Este procedimiento permitió la interpretación de la actividad coherente del EEG en términos de las bandas anchas tradicionales (Fig. 6). Dos bandas alfa fueron identificadas dentro del rango de frecuencias de interés que permitieron interpretar la actividad coherente del EEG en términos de bandas alfa lenta (8-10 HZ) y alfa rápida (11-14 HZ) (Klimesch, 1999). Se obtuvieron resultados significativos principalmente en las dos bandas Alfa.

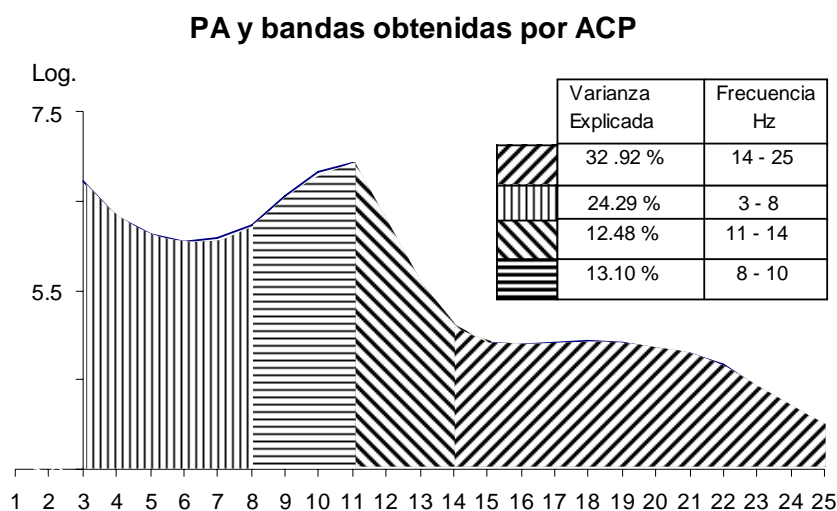


Figura 6. Efecto principal y bandas anchas del EEG. Espectro de la potencia absoluta transformado a logaritmos, con las bandas obtenidas por el Análisis de Componentes Principales. Como se puede observar, corresponden a las bandas tradicionales en el Electroencefalograma que en estudios previos ya han sido confirmadas por su reactividad y significancia fisiológica.

Para demostrar que los valores de la correlación fueron diferentes de cero con un límite de confianza del 95% en un umbral teórico (Rosenberg, et al., 1989) se aplicó la siguiente ecuación:

$$1 - (1 - \alpha)^{\left(\frac{1}{L-1}\right)}$$

Donde L es el número de épocas separadas usadas en el cálculo de la correlación.

Todas las series de datos de correlación excedieron el 95% de nivel de confianza.

Para verificar que los bloques de ruido no fueran significativamente diferentes entre sí, fueron comparados con ANOVAs para medidas repetidas, con los tres bloques de ruido como variables intra-sujeto. Dado que solo dos diferencias aisladas fueron encontradas, los resultados del EEG sobre las tres secciones de ruido fueron promediados para las comparaciones posteriores. Para probar las diferencias entre las piezas musicales, se obtuvieron ANOVAs de medidas repetidas para cada combinación de electrodos y cada banda estrecha con Bach, Prodigios, Mahler y el ruido promedio como variables intra-sujeto. Los efectos del ruido no fueron considerados para las comparaciones Post-hoc pero fueron incluidos en las pruebas de ANOVA para tomar en cuenta la variabilidad. Un nivel de significancia de $p < 0.003$ fue establecido con la corrección de Bonferroni para una $p < 0.01$. Para las comparaciones Post-hoc fue usada la prueba t de Tukey Studentizada. La representación de las localizaciones de los electrodos en la superficie cerebral corresponde a una distribución verificada por IRM y superpuesta por Okamoto et al. (2004) sobre una imagen promedio de cerebro humano (Evans et al., 1993). Aunque estas localizaciones no implican que la actividad EEG fuera generada en el área bajo el electrodo, proveen una justificación de localización cortical que es relevante en la comparación con la activación de la IRMf y la interpretación de los resultados.

RESULTADOS

EVALUACION SUBJETIVA.

Al someter los resultados de las escalas de evaluación subjetiva al ACP, se identificaron cinco componentes (Tabla 1) que fueron fundamentalmente los mismos que aquellos encontrados para estudios previos en una población mayor y con las mismas piezas musicales (Ramos et al., 1996). Los componentes fueron nombrados como: Agrado, Desagrado, Atención, Tristeza, y Activación, considerando el tipo de adjetivos significativos que incluyen.

Tabla 1. Emociones subjetivas evaluadas para las piezas musicales. Aparecen agrupadas de acuerdo a como fueron obtenidas por el análisis de componentes principales.

Componentes	1º	2º	3º	4º	5º
Emociones	Agrado	Desagrado	Atención	Tristeza	Activación
<i>alegre</i>	0.83 *	-0.17	-0.02	-0.32	0.00
<i>animado</i>	0.61 *	-0.08	0.16	-0.14	0.57 *
<i>complacido</i>	0.73 *	-0.31	0.13	0.19	0.04
<i>confortable</i>	0.76 *	-0.13	0.31	0.11	-0.17
<i>encantado</i>	0.83 *	-0.14	0.04	0.01	0.11
<i>feliz</i>	0.86 *	-0.08	-0.14	-0.28	-0.02
<i>inspirado</i>	0.52 *	-0.30	0.24	0.5	0.36
<i>tranquilo</i>	0.63 *	-0.27	0.08	0.02	-0.56 *
<i>asustado</i>	-0.43	0.55 *	-0.12	0.20	0.36
<i>enojado</i>	-0.09	0.58 *	-0.28	0.17	0.16
<i>fastidiado</i>	-0.35	0.65 *	-0.50	-0.04	0.04
<i>incómodo</i>	-0.41	0.61 *	-0.40	-0.01	0.11
<i>inquieto</i>	-0.27	0.82 *	-0.03	0.16	0.22
<i>tenso</i>	-0.41	0.75 *	0.06	0.09	0.28
<i>atento</i>	0.12	-0.02	0.91 *	-0.03	0.03
<i>involucrado</i>	-0.04	-0.07	0.81 *	0.18	0.25
<i>afligido</i>	-0.30	0.43	-0.11	0.66 *	-0.05
<i>triste</i>	-0.02	0.11	0.13	0.91 *	0.00
<i>excitado</i>	0.04	0.21	0.20	0.04	0.82 *
Eigenvalues	5.1234	4.6588	2.2762	1.9387	1.8897
Varianza Expl	24.40%	22.19%	10.84%	9.23%	9.00%
nivel de la p	0.00001	0.00001	----	-----	0.0003

NOTA.- Valores del Análisis de Componentes Principales con rotación varimax, el peso de los factores considerados fue superior a 0.5 [*], los "eigenvalues" superiores a 1; Se presenta el porcentaje de la varianza total explicada por cada componente. Nivel de p < 0.003 para ANOVAs con los tipos de música como variable intra sujeto.

Los tres componentes que mostraron diferencias significativas entre emociones con $p \leq 0.003$ están formados por los mismos adjetivos que los estudios citados previamente.

El componente Agrado incluye ocho adjetivos con una valencia hedónica positiva: Éste covaría fuertemente con Encantado y Alegre, también con las palabras Confortable, Complacido, Tranquilo, Animado e Inspirado. El Componente Desagrado estuvo formado por seis adjetivos con una valencia hedónica negativa: Inquieto, Tenso, Fastidiado, Incómodo, Enojado y Asustado. El factor Activación, incluyó tres adjetivos significativos: Animado, Excitado y covariando negativamente, Tranquilo. El Componente de Atención que incluye los adjetivos Atento e Involucrado y el de Tristeza con los adjetivos Afligido y Triste.

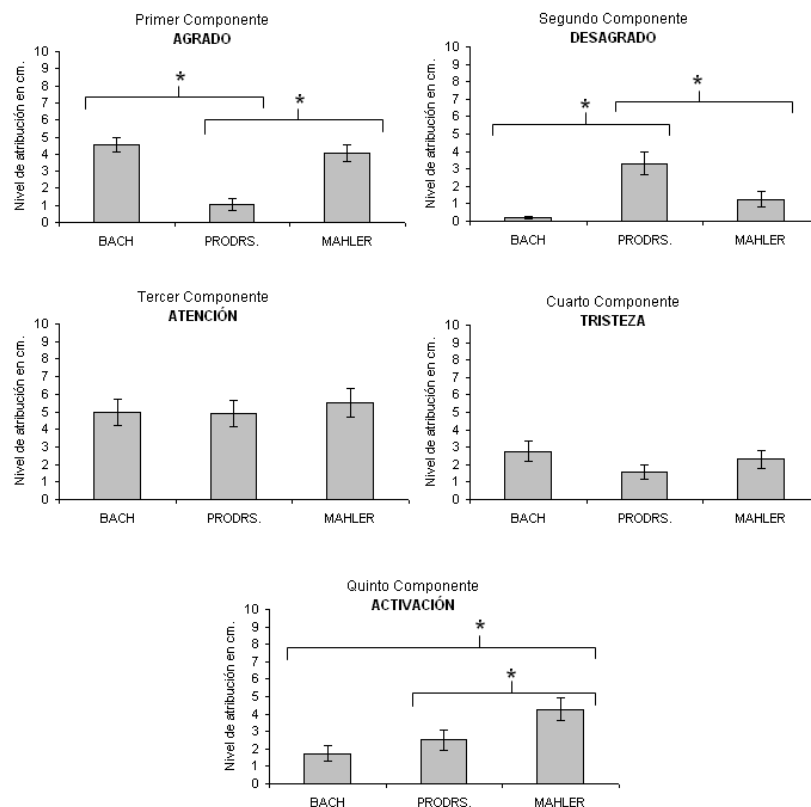


Figura 7. Análisis de Componentes Principales de la escalas de emociones subjetivas reportadas para los tres tipos de música. Los histogramas representan el promedio con error estándar de los niveles subjetivos de emoción evocados por los tres tipos de música agrupados en los cinco componentes obtenidos por ACP. Los asteriscos y las líneas indican diferencias significativas (ver Tabla I para ver los adjetivos de la emoción correspondientes a cada componente).

Las comparaciones entre los datos de cada componente (component scores) y entre las tres piezas musicales mostraron que las emociones de Felicidad y Miedo fueron diferencialmente evocadas por las comparaciones pareadas entre las tres piezas musicales; Bach o Mahler, comparados con Prodnromidès, indujeron emociones positivas significativamente altas (Agrado: $p=0.002$, $p=0.003$, respectivamente) y bajas para emociones negativas (Desagrado $p=0.001$, $p=0.005$, respectivamente). Por el contrario, Prodnromidès evocó más emociones negativas y menos positivas que Bach o Mahler (Tabla 1 y Figura 7). El componente Activación tuvo puntuaciones significativamente altas con Mahler más que con Bach o Prodnromidès (Animado $p= 0.002$; excitado $p = 0.007$). Los componentes de atención y tristeza no mostraron diferencias significativas entre condiciones.

Estos componentes no solo fueron esencialmente los mismos que aquellos reportados previamente, sino que el valor hedónico de Agrado de las obras de Bach y Mahler y el valor hedónico de Desagrado de la obra de prodnromidès fueron también corroboradas por las respuestas a las primeras dos preguntas dicotómicas donde a la mayoría de los sujetos “le gustó” cada una de las dos primeras piezas ($p < 0.01$) y también “le gustaría volverla a escuchar” ($p < 0.05$)

RESULTADOS ASOCIADOS CON SENTIMIENTOS AGRADABLES POR LA MÚSICA

Se observó con los sentimientos agradables por la música, una predominante activación metabólica y también un incremento de la actividad coherente, en el hemisferio izquierdo. Los patrones difirieron de los descritos más abajo para el procesamiento de la música en general.

Así, en la IRMf con la sustracción de las emociones agradables inducidas por Bach y Mahler de las desagradables evocadas por Prodnromidès, quedó la activación correspondiente en: corteza auditiva primaria (BA41 y BA42), giro temporal posterior medial (BA39) y cuneus (BA19), todos en el hemisferio izquierdo (Tabla 2; Fig. 8A).

Diferencias significativas asociadas con sentimientos subjetivos agradables fueron también observadas en la actividad coherente del EEG (Tabla 3 y Fig 8B). Las emociones agradables inducidas por Bach y Mahler al compararlas con Prodnromidès incrementaron la

actividad coherente del hemisferio cerebral izquierdo en dos puntos nodales principales, uno convergiendo en el electrodo T5 y otro en el electrodo O1. Así, la actividad coherente fue más alta con emociones positivas que con negativas para las combinaciones de electrodos entre T5 con C3, CZ, Fp1, FZ en 10 Hz; con T3 en 11 Hz; con F7, C3, CZ, T3 en 13 Hz y con Cz en 14 Hz. La actividad coherente fue más alta

Tabla 2. Localización anatómica de custers en la fMRI, y significancia estadística entre condiciones.

IZQUIERDO Región Cerebral	Coordenadas Talairach					DERECHO Región Cerebral	Coordenadas Talairach				
	B A	X	Y	Z	p		B A	X	Y	Z	p
MUSICA											
Giro Temporal Superior	38	-48	15		0.000	Giro Temporal Superior	22	55	-4	-7	0.000
Giro Temporal Superior	41	-55	-21	5	0.000	Giro Temporal Superior	42	63	-21	10	0.000
Giro Frontal Inferior	47	-32	27	-11	0.000	Sub-lobar (Hipotálamo)	8	-6	-11		0.033
Giro Frontal Inferior	9	-44	13	21	0.007						
AGRADO											
Bach, Mahler > Prodromides											
Giro Temporal Superior	41	-55	-21	3	0.000						
Giro Temporal Superior	42	-61	-29	7	0.003						
Giro Temporal Medio	39	-42	-73	22	0.001						
Cuneus	19	-12	-90	30	0.020						
Bach > Prodromides											
Giro Temporal Medio	39	-46	-71	20	0.008						
Giro Frontal Medio	10	-34	54	-9	0.032						
Mahler > Prodromides											
Giro Temporal Medio	39	-42	-73	22	0.001	Sub-lobar (Hipotálamo)	8	-6	-11		0.006
Giro Temporal Superior	21	-55	-21	1	0.001						
Giro Temporal Superior	42	-61	-29	7	0.001						
Cuneus	19	-12	-90	30	0.027						
DESAGRADO											
Prodromides - Bach, Mahler											
Insula	13	-34	4	9	0.015	Giro Frontal Inferior	47	34	31	-7	0.018
Giro Frontal Inferior	44	-57	12	16	0.018	Insula	13	42	9	16	0.024
Giro Frontal Inferior	47	-38	31	4	0.022						
Giro Frontal Medio	11	-44	42	-11	0.036						
Prodromides - Bach											
Giro Temporal Medio	39	-50	-59	25	0.001	Giro Frontal Superior	10	26	58	-1	0.019
Prodromides - Mahler											
Giro Frontal Inferior	45	-57	13	18	0.000	Giro Frontal Inferior	47	34	33	-7	0.000
Giro Frontal Inferior	13	-40	29	4	0.000	Giro Frontal Inferior	13	42	27	4	0.001
Insula	13	-34	6	9	0.000	Insula	13	42	9	16	0.002
Insula	13	-30	16	8	0.024	Insula	13	36	14	12	0.004
Giro Frontal Medio	11	-44	42	-11	0.004	Giro Temporal Superior	42	65	-34	18	0.020
Giro Frontal Inferior	47	-40	21	-16	0.006						
Giro Frontal Inferior	45	-50	35	2	0.014						
Giro Temporal Medio	21	-51	3	-10	0.018						
CALMA-ACTIVACIÓN											
Mahler - Bach											
Giro Frontal Inferior	47	-32	27	-11	0.033	Giro Parahipocampal	34	24	5	-15	0.000
Giro Parahipocampal	34	-20	3	-15	0.043	Giro Frontal Inferior	47	30	13	-19	0.000
						Giro Parahipocampal	37	12	-4	-10	0.000
						Giro Frontal Inferior	47	36	32	-18	0.000
						Giro Frontal Superior	10	26	58	-1	0.000
						Giro Frontal Inferior	47	46	26	-15	0.015
Bach - Mahler											
Giro Frontal Inferior	13	-42	29	6	0.006	Giro Frontal Medio	47	34	35	-8	0.000
Giro Frontal Inferior	45	-50	33	6	0.012	Lóbulo Parietal Inferior	40	67	-43	24	0.013
Insula	13	-32	16	10	0.034	Giro Frontal Inferior	45	34	29	6	0.044
Insula	13	-34	6	9	0.038						
Giro Frontal Inferior	45	-57	13	18	0.038						

B A = Área de Brodmann.

$p < 0.05$ no corregido. Radio de las zonas activadas >10 voxels

Coordenadas de Talairach: **X** (-] izquierdo, [+] derecho); **Y** (-] posterior, [+] anterior); **Z** (-] inferior, [+] superior) (Talairach Demon. U. Texas). (Lancaster y col., 2000).

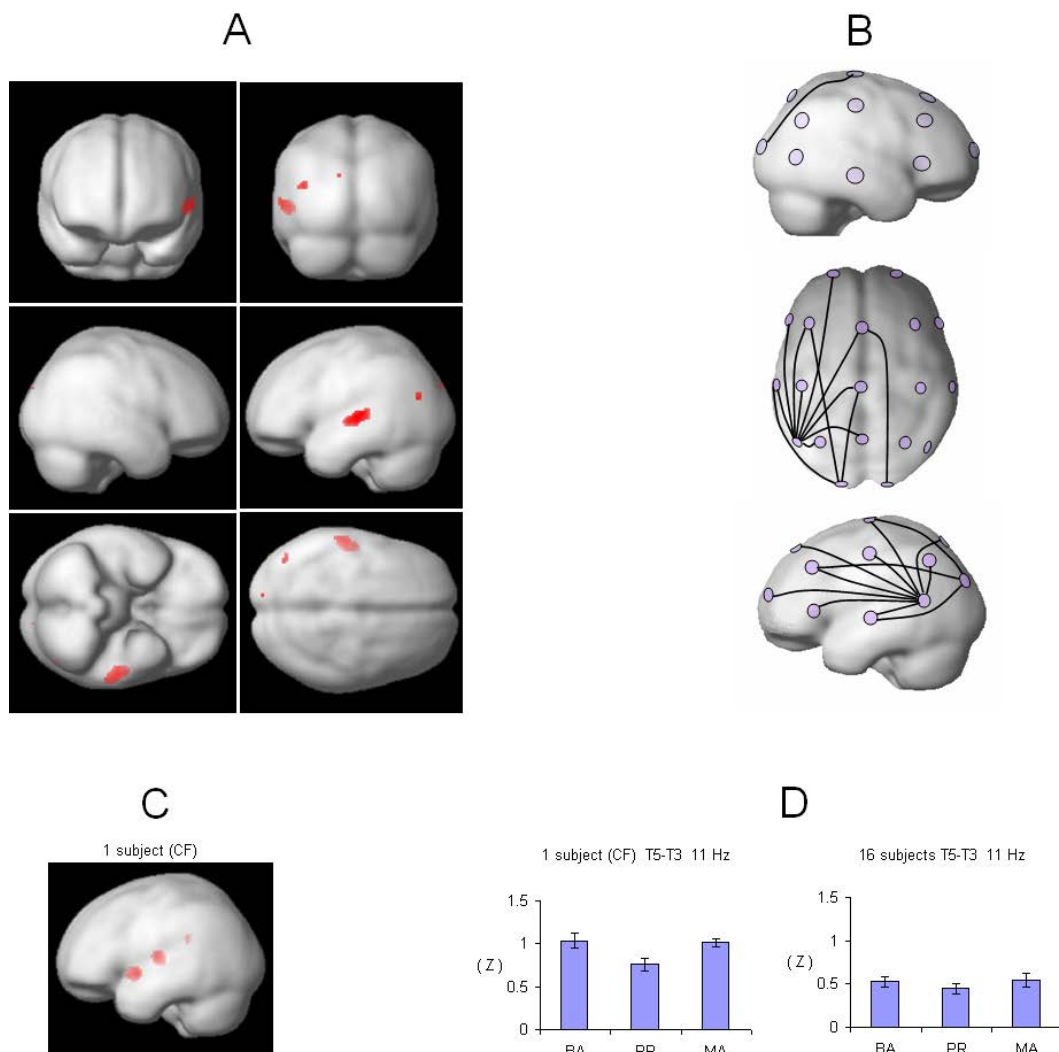


Figura 8. Imágenes durante emociones agradables por la música (*Bach y/o Mahler vs. Prodomidès*) obtenidas por resonancia magnética funcional y actividad coherente del electroencefalograma.- **A**: Promedio de la activación de los seis sujetos durante el estudio por RMf: columna izquierda: vistas anterior, lateral derecha e inferior; columna derecha: vistas posterior, lateral derecha y superior. El color rojo mostrando las áreas en donde la actividad supera el umbral de $p < 0.05$ (corregido), indica los sitios de mayor activación de emociones agradables menos las desagradables generadas durante la escucha de la música (ver Tabla 2 para las coordenadas y áreas anatómicas correspondientes). **B**: Actividad coherente del EEG, las líneas indican los pares de derivaciones que mostraron diferencias significativas entre músicas (ver tabla 3 para las frecuencias correspondientes). La ubicación de los electrodos se ilustra en la superficie del cerebro promedio de Evans (1993) de acuerdo a la localización propuesta por Okamoto (2004). **C**: Imágen por resonancia magnetica en un solo sujeto bajo las condiciones mencionadas, vista lateral izquierda. **D**: Ilustra el promedio de los valores de correlación entre T5 – T3 en la frecuencia de once Hz, de un solo sujeto (histograma izquierdo) y del grupo completo (histograma derecho), durante la presentación de la música de Bach (BA), Prodomidès (PR) y Mahler (MA).

Tabla 3. Actividad coherente evocada por diferentes respuestas emocionales subjetivas a la música.

IZQUIERDO		DERECHO		IZQUIERDO		DERECHO					
Electrodo	Hz	p< 0.003	Electrodo	Hz	p< 0.003	Electrodo	Hz	p< 0.003			
DIFERENCIA AGRADO-DESAGRADO				DIFERENCIA MÚSICA-RUIDO							
<i>Bach y Mahler > Prodomides</i>				<i>Música > Ruido</i>							
O1-Cz	17	0.003		O1-P3	6	0.003	O2-T6	9	0.0006		
T5-F7	13	0.00003		O1-Pz	6	0.0009	O2-Cz	10	0.002		
T5-C3	10	0.001		T3-C3	13	0.0002	O2-Pz	10	0.003		
	13	0.002			15	0.001	O2-T4	9	0.003		
T5-Cz	10	0.0001			5	0.002	T4-Fp2	18	0.002		
	13	0.002		T3-Cz	15	0.002	T4-C4	22	0.003		
T5-Fp1	10	0.0007			13	0.002					
T5-Fz	10	0.0005		T3-Fz	15	0.003					
T5-T3	13	0.0005		T3-P3	14	0.0008					
	11	0.0008		T3-Pz	15	0.001					
				T3-T5	13	0.003					
<i>Bach > Prodomides</i>				<i>Ruido > Música</i>							
O1-T3	11	0.0005	O2-Fz	13	0.001	C3-F7	12	0.0004	Cz-Fz	12	0.0002
O1-F3	19	0.001				C3-F3	12	0.003	F4-P4	5	0.003
T5-C3	11	0.002				C3-Fp1	13	0.003	Fp2-F4	3	0.002
T5-F3	13	0.001				C3-Fz	12	0.003	Fz-Pz	12	0.003
T5-Fz	13	0.0006				F3-O1	25	0.003			
T5-P3	11	0.0009				F7-Pz	12	0.0004			
	10	0.002				Fp1-C3	12	0.0009			
T5-Pz	10	0.0009				Fp1-Pz	12	0.0008			
	11	0.003				Fp1-O1	12	0.003			
							25	0.003			
<i>Prodomides > Bach y Mahler</i>						O1-Fp1	13	0.00007			
Fp1-CZ	21	0.0003	Fp2-Fz	13	0.0001	O1-F3	13	0.0009			
Fp1-Pz	21	0.002	Fp2-Fz	11	0.0007	O1-F7	13	0.0001			
			Fp2.C4	23	0.001	O1-Fz	13	0.002			
						P3-C3	25	0.0006			
<i>Prodomides > Bach</i>						P3-F7	12	0.0006			
Fp1-Fz	18	0.001	F4-Cz	11	0.001	P3-Fp1	12	0.0006			
			Fp2-Cz	11	0.0007		13	0.001			
			Fp2-Cz	10	0.003						
DIFERENCIA ACTIVACIÓN-AGRADO											
<i>Mahler > Bach (excitación)</i>											
Fp1-T3	11	0.0002				P3-F3	25	0.002			
Fp1-T3	15	0.003				P3-Fz	12	0.002			
<i>Bach > Mahler (calma)</i>											
P3-F3	13	0.001									
P3-F7	13	0.003									
P3-Fz	13	0.002									

Pares de electrodos y frecuencias (Hz) mostrando cambios significativos de la actividad coherente entre condiciones de estímulos musicales en ANOVAS ($p < 0.003$) y comparaciones post-hoc (prueba -t de Tukey studentizada).

con emociones positivas que con negativas también entre T5 con P3, Pz en 10 Hz; con C3, CZ, PZ en 11 Hz; y con F3, Fz en 13 Hz. Combinaciones del electrodo O1 tuvieron alta actividad coherente para emociones positivas con Cz en 17 Hz, para Bach en particular con T3 en 11 y 13 Hz, con F3 en 19 Hz y también entre O2 con Fz en 13 Hz.

La Fig 8D ilustra el perfil similar de actividad coherente en el promedio de 16 sujetos (izquierda) y un solo sujeto en la Fig 8C.

RESULTADOS ASOCIADOS CON SENTIMIENTOS DESAGRADABLES POR LA MÚSICA

En contraste con los sentimientos agradables que involucraron principalmente al hemisferio izquierdo, las emociones desagradables por la música mostraron un compromiso bilateral tanto en la IRMf como en el EEG (Tabla 2 y Tabla 3). En la RM la sustracción de la activación por Prodnromidès de la activación por las emociones agradables evocadas por Bach junto con Mahler se mostraron bilateralmente en el giro frontal inferior (BA47) e Ínsula (BA13), también en el hemisferio izquierdo fue activado el giro frontal medial (BA11) y el frontal inferior (BA44) (Fig. 8A y 8C).

Al sustraer las activaciones (Prodnromidès) solo de las activaciones con Bach, se observaron otras adicionales en el giro frontal superior derecho (BA10) y el giro temporal posterior medial izquierdo (BA39). Además la sustracción de Prodnromidès solo de Mahler mostró activación bilateral del giro frontal inferior (BA47) e Ínsula (BA13), también activación derecha del área auditiva (BA42), activación izquierda del giro frontal medial (BA11) y del giro frontal inferior (BA45) extendiéndose hacia BA47 y BA13

En cuanto al EEG, las emociones desagradables inducidas por la música (Prodnromidès comparado con Bach y Mahler) incrementaron la actividad coherente (Fig. 9B y 9D). para combinaciones de los electrodos:

Fp1 con Cz y Pz en frecuencias Beta

Fp2 con Fz en 11 y 13 Hz, y con C4 en 23 Hz

La actividad coherente se incrementó con la audición de Prodnromidès al compararlo solo con Bach, entre:

Fp1 con Fz en Beta

F3 con T3 en 11 Hz

F4 con Cz y Fz en 11 Hz

Fp2 con Cz en 10 y 11 Hz, y con F4 a 8, 11 y 17 Hz.

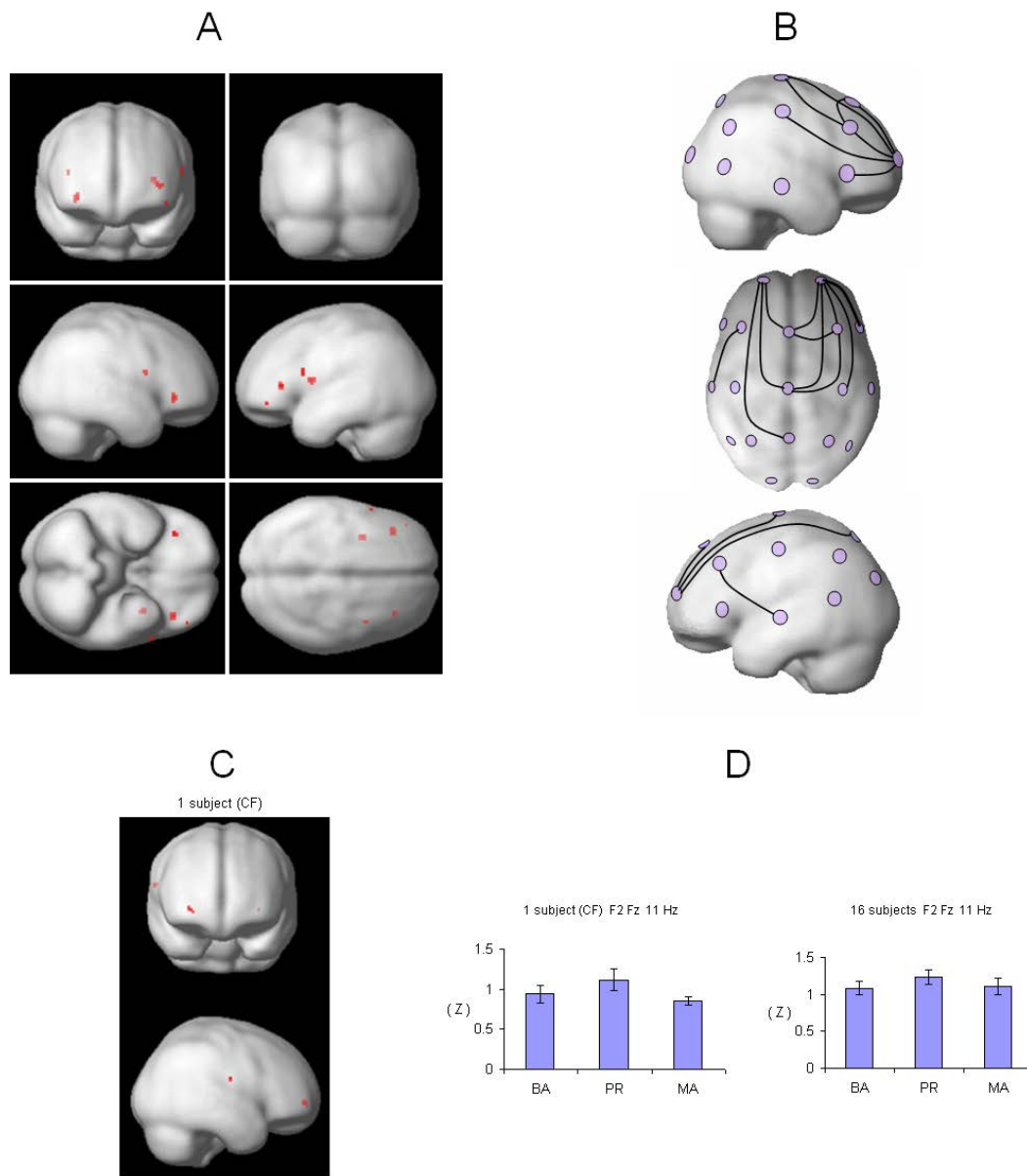


Figura 9. Imágenes durante emociones desagradables por la música (*Prodromidès vs. Bach y/o Mahler*) obtenidas por resonancia magnética funcional y actividad coherente del electroencefalograma.- **A:** Promedio de la activación en sujetos durante la IRMf, mostrando las áreas en donde la actividad supera el umbral de $p < 0.05$ (corregido). El color rojo indica los sitios de mayor activación de emociones desagradables menos las agradables generadas durante la escucha de música (ver Tabla 2 para las coordenadas y áreas anatómicas correspondientes). Columna izquierda de la IRMf: vistas anterior, lateral derecha e inferior. Columna derecha de la IRMf: vistas posterior, lateral izquierda y superior. **B:** Actividad coherente del EEG en la sustracción del registro con música desagradable menos la agradable, las líneas indican relaciones significativamente altas entre electrodos (ver tabla 3 para las frecuencias correspondientes), la ubicación de los electrodos que se ilustra en la superficie del cerebro promedio de Evans (1993) es de acuerdo a la localización propuesta por Okamoto (2004). **C:** Imágen por resonancia magnética de un solo sujeto bajo las condiciones mencionadas, vista frontal y lateral derecha. **D:** Similaridad del perfil de

correlación del EEG en un solo sujeto (izquierda) y en la muestra completa (derecha) durante la presentación de la música de Bach (BA), Prodnromidès (PR) y Mahler (MA).

La actividad coherente también se incrementó con emociones negativas (Prodnromidès) al comparar con positivas solo por Mahler (Tabla 3 y Fig. 8B) entre:

Fp2 con F8 en 24 Hz

La figura 9D ilustra el perfil similar en la actividad coherente en el promedio de 16 sujetos (izquierda) y un solo sujeto (derecha) siendo el mismo que en la figura 9C.

RESULTADOS ASOCIADOS CON EXCITACIÓN O CALMA POR LA MÚSICA

La música de Bach y Mahler indujo diferentes niveles de emoción subjetiva en los adjetivos relacionados con activación de modo que mientras Bach produce en los sujetos sentimientos de calma y quietud, Mahler les produce sentimientos de excitación o alertamiento. Así, la principal diferencia entre estas piezas quizás es debida a la agitación, el ritmo y el tempo combinados en un componente distinto denominado Activación, que en el modelo del sistema de la emoción (Díaz y Flores-Gutierrez 2001) corresponde al eje de las abscisas (Fig. 4). Las emociones reportadas indicaron diferencias entre Bach y Mahler que no pueden ser atribuidas a la valencia hedónica dado que ambas provocaron emociones agradables en la misma medida.

En la IRMf los patrones diferenciales de la activación cerebral obtenida por emociones agradables excitantes inducidas por Mahler menos las emociones agradables relajantes evocadas por Bach, involucran al lóbulo parietal inferior derecho (BA40) y la región parahipocampal, más extensa y anterior del lado derecho (BA 34 y 37). El resto de las regiones activadas fueron también diferencialmente activadas por música y ruido o por las de sentimientos agradables y desagradables (Tabla 2 y Fig. 10A).

En el EEG las emociones agradables relajantes (Bach) indujeron una más alta actividad coherente que ninguna otra pieza entre el electrodo:

P3 con F3, F7 y Fz en 13 Hz.

Emociones agradables pero con activación (Mahler) indujeron una más alta actividad coherente que las emociones agradables relajantes (Bach) entre:

T3 con Fp1 en 11 y 15 Hz.

El resto de las combinaciones fue también significativa entre música y ruido o entre los resultados de sentimientos agradables y desagradables (Tabla 3; Fig. 10B).

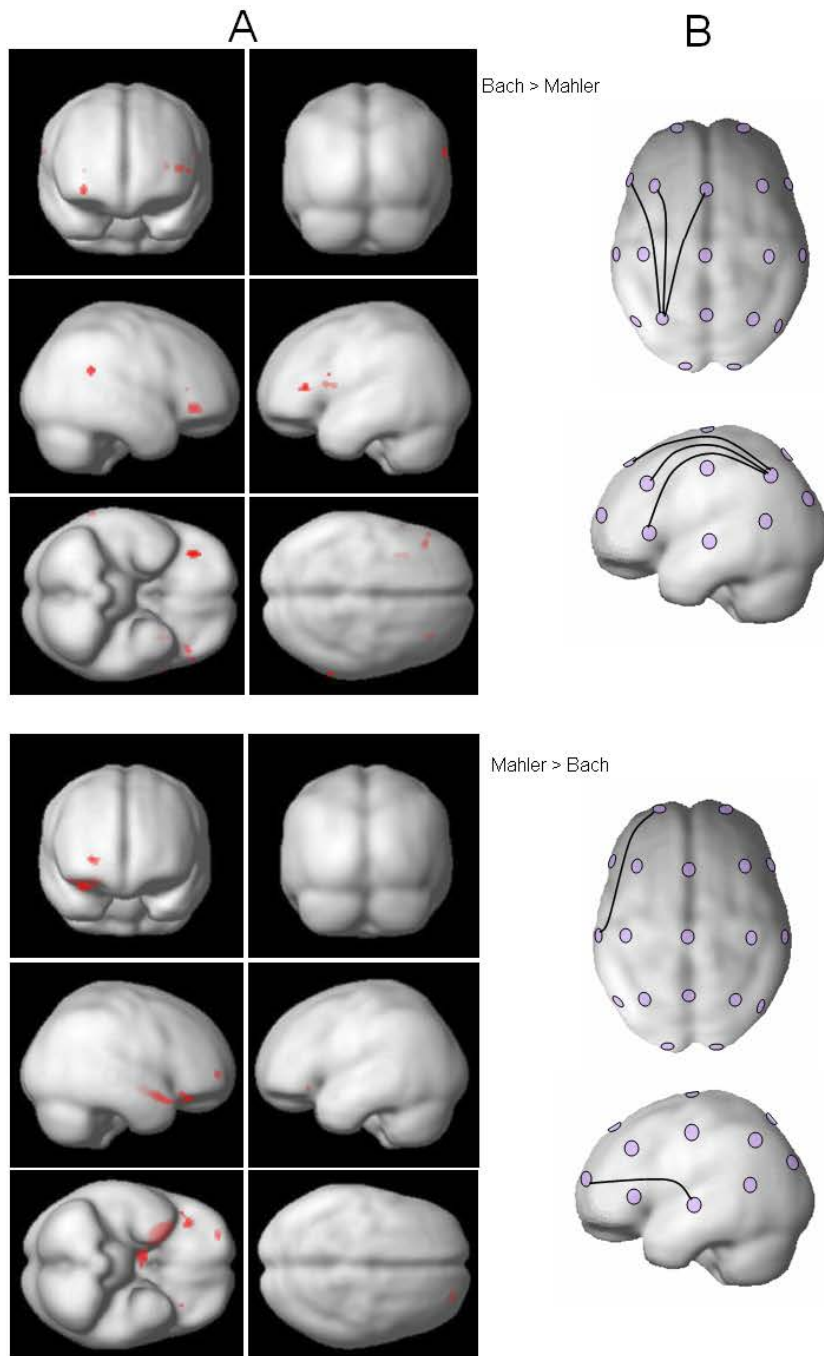


Figure 10. Las imágenes de IRMf y EEG muestran la sustracción entre los resultados para los dos tipos de música calificada como agradable (*Bach; Mahler*). **A:** Muestra las áreas que restan en la sustracción del promedio de las activaciones en la IRMf, donde se sobrepasa el umbral de $p < 0.05$ (corregido). (Parte superior de la Fig.: *Bach-calmness > Mahler-excitement*) y excitación (Parte baja de la Fig.: *Mahler-excitement > Bach-calmness*). Columna izquierda de la IRMf: vistas anterior, lateral derecha e inferior. Columna derecha de la IRMf: vistas posterior, lateral izquierda y superior. Las zonas de color rojo indican los sitios de mayor activación con calma (parte superior: *Bach > Mahler*) y excitado (parte baja: *Mahler > Bach*). (Para las áreas y coordenadas correspondientes ver la Tabla 2). **B:** Sustracción en los resultados del EEG, las líneas conectando los sitios de electrodos indican una actividad

coherente significativamente alta en tranquilo y excitado (Ver la Tabla 3 para las frecuencias correspondientes). La ubicación de los electrodos que se ilustra en la superficie del cerebro promedio de Evans (1993) es de acuerdo a la localización propuesta por Okamoto (2004).

DIFERENCIAS ENTRE LA MÚSICA Y EL RUIDO

Para proporcionar un control de los cambios relacionados con los efectos emocionales durante la audición de cada tipo de música y descartar los fenómenos perceptuales comunes a todas ellas, se hizo el promedio de la actividad cerebral registrada durante las tres piezas y se comparó con el promedio de los tres períodos de ruido (Tabla 2 y Fig. 11). Al evaluar los tres estímulos musicales juntos contra el monótono estímulo del ruido, se neutralizan o cancelan los distintos efectos emocionales específicos de cada pieza y solo prevalecen los aspectos musicales comunes muy generales. La comparación entre música y ruido reveló el amplio procesamiento cognitivo y perceptual musical que es común a las tres piezas pero al mismo tiempo distinto del ruido que es un estímulo auditivo homogéneo y aleatorio.

En la RMf, al sustraer los promedios de la música y el ruido, se reveló activación bilateral ligeramente asimétrica (Tabla 2 y Fig. 11A); las áreas activadas fueron el giro temporal superior en corteza auditiva izquierda y derecha (BA 41 y BA 42 respectivamente) y en corteza auditiva de asociación, sobre el giro temporal derecho en su región postero-inferior (BA22). Además, fueron también activados el polo temporal izquierdo (BA38), el giro frontal inferior izquierdo (BA47), el área frontopolar izquierda (BA9), y el área hipotalámica derecha.

En el EEG el análisis de las tres piezas juntas, a pesar de que por separado tuvieron diferentes efectos en las escalas de agrado y de activación, al ser comparadas contra el promedio del ruido, modificaron la actividad coherente en una forma muy diferente (Tabla 3 y Fig. 11B), ésta fue más alta con música que con el ruido en dos puntos nodales bilaterales (T3 y T4, O1 y O2) y también fue baja entre los electrodos anteriores y posteriores. Esos puntos en general corresponden con áreas que fueron encontradas activadas en la IRMf como la auditiva primaria, prefrontal y Broca.

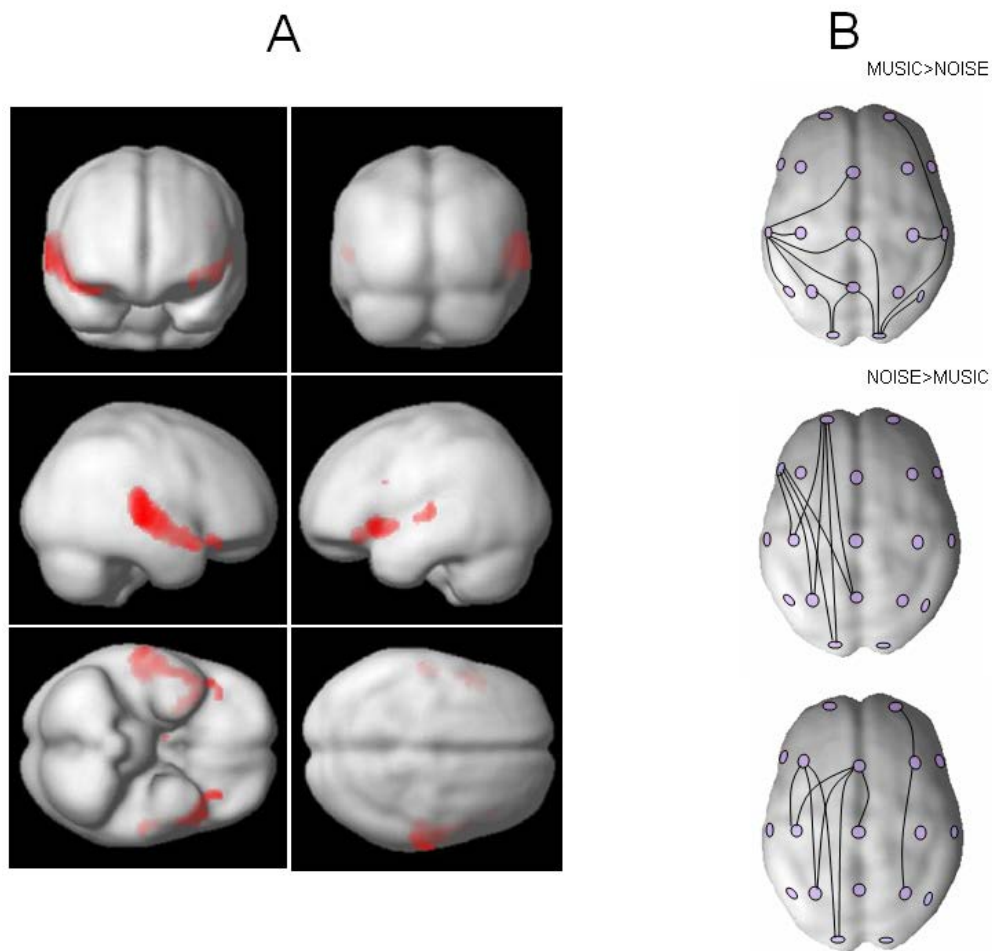


Figura 11. Rasgos prevalecientes en IRMf y actividad coherente del EEG, al comparar todos los estímulos musicales contra el ruido. **A:** Promedio de la activación en los sujetos durante la IRMf, se muestran las áreas en donde la actividad supera el umbral de $p < 0.05$ (corregido). Las zonas de color rojo indican los sitios de activación alta con la música al ser comparada con el ruido (ver tabla 2 para las coordenadas y áreas correspondientes). Columna izquierda: vistas anterior, lateral derecha e inferior. Columna derecha: vistas posterior, lateral izquierda y superior. **B:** Actividad coherente del EEG, las líneas entre los sitios de los electrodos representan diferencias significativas en las diferencias entre el promedio de la música y el ruido (ver Tabla 3 para encontrar las frecuencias correspondientes). La ubicación de los electrodos que se ilustra en la superficie del cerebro promedio de Evans (1993) es de acuerdo a la localización propuesta por Okamoto (2004).

DISCUSIÓN

Es importante subrayar que en este estudio no buscamos investigar el rol que en la emoción tienen algunos elementos musicales particulares por separado como: espectro acústico, notas, intensidad, instrumentos, reglas tonales y otros rasgos expresivos que evocan una activación diferencial compleja de patrones cerebrales (Peretz and Zatorre 2005), y tampoco investigamos ninguna otra fuente de afecto coincidente como pueden ser la memoria, la cultura o la experiencia musical previa, sino más bien, buscamos analizar la emoción resultante de la conjunción de todos esos elementos y fuentes en la experiencia musical íntegra, es decir, investigamos los efectos emocionales globales reportados por los sujetos después de estar aislados, pasivos y atentos escuchando las obras maestras de la música.

El manejo estadístico de la prueba validada de evaluación subjetiva de los sentimientos generados por la música y el ACP, usando múltiples términos de la emoción, agrupó significativamente dos polos emocionales opuestos (agrado; desagrado) y además un perfil de activación. Una vez que se consiguió este objetivo de relacionar sentimientos y estímulos musicales, se procedió a comparar los correlatos cerebrales metabólicos y eléctricos de cada uno de estos tres componentes afectivos significativos. Los resultados justificaron cuatro tipos de análisis de la actividad cerebral:

- 1) Emoción agradable por la música (Mahler y Bach vs. Prodiges),
- 2) Emoción desagradable por la música (Prodromidès vs. Bach y Mahler),
- 3) Activación por la música en términos de excitación o calma (Mahler vs. Bach; Bach vs. Mahler respectivamente) y
- 4) Efectos por la estructura musical en general sin considerar emociones específicas (Bach, Mahler y Prodiges vs. Ruido).

Las aproximaciones por IRMf y el análisis de coherencia del EEG identificaron redes cerebrales diferentes para la valencia afectiva positiva o negativa generada por la música.

Un sistema cortical izquierdo involucrado en sentimientos agradables incluyó las regiones parieto-temporal posterior, occipital y regiones prefrontales mediales. Una

actividad coherente en frecuencias de alfa rápido ocurrió entre la mayoría de los electrodos del hemisferio izquierdo con un foco nodal en las regiones temporo-parietal y occipital indicando un acoplamiento funcional entre algunas de las regiones activadas en la IRMf. La activación del hemisferio izquierdo con sentimientos agradables por la música es consistente con la activación reportada de las áreas frontotemporales izquierdas con sentimientos agradables usando potenciales por corriente directa (DC) (Altenmüller *et al.* 2002), potenciales relacionados a eventos (Koelsch y Mulder 2002a), PET (Blood *et al.* 1999), e IRMf (Herrington *et al.* 2005).

La participación de la corteza frontal medial parece estar involucrada en el procesamiento general de la emoción, dado que está activada tanto por sentimientos de agrado como de desagrado (Kahlfa *et al.* 2005). Si bien el lóbulo parietal izquierdo es activado por el procesamiento rítmico (Sakai *et al.*, 1999; Parsons, 2001) y el fraseo musical (Besson y Schön 2001), ambos sitios, el frontal y el parietal, son importantes para la percepción del tiempo (Harrington *et al.* 1998). Los cambios en la actividad coherente en alfa rápido son compatibles con el rol que se le atribuye en el procesamiento perceptual complejo (Basar *et al.* 2001) y con una posible función de enlace de la actividad alfa (Nunez *et al.* 2001). Es más, una sincronización de oscilaciones neurales entre las áreas de asociación prefrontales y posteriores ha sido reportada como facilitador de la integración de la percepción con la memoria de trabajo (Sarnthein *et al.* 1998) y esto podría ser necesario para la preservación de los rasgos musicales que hacen posible la percepción musical. Los sentimientos agradables por la música también involucraron el hipotálamo derecho. Aunque el sitio de la activación es pequeño y requiere de confirmación adicional, es de interés porque quizás relaciona los efectos de la emoción con el sistema autónomo (Damasio *et al.* 2000; Blood y Zatorre 2001). Dos publicaciones recientes (Blood y Zatorre 2001; Koelsh 2006) han mostrado fuerte activación en el núcleo accumbens cuando los sujetos estuvieron escuchando extractos musicales emocionalmente conmovedores. En nuestro estudio no replicamos estos hallazgos después del contraste de música positiva y negativa. La carencia de activación en el sistema de recompensa probablemente se debió al hecho de que los estímulos no fueron escogidos por sus efectos emocionales intensos en cada sujeto y los sujetos realmente reportaron sentimientos agradables moderados.

La activación de la corteza auditiva primaria izquierda con la emoción agradable considerada solo para discriminar características sensoriales fundamentales, es un hallazgo inesperado que podría ser de grandes consecuencias, porque implicaría que la emoción musical está procesada en una localización más temprana antes de la llegada cortical del estímulo. Aunque como se esperaba los tres estímulos musicales activaron el giro temporal superior en ambos hemisferios, solo la emoción agradable involucró el lado izquierdo y solo la desagradable, al derecho. Dado que no se demandó ninguna tarea específica de los participantes, pareciera que el procesamiento afectivo agradable generado por la música envuelve áreas auditivas en el hemisferio dominante proveyendo a algunos estímulos musicales con una valencia positiva primaria, mientras que la música desagradable involucra áreas auditivas derechas en una atribución inicial de emoción negativa. Este hallazgo es consistente con otros estudios que han encontrado una ventaja del oído derecho (hemisferio izquierdo) para niveles de agrado en melodías tonales y atonales (Gagnon y Peretz 2000). En adición a dicho procesamiento de la percepción emocional primaria, los sentimientos específicos evocados por la música requieren la extracción de un significado involucrando subsecuentes localizaciones corticales. La activación y el acoplamiento funcional entre temporal posterior, parietal inferior y regiones prefrontales, parece ser necesaria para completar esta tarea.

La lateralización izquierda de las emociones agradables quizás está relacionada con asimetrías estructurales y funcionales del lóbulo temporal (Penhune *et al.* 1996), proveyendo un sustrato para el procesamiento temporal y posiblemente para la actividad coherente. La secuenciación temporal es crucial para el procesamiento necesario para la comprensión de las frases en la música o el lenguaje. La superioridad del hemisferio izquierdo ha sido establecida por el análisis y comprensión de la temporalidad de los sonidos (Griffiths *et al.* 1998; Liégeois-Chauvel *et al.* 1999; Ioannides *et al.* 2003), las secuencias auditivas (Binder *et al.* 1996; Besson y Schön 2001), regularidades de intervalos (Samson *et al.* 2001), y secuencias melódicas complejas (Platel *et al.* 1997; Patel y Balaban 2000).

En contraste con los sentimientos agradables evocados por la música, los sentimientos desagradables, involucraron la activación de: región frontopolar derecha, corteza frontal medial izquierda, giro frontal inferior bilateral ligeramente asimétrico, ínsula

y área auditiva derecha (BA42 en Mahler vs Prodnomidès). Las emociones desagradables estuvieron asociadas con un incremento en la actividad coherente entre los electrodos de la región prefrontal y los de la línea media hacia regiones frontales derechas y temporales izquierdas, rompiendo al mismo tiempo la actividad coherente con regiones posteriores en el hemisferio izquierdo.

Al comparar ambas técnicas de investigación cerebral puede ser dicho que mientras la activación IRMf es bilateral pero tendiendo hacia la derecha, la actividad coherente del EEG es de predominio derecho. De este modo, en tanto que la actividad coherente frontal izquierda corresponde con activación metabólica en la misma región. la activación que involucró regiones corticales derechas, tanto en IRMf como en EEG se encontraron solo para emociones desagradables, a saber: corteza orbitofrontal y medial, corteza cíngulo, e ínsula anterior que son constituyentes importantes del sistema paralímbico. La corteza del cíngulo anterior es importante para la atención y para la evaluación de demandas en conflicto, mientras la parte dorsal lo es para requerimientos cognitivos (Bush *et al.* 2000; Allman *et al.* 2001). La fuerte activación de la ínsula en las condiciones emocionales negativas en comparación con las dos emocionalmente positivas está en acuerdo con la ingerencia de esta región en la activación emocional a través del mapeo y regulación de las señales corporales (Baumgartner *et al.*, 2005) esto no es sorprendente dado que en varios estudios los sentimientos por la música han sido relacionados con activación en esta zona (Blood y Zatorre 2001; Brown *et al.* 2004; Koelsch *et al.* 2006). Los hallazgos de la comparación entre las piezas positivas calmadas con las positivas excitantes, también muestran activación en la ínsula, sin embargo, hay que tomar en cuenta que la comparación de estas dos piezas incluye no solo la activación emocional diferencial sino también las muchas diferencias en su estructura musical.

La predominancia de activación del hemisferio izquierdo con sentimientos musicales agradables y la activación derecha con los desagradables, es consistente con los hallazgos que relacionan la activación frontal derecha con sentimientos negativos y la frontal izquierda con afectos positivos (Davidson 1992), aunque existen resultados contradictorios en la lateralización de la valencia, dado que Kahlfa *et al.* (2005) ha reportado activación izquierda de BA9 y BA10 con estímulos tanto alegres como tristes. Nuestro resultado es consistente también con la predominancia hemisférica derecha para

ocuparse de situaciones cognitivas novedosas y del hemisferio izquierdo para estrategias y representaciones predecibles, tales como el lenguaje (Podell *et al.* 2001). Las secuencias musicales activan regiones cerebrales sobrepuestas a las involucradas en el lenguaje (Koelsch *et al.* 2002b; Koelsch *et al.* 2004) y en la evaluación de la música (Besson y Schön 2001; Samson *et al.* 2001). Las partes musicales de Bach y Mahler son obras maestras que siguen reglas de armonía y contrapunto donde la regularidad conduce a un cumplimiento de expectativas. En contraste la pieza por Prokofiev rompe las reglas de la gramática musical clásica, y por esto, probablemente demanda la participación de regiones del hemisferio derecho y regiones límbicas en la búsqueda de significado o comprensión emocional.

La comparación de las tres piezas musicales juntas contra el ruido, mostró que en adición a las áreas bilaterales auditivo-sensoriales, las regiones cerebrales involucradas en la memoria de trabajo, atención y procesamiento de lenguaje fueron reclutadas en respuestas perceptuales no-afectivas. Las diferencias no pueden atribuirse a la atención dado que este componente no mostró diferencias significativas entre los estímulos, ni a la familiaridad con las piezas musicales pues los sujetos contestaron que no las conocían. Usando estímulos musicales, varios autores han reportado la activación de áreas comprometidas en el procesamiento sintáctico y semántico del lenguaje (Samson *et al.* 2001; Besson y Schön 2001; Koelsch *et al.* 2002b), en la memoria de trabajo (Zatorre *et al.* 1994), en la integración perceptual y en la búsqueda de significado (Patterson *et al.* 2002; Janata *et al.* 2002; Platel *et al.* 2003). Estos resultados sostienen la noción de que la música es un estímulo altamente complejo y precisamente organizado y requiere la concurrencia de variadas funciones cognitivas y de lenguaje. Dicha consonancia requiere la reunión de diferentes módulos cerebrales y de sistemas involucrados en distintas tareas cognitivas (Mesulam 1998; Michel *et al.* 2001; Newman 1997). El procesamiento de la música relaciona numerosas áreas, incluyendo varias regiones relacionadas con la extracción de significado del lenguaje. Las semejanzas entre la música y el lenguaje han justificado la noción de la semántica musical (Meyer 1956; Brown 2001), Damasio (1989) y Mesulam (1998) también usan el término semántica para referirse al estado final por el que el significado es atribuido a un estímulo de cualquier modalidad.

La elección de dos piezas agradables con diferente estructura (Bach y Mahler) pero solo una pieza desagradable (Prodromidès) deja el factor de los rasgos musicales algo fuera de balance e impide una clara interpretación concerniente al rol de la estructura y la dinámica musical en el dominio de la activación. No obstante, el propósito principal de analizar la valencia positiva o negativa de la emoción por la música se logró, dado que las tres piezas diferían ampliamente en la estructura musical y dado que las regiones cerebrales activadas divergieron entre emociones positivas y negativas. Además, la comparación de emociones generadas por música agradable y desagradable y con el ruido neutro de similar intensidad sostiene la relevancia de esta aproximación experimental, particularmente dado que no hay una verdadera música emocionalmente neutra para ser usada como un control confiable.

Composiciones musicales como Bach y Mahler altamente diferentes en todos los elementos musicales pero que evocan un efecto agradable similar, es un control terminante de las características musicales que intervienen en este estudio. Proponemos que el control de las variables musicales como son rasgos estructurales, secuencias expresivas y normas culturales, fue proveído por la comparación de las muestras musicales que en diferentes combinaciones están compartiendo efectos emocionales pero difiriendo en rasgos musicales. La estrategia de usar piezas obviamente diferentes en melodía, ritmo, armonía, intensidad, espectro o instrumentos usados, pero evocando efectos emocionales similares (Bach y Mahler; Mahler y Prodromidès) constituye un riguroso control de estas variables musicales fundamentales. Además, dado que ninguna de estas piezas es comúnmente ejecutada en el medio popular y nuestros sujetos declararon que ellos no las conocían, la estrategia también provee un fuerte control de los efectos de la cultura y el aprendizaje.

La instrucción de permanecer concentrados y las respuestas en las escalas de atención permiten asumir que los sujetos estuvieron prestando atención a la música. Como ya hemos mencionado, aparte de esta tarea los sujetos no tuvieron otra demanda y no hubo ningún otro estímulo inquietante o sorpresivo que los distrajera. En el estudio con IRMf el sonido de fondo característico del escáner, fue el mismo para todas las condiciones. El nivel de atención reportado en los cuestionarios fue similar en las tres piezas y el grado de emoción sentida en respuesta a cada uno es también una indicación indirecta de atención. Aunque el tamaño de la muestra para IRMf ($n=6$) pudiera ser considerada pequeña, el alto

nivel de significancia requerida en el análisis del promedio y los resultados comunes del grupo abaten posibles efectos idiosincrásicos o individuales.

CONCLUSIÓN

Mientras en algunos datos la IRMf parecen no corresponder con los datos de coherencia del EEG, hay otras instancias donde hay correspondencia entre las respectivas áreas de activación. Aunque una correspondencia completa entre los dos grupos de resultados con ambas técnicas no es de esperarse, debido a los diferentes procesos y factores que se miden, es de interés asignar especial relevancia a las áreas donde la coincidencia eléctrica y metabólica ocurre porque, las regiones activas metabólicamente que en adición muestran coherencia eléctrica estarían sugiriendo una posible sincronización funcional.

La probada validez y confiabilidad de las escalas visual-análogas para medir los estados emocionales (Ahearn, 1997; Steiner y Streiner, 2005) y la validación previa en una población similar usando los mismos estímulos musicales (Ramos et al., 1996; Flores-Gutiérrez, 2001) provee un razonable grado de confiabilidad a estos resultados. Sin embargo, no es posible en este nivel de la investigación generalizar los presentes correlatos de la emoción a todo tipo de música aunque las tres piezas que se utilizaron fueron estrictamente probadas para evocar los efectos emocionales deseados. Además, los correlatos cerebrales de los sentimientos agradables y desagradables por estas piezas particulares sugieren que los sentimientos positivos y negativos generados por otras piezas musicales quizás muestren patrones similares de activación. Así, los resultados del presente experimento revelan distintos patrones cerebrales para el procesamiento perceptual de la música para los sentimientos específicos de agrado y desagrado y para sentimientos activadores generados por música.

Regiones cerebrales involucradas en memoria de trabajo, atención, y procesamiento del lenguaje fueron reclutadas en respuestas perceptuales afectivas y no afectivas a las obras maestras de la música. Las áreas auditivas primarias no solo fueron involucradas en el procesamiento afectivo de la música sino específicamente el área izquierda en sentimientos agradables y ambos en el procesamiento general de la música como fue revelado por la comparación entre toda la música junta contra el ruido. Estos hallazgos sugieren que las áreas auditivas primarias quizás están envueltas en un temprano reconocimiento emocional o afectivo como parte del procesamiento cognitivo musical.

Los sentimientos agradables evocados por la música involucran un subsiguiente procesamiento cortical izquierdo en áreas relacionadas con memoria de trabajo, atención, cognición y tareas de lenguaje que quizás contribuyen a las emociones cuando la secuencia melódica propone construcciones sonoras atractivas en observancia con reglas armónicas esperadas. Por el contrario, si la pieza musical rompe esas reglas esto recluta a la corteza prefrontal bilateral con predominancia derecha y estructuras paralímbicas, posiblemente en la búsqueda del significado musical, esto podría ser percibido por el individuo expuesto a dicho estímulo, como molesto o desagradable.

Las emociones por la música, positivas o negativas parecen causar un intrincado arreglo de la actividad oscilatoria sincrónica entre diferentes regiones cerebrales sugiriendo una compleja interrelación entre ellas. Las emociones agradables por la música están sostenidas por un acoplamiento funcional en la banda alfa rápida entre las regiones anteriores y posteriores que facilitarían la interacción de la percepción y la emoción. Es más, la sincronización de las oscilaciones neuronales entre áreas frontales y posteriores de asociación, facilitarían la integración de la percepción y de la memoria de trabajo que son necesarias para la preservación de los factores musicales y que finalmente hacen posible una percepción musical completa.

REFERENCIAS

- Ahearn, E.P. 1997. The use of visual analog scales in mood disorder: a critical review. *Journal of Psychiatric Research*, 31, 569-579.
- Allman, J.M., Hakeem, A., Erwin, J.M., Nimchinsky, E., Hof, P., 2001. The anterior cingulate cortex: the evolution of an interface between emotion and cognition. *Ann N Y Acad Sci*, 935, 107-117.
- Altenmüller, E.O., Shurman, K., Lim, V.K., Parlitz, D., 2002. Hits to the left, flops to the right: different emotions during listening to music are reflected in cortical lateralization patterns. *Neuropsychologia*, 40, 2242-2256.
- Balkwill, L., Thompson, W.F., 1999. A cross-cultural investigation of the perception of emotion in music: psychophysical and cultural cues. *Music Perception*, 17, 43-64.
- Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S., Schürmann, M., 2001. Gamma, alpha, delta and theta oscillations govern cognitive processes. *Int J Psychophysiol*, 39, 241-248.
- Baumgartner, T., Lutz, K., Schmidt, C. F., Jäncke L., 2005. The emotional power of music: How music enhances the feeling of affective pictures. *Brain Res*, 12, 151-164.
- Besson, M., Schön, D., 2001. Comparison between language and music. *Ann N Y Acad Sci*, 930, 232-258.
- Bhattacharya, J., Petsche, H., Pereda, E., 2001. Long-range synchrony in the gamma band: role in music perception. *J Neurosci*, 21, 6329-6337.
- Binder, J.R., Frost, J.A., Hammeke, T.A., Rao, S.M., Cox, R.W., 1996. Function of the left planum temporale in auditory and linguistic processing. *Brain*, 119, 1239-1247.
- Blood, A. J., Zatorre, R. J., Bermudez, P. & Evans, A. C. 1999. Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions. *Nature Neuroscience*, 2: 382-387.
- Blood, A.J., Zatorre, R.J., 2001. Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 98, 11818- 11823.
- Brown, S., 2001. Are Music and Language Homologues? *Ann N Y Acad Sci*, 930, 372-374.

- Brown, S., Martínez, M.J., Parsons, L.M., (2004). Passive music listening spontaneously engages limbic and paralimbic systems. *Neuroreport*, 15, 2033-2037.
- Bush, G., Luu, P., Posner, M.I., 2000. Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends Cogn Sci*, 4, 215-222.
- Clore, G.L., Ortony, A. (1988). The semantics of affective lexicon. In: *Cognitive perspectives on emotion and motivation*. V. Hamilton, G.H. Bower, N.H. Fridja (Eds) London, Nato ASI Series, Kluwer Academic Publications.
- Corsi-Cabrera, M., Guevara M. A., del Río-Portilla, Y., Arce, C., Villanueva-Hernández, Y., (2000). EEG bands during wakefulness, slow-wave and paradoxical sleep as a result of principal component analysis in man. *Sleep*, 23, 738-744.
- Damasio, A.R., 1989. Time-locked multiregional retroactivation: a systems-level proposal for the neural substrates of recall and cognition. *Cognition*, 33, 25-62.
- Damasio, A.R., Grabowski, T.J., Bechara, A., Damasio, H., Ponto, L.L.B., Parvizi, J., Hichwa, R.D., 2000. Subcortical and cortical brain activity during the feeling of self-generated emotions. *Nat Neurosci*, 3, 1049-1056.
- Davidson, R.J., 1992. Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion. *Brain Cogn*, 20, 125-151.
- Díaz, J.L., Flores, E., 2001. La estructura de la emoción humana: un modelo cromático del sistema afectivo. *Salud Mental*, 24(4), 20-35.
- Evans, A.C., Collins, D.L., Mills, S.R., Brown, E.D., Kelly, R.L., Peters, T.M., 1993. 3D statistical neuroanatomical models from 305 MRI volumes. *Proceedings of IEEE-Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference*, 1813-1817.
- Feldman L. and Russell J. A. (1998). Independence and Bipolarity in the Structure of Current Affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74 (4) 967-984.
- Flores-Gutiérrez, E. O., Díaz, J.L., Barrios, F.A., Favila-Humara, R., Guevara, M.A., del Río-Portilla, Y., & Corsi-Cabrera, M. (2007) Metabolic and electric brain patterns during pleasant and unpleasant emotions induced by music masterpieces. *International Journal of Psychophysiology*, doi10.1016/j.ijpsycho.2007.03.04.

- Flores-Gutiérrez, E.O., 2001. La respuesta emocional a la música: atribución de términos de la emoción a segmentos musicales. Thesis for Master in Neurobiology. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Friston, K.J., Holmes, A.P., Poline, J.B., Grasby, P.J., Williams, S.C., Frackowiak, R.S., Turner R., 1995. Analysis of fMRI time-series revisited. *Neuroimage*, 2, 45-53.
- Friston, K.J., Tononi, G., Reeke, G.N.Jr., Sporns, O., Edelman, G.M., 1994. Value-dependent selection in the brain: simulation in a synthetic neural model. *Neuroscience*, 59, 229-43.
- Gagnon, L., Peretz, I., 2000. Laterality effects in processing tonal and atonal melodies with affective and nonaffective task instructions. *Brain Cogn*, 43, 206-210.
- Griffiths, T.D., Büchel, C., Frackowiak, R.S.J., Patterson, R.D., 1998. Análisis of temporal structure in sound by the brain. *Nat Neurosci*, 1, 422-427.
- Guevara, M.A., Ramos, J., Hernandez-González, Zarabozo, D., Corsi-Cabrera, M., 2003. POTENCOR: a program to calculate power and correlation spectra of EEG signals. *Comput Methods Programs Biomed*, 72, 241-250.
- Guilford, J.P., Fruchter, B., 1978. *Fundamental statistics in psychology and education*. México: McGrawHill.
- Halpern, A.R., Zatorre, R.J., Bouffard, M., Johnson, A., 2004. Behavioral and neural correlates of perceived and imagined musical timbre. *Neuropsychologia*, 42(9), 1281-1292.
- Harrington, D.L., Haaland, K.Y., Knight, R.T., 1998. Cortical networks underlying mechanisms of time perception. *J Neurosci*, 18, 1085-1095.
- Herrington, J.D., Mohanty, A., Koven, N.S., Fisher, J.E., Stewart, J.L., Banich, M.T., Webb, A.G., Miller, G.A., Heller, W., 2005. Emotion-modulated performance and activity in left dorsolateral prefrontal cortex. *Emotion*, 5(2), 200-7.
- Hevner, K., 1936. Experimental studies of the elements of expression in music. *Am J Psychol*, 48, 246-268.
- Huron, D., 2001. Is music an evolutionary adaptation? *Ann N Y Acad Sci*, 930, 43-61.
- Ioannides, A.A., Popescu, M., Otsuka, A., Bezerianos, A., Liu, L., 2003. Magnetoencephalographic evidence of the interhemispheric asymmetry in echoic

- memory lifetime and its dependence on handedness and gender. *Neuroimage*, 19, 1061-1075.
- Janata, P., Birk, J.L., vHorn, J.D., Leman, M., Tillman, B., Bharucha, J.J., 2002. The cortical topography of tonal structures underlying western music. *Science*, 298, 2167-2170.
- Jolliffe, L.T., 1986. *Principal Component Analysis*. New York: Springer-Verlag.
- Khalifa, S., Schon, D., Anton, J.L., Liegeois-Chauvel, C., 2005. Brain regions involved in the recognition of happiness and sadness in music. *Neuroreport*, 16, 1981-1984.
- Klimesch, W., 1999. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Res Rev* 29, 169-195.
- Koelsch, S., Fritz, T., v Cramon, D.Y., Muller, K., Friederici, A.D., 2006. Investigating emotion with music: An fMRI study. *Human Brain Mapping*, 27, 239-250.
- Koelsch, S., Kasper, E., Gunter, T. C., Sammler, D., Schulze, K., Friederici, A. D. 2004. Music, language, and meaning: Brain signatures of semantic processing. *Nat Neurosci* 7: 302-307
- Koelsch, S., Mulder, J., 2002a. Electric brain responses to inappropriate harmonies during listening to expressive music. *Clin Neurophysiol*, 113, 862–869
- Koelsch, S., Gunter, T.C., Cramon, D., Zysset, S., Lohmann, G., Friederici, A.D., 2002b. Bach speaks: a critical cortical “language-network” serves the processing of music. *Neuroimage*, 17, 956-966.
- Krumhansl, C.L., 2003. Dissecting the perceptual components of music. *Ann N Y Acad Sci*, 999, 103-105.
- Lancaster, J.L., Woldorff, M.G., Parsons, L.M., Liotti, M., Freitas, C.S., Rainey, L., Kochunov, P.V., Nickerson, D., Mikiten, S.A., Fox, P.T., 2000. Automated Talairach Atlas labels for functional brain mapping. *Hum Brain Mapp*, 10, 120-131.
- Lehtelä L, Salmelin R, Hari R. Evidence for reactive magnetic 10 Hz rhythm in the human auditory cortex. *Neurosci Lett* 1997; 222: 111-114.
- Liégeois-Chauvel, C., De Graaf, J.B., Laguitton, V., Chauvel, P., 1999. Specialization of left auditory cortex for speech perception in man depends on temporal coding. *Cereb Cortex*, 9, 484-496.

- Merica, H., Fortune, R.D., 2005. Spectral power time-courses of human sleep reveal a striking discontinuity at 18 Hz parking the division between NREM-specific and Wake/REMSpecific fast frequency activity. *Cerebral Cortex*, 15, 877-884.
- Mesulam, M.M., 1998. From sensation to cognition. *Brain*, 121, 2-52.
- Meyer, L., 1956. *Emotion and Meaning in Music*. Chicago, Ill: The University of Chicago Press.
- Michel, C.M., Thut, G., Morand, S., Khateb, A., Pegna, A. J., Grave de Peralta, R., Gonzalez, S., Seeck, M., Landis, T., 2001. Electric source imaging of human brain functions. *Brain Res Brain Res Rev*, 36, 108-118.
- Mullholland, T.B., 1995. Human EEG, behavioral stillness and biofeedback. *Int J Psychophysiol*, 19, 263-279.
- Newman, J., 1997. Putting the puzzle together, Part I: Towards a general theory of the neural correlates of consciousness. *Journal of Conscious Study*, 4, 47-66.
- Nunez, P.L., Wingeier, B.M., Silberstein, R.B., 2001. Spatial-temporal structures of human alpha rhythms: theory, microcurrent sources, multiscale measurements and global binding of local networks. *Hum Brain Mapp*, 13, 125-164.
- Ogata, S., 1995. Human EEG responses to classical music and simulated white noise: effects of a musical loudness component on consciousness. *Percept Mot Skills*, 80, 79-90.
- Okamoto, M., Dan, H., Sakamoto, K., Tadeo, K., Shimizu, K., Cono, S., Oda, I., Isobe, S., Suzuki, T., Johyama, K., Dan, I., 2004. Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10-20 system oriented for transcranial functional brain mapping. *Neuroimage*, 21, 99-111.
- Parsons, L.W., 2001. Exploring the functional neuroanatomy of music performance, perception, and comprehension. *Ann N Y Acad Sci*, 930, 211-230.
- Patel, A.D., Balaban, E., 2000. Temporal patterns of human cortical activity reflect tone sequence structure. *Nature*, 404, 80-84.
- Patterson, R.D., Uppenkamp, S., Johnsrude, I.S., Griffiths, T., 2002. The processing of temporal pitch and melody information in auditory cortex. *Neuron*, 36, 767-776.

- Penhune, V.B., Zatorre, R.J., MacDonald, J.D., Evans, A.C., 1996. Interhemispheric anatomical differences in human primary auditory cortex: probabilistic mapping and volume measurement from magnetic resonance scans. *Cereb Cortex*, 6, 661-672.
- Peretz I, Gagnon L, Bouchard B. (1998). Music and emotion: perceptual determinants, immediacy, and isolation after brain damage. *Cognition*, 68, 111–141.
- Peretz, I. and Zatorre, R., 2005. Brain Organization for Music Processing. *Annu Rev Psychol*, 56, 89- 114.
- Perez-Garci E, del-Rio-Portilla Y, Guevara MA, Arce C, Corsi-Cabrera M. 2001. Paradoxical sleep is characterized by uncoupled gamma activity between frontal and perceptual cortical regions. *Sleep*. 2001 Feb 1;24(1):118-26.
- Petsche H, Pockberger H, Rappelsberger P. (1985). [Music perception, EEG and musical training]. *EEG EMG Z Elektroenzephalogr Elektromyogr Verwandte Geb*, 16(4), 183-90.
- Petsche, H., Etlinger, S.C., 1998. EEG and thinking: power and coherence analysis of cognitive processes. Vienna: Austrian Academy of Sciences, pp. 81-126.
- Platel, H., Baron, J.C., Desgranges, B., Bernard, F., Eustache, F., 2003. Semantic and episodic memory of music are subserved by distinct neural networks. *Neuroimage*, 20, 244-256.
- Platel, H., Price, C., Wise, J.C., Lambert, R., Frackowiak, R., Lechevalier, B., Eustache, F., 1997. The structural components of music perception. *Brain*, 120, 229-243.
- Podell, K., Lovell, M., Goldberg, E., 2001. Lateralization of frontal lobe functions. In: S.P. Salloway, P.F. Malloy, J.D. Duffy, (Eds.). *The frontal lobes and neuropsychiatric illness*. London: American Psychiatric Publishing, pp. 83-99.
- Ramos, J., Corsi-Cabrera, M., 1989. Does brain electrical activity react to music? *Int J Neurosci*, 47, 351-357.
- Ramos, J., Guevara, M. A., Martínez, A., Arce, C., Del Rio, Y., Amezcua, C. & Corsi-Cabrera, M. (1996). Evaluación de los estados afectivos provocados por la música. *Revista Mexicana de Psicología* 13:131-145.
- Rosenberg JR, Amjad AM, Breeze P, Brillinger DR, Halliday DM. The Fourier approach to the identification of functional coupling between neuronal spike trains. *Prog Biophys Mol Biol* 1989; 53: 1-31.

- Sakai, K., Hikosaka, O., Miyauchi, S., Ryouyuke, T., Tamada, T., Iwata, K.N., Nielsen, M., 1999. Neural representation of a rhythm depends on its interval ratio. *J Neurosci*, 19, 10074- 10081.
- Samson, S., Ehrlé, N., Baulac, M., 2001. Cerebral substrates for musical temporal processing. *Ann N Y Acad Sci*, 930, 166-178.
- Sarnthein, J., Petsche, H., Rappelsberger, P., Shaw, G.L., von Stein, A., 1998. Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 95, 7092-7096.
- Shaw, J. C. (1984). Correlation and coherence analysis of the EEG: a selective tutorial review. *Int J Psychophysiol*. 1(3):255-66.
- Singer, W. (1999). Neuronal synchrony: a versatile code for the definition of relations? *Neuron*, 24, 49-65.
- Solis-Ortiz, S., J. Arce, C., Guevara, M. A., Corsi-Cabrera, M. (1994). EEG oscillations during menstrual cycle. *Int J Neurosci* 76 (3-4) 279-92
- Steiner, M., Streiner, D.L. (2005). Validation of a revised visual analog scale for premenstrual mood symptoms: results from prospective and retrospective trials. *Canadian Journal of Psychiatry* 50 327-332.
- Steriade M. 1997. Synchronized activities of coupled oscillators in the cerebral cortex and thalamus at different levels of vigilance. *Cereb Cortex*. Sep;7(6):583-604. Erratum in: *Cereb Cortex* 1997 Dec;7(8):779.
- Thayer, R.E., Newman, J.R., McLain, T.M., 1994. The self regulation of mood: strategies for changing a bad mood, raising energy and reducing tension. *J Pers Soc Psychol*, 67: 910-925.
- Wieser, H.G., Mazzola, G., 1986. Musical consonances and dissonances: Are they distinguished independently by the right and left hippocampi? *Neuropsychologia*, 24, 805-812.
- Zatorre, R., Evans, A., Meyer, E., 1994. Neural mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch. *J Neurosci*, 14, 1908-1919.
- Zatorre, R.J., 2001. Neural specializations for tonal processing. *Ann N Y Acad Sci*, 930, 193-210.