



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

**“El efecto del contexto musical sobre el mecanismo de
detección automática de la disparidad auditiva”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN PSICOLOGÍA**

PRESENTA:

**ESTEBAN SEBASTIAN LELO DE LARREA
MANCERA**

**DIRECTOR: LIC. RODOLFO SOLIS VIVANCO
REVISORA: LIC. MAURA JAZMÍN RAMÍREZ FLORES
SINODALES: DRA. MARÍA DOLORES RODRÍGUEZ ORTIZ
MTRA. MARÍA CONCEPCIÓN MORÁN MARTÍNEZ
MTRA. IRMA ZALDIVAR MARTÍNEZ
TUTORA EXERNA: DRA. YANETH RODRÍGUEZ AGUDELO**

**ESTA TESIS SE REALIZÓ CON LA AYUDA DEL
DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA EXPERIMENTAL Y GRUPOS
DE APOYO, DEL INSTITUTO NACIONAL DE NEUROLOGÍA Y
NEUROCIRUJÍA “MVS”.**



MÉXICO, D. F.

FEBRERO, 2010



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.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi papá y a mi mamá por rodearme de cariño siempre, criarme, educarme, formarme, alimentarme, enseñarme los valores que ahora me rigen, protegerme, aguantarme, etc... Ya que sin eso seguro ni acababa la carrera.

A mi hermana que quiero mucho y que aunque en esta etapa de nuestros caminos ha habido ciertas fricciones, el camino próximo se ve super suave.

A Tita que aparte de todo el cariño característico de las abuelas, ha sido mi sabia consejera y guía.

A mi novia preciosa Mariana, que estuvo conmigo no sólo durante TODA la tesis, sino en todo momento de los últimos dos años de mi vida, te amo muchísimo "I feel like music sounds better with you."

A Claudia y a Carlos por las revisiones y consultas de la tesis y otros temas, pero más que nada por la gran porción de apoyo, cariño, comida y confianza que me han dado, a pesar de que les quiero robar a su chiquita.

A mis amigos del laboratorio del INNN. En específico al buen Rodo, quién fue mi tutor y maestro, no sólo en rollos psicológicos sino en todo tipo de trivialidades y cosas importantes. A Yaneth, quién siempre fue muy linda y tolerante conmigo, a pesar de mis informalidades. A Mireya, Frank, Rubén, Ale, Julia, Marisol, Sara, Liz...NOT, Ivonne y Jessica.

A Sebas, el señor ingeniero en audio de gran nombre que me ayudó enormemente para generar los estímulos utilizados en el experimento.

Agradezco a todos mis amigos. Principalmente a Elisa y a Almasi que si que me echaron la mano durante la carrera, al grado de que seguro me hubiera tardado al menos 3 semestres más en acabar. También principalmente, a Gabo y a Diego, mis compañeros creativos, a Fabu, a Luisi, a Sam, a Chench, a Andreita, a Carlos, a Pamela, a Mafi y a Richi, por tantas conversaciones y experiencias tan valiosas y enriquecedoras para mi vida. A todos mis amigos que no estoy mencionando específicamente, los quiero.

A los participantes de mi experimento (ratas de laboratorio), entre los que están la mayoría de mis amigos mencionados anteriormente (menos Rich) y a otras personas que aunque conozco poco, me echaron la mano y fueron de gran ayuda.

A mis maestros, compañeros de clases y a toda la gente con la que llegué a interactuar a lo largo de la carrera.

Gracias.

CONTENIDO

RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
1. Música	6
<i>Definición y propiedades</i>	6
<i>Atributos principales del sonido</i>	7
<i>Dimensiones básicas de organización musical</i>	8
2. Orígenes de la música	10
<i>Evolución y música</i>	10
<i>Ontogenia y Música</i>	15
3. Neuroanatomía funcional y música	19
<i>Estudios neuropsicológicos</i>	19
<i>Estudios neurocognitivos</i>	22
4. Potenciales relacionados con eventos (PRE)	28
<i>Obtención de los PRE</i>	28
<i>Definición de componente y su medición</i>	30
<i>Ventajas y limitaciones</i>	32
5. PRE auditivos y detección de disparidad	34
<i>Disparidad auditiva</i>	37
<i>Música y disparidad auditiva</i>	41
MÉTODO	45
Justificación	45
Planteamiento del problema	46

Objetivos.....	46
<i>Objetivo general.....</i>	<i>46</i>
<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>47</i>
Hipótesis.....	47
Definición de variables.....	48
<i>Variables independientes.....</i>	<i>48</i>
<i>Variables dependientes.....</i>	<i>49</i>
Participantes.....	50
Instrumentos.....	50
<i>Condiciones experimentales y estímulos.....</i>	<i>50</i>
<i>PRE.....</i>	<i>53</i>
Tipo de diseño.....	55
Procedimiento.....	55
Análisis estadístico.....	55
RESULTADOS.....	57
Características sociodemográficas.....	57
Componentes electrofisiológicos.....	57
Latencias.....	58
Amplitudes medias y distribución topográfica.....	60
DISCUSIÓN.....	65
REFERENCIAS.....	73

RESUMEN

Introducción. La música, un fenómeno difícil de definir debido a su variabilidad y subjetividad, puede, sin embargo, investigarse rigurosamente. En las últimas décadas, la neurociencia cognitiva de la música ha avanzado gracias a diferentes herramientas de investigación psicofisiológica, como los potenciales relacionados con eventos (PRE). Éstos permiten la investigación de etapas tempranas y automáticas de la percepción musical, a través de mecanismos cognitivos como el de detección de disparidad auditiva de primer y segundo orden, representados por las ondas N1 y MMN, respectivamente. Estas ondas surgen de la detección de un estímulo dispar o cambio acústico respecto a un contexto auditivo previo. No existen trabajos que comparen los efectos contextuales de las dos dimensiones básicas de organización musical (tono y ritmo), por separado o juntas, sobre la N1 y MMN. **Objetivo.** Analizar el efecto del contexto musical sobre la detección automática de disparidad auditiva, por medio de PRE. **Método.** La muestra estuvo conformada por 18 estudiantes universitarios (8 hombres) de entre 20 y 26 años, sometidos a cuatro condiciones auditivas experimentales mientras se llevaba a cabo un EEG continuo con 19 derivaciones. Cada condición consistió en la repetición constante de una secuencia de notas idénticas (condición no musical), con variación tonal (condición tono), rítmica (condición ritmo) o ambas (condición musical). Todas las condiciones incluyeron omisiones pseudoaleatorias de la tercera o sexta nota, a partir de las cuales se obtuvieron las ondas N1 y MMN. **Resultados.** La N1 mostró cambios en la amplitud asociados con las condiciones experimentales ($F=5.9$, $p<0.0001$). La MMN mostró cambios en latencia ($F=7.1$, $p<0.0001$), amplitud ($F=4.1$, $p<0.001$) y distribución topográfica ($F=3.4$, $p<0.01$) asociados con la condición experimental. En todas las condiciones se observó la onda P3a, que no mostró cambios en amplitud o distribución asociados con ellas ($p>0.05$). **Discusión.** Los resultados indican que la detección automática de disparidad auditiva, especialmente de segundo orden (MMN), es modulada por las dimensiones básicas de organización musical (alturas tonales y ritmo), con módulos de procesamiento probablemente independientes e integrados.

INTRODUCCIÓN

El cómo nuestros cerebros interpretan y a su vez dan lugar a la música, está emergiendo como un campo de investigación muy amplio, pues involucra diversos procesos psicológicos como: percepción, memoria, emoción, control motor, creatividad, aprendizaje, plasticidad, así como la estrecha relación entre nuestras biología y culturas. La música, al ser un fenómeno tan complejo, debe ser estudiado por partes. Esta tesis, tiene como objetivo, investigar el mecanismo responsable de la detección automática de la disparidad auditiva indicada por las ondas electrofisiológicas N1 y MMN y su relación con la música. Para lograr este objetivo, sólo una porción muy temprana (hasta los 250 ms aprox.) de la percepción¹ musical fue estudiada. Para abordar el tema, comenzaremos hablando de qué es la música, cómo se diferencia del sonido, cuáles son sus orígenes, qué funciones ha cubierto y cómo la han abordado diferentes estudios psicofisiológicos.

1. Música

Definición y Propiedades

La música es un fenómeno difícil de definir. Aún cuando se utiliza el término cotidianamente y todos entendemos lo que es, resulta complicado delimitar sus fronteras como concepto². La música puede ser cosas distintas, tiene diversas funciones para diferentes culturas y varía dependiendo de la época; la cultura Igbo de Nigeria, por ejemplo, utiliza el término “*nkwa*” el cual incluye canto, instrumentación musical y danza (Gourlay, 1984), fenómenos de expresión

1 Esta tesis no aborda fenómenos de producción, ni composición musical.

2 El hombre es un animal suspendido en redes de significado que él mismo tejió (Geertz, 1973).

que no son incluidos en un sólo término en occidente³.

El diccionario Larousse define a la música como “El arte de combinar los sonidos de un modo agradable al oído” (Pequeño Larousse, 2008), definición que resulta ambigua por la incertidumbre que genera la palabra “arte” y la subjetividad que implica el “modo agradable al oído”. En términos de Cross (2003) “la música representa una actividad cognitiva y afectiva primordialmente humana, que para el mayor número de culturas en el mundo y para la mayor parte de la existencia histórica de nuestra cultura, involucra sonido y movimiento”.

Según Cross (2003), resulta difícil delimitar un conjunto estable de características propias del fenómeno musical, es decir, que sean siempre utilizadas por lo que llamamos música, ya que al parecer los conjuntos de elementos y funciones que conforman a la música, para una cultura determinada, pueden traslapar mínimamente con los de otra. Se podría decir entonces, que la música engloba un conjunto de características que entran y salen de los límites del concepto, dependiendo de quién, cuándo y dónde las define⁴. No obstante los problemas de definición, la capacidad musical puede ser investigada rigurosamente (Peretz, 2006).

Atributos Principales del sonido

El compositor y experto musical Varese conceptualizó a la música como “sonido organizado” (Clayson, 2002), la pregunta pertinente sería ¿qué es lo que se organiza del sonido? El diccionario de música y músicos Grove (2004), hace énfasis en cuatro atributos principales del

3 “Qué diferentes hubieran sido las cosas, si la lengua Igbo hubiera alcanzado la misma “universalidad” del inglés.... la música “formal” occidental podría parecer una aberración por excluir a la danza” (Gourlay, 1984).

4 Huron (2003) usa las palabras “*nebulous rubric music*” o la rúbrica nebulosa música (haciendo referencia a su variabilidad en expresión del fenómeno y, como consecuencia, en su concepto).

sonido, básicos para la percepción musical: la altura tonal, la fuerza o intensidad, el timbre y el tiempo o ritmo. La percepción de la altura tonal se correlaciona principalmente con la frecuencia (ciclos por segundo o Hz)⁵ de las ondas del sonido, pero está influenciada por el tiempo y por la fuerza de éste. La percepción de la intensidad del sonido correlaciona principalmente con la amplitud de la onda de éste, pero es influenciada por la duración y forma de la onda. El timbre es el atributo de la percepción auditiva en términos de que, al presentar dos sonidos de iguales alturas tonales e intensidades, éstos sean percibidos como diferentes (por ejemplo una guitarra tocando la misma nota que un piano), debido en gran medida a la morfología de la onda sonora. El ritmo es esencialmente el patrón temporal del sonido y se refiere a las duraciones de los tonos y de los silencios.

El que se puedan manipular estos atributos del sonido por separado, denota cierta independencia, sin embargo, es imposible aislarlos, los demás atributos siempre están presentes, es decir, aunque se manipule la altura tonal de un sonido, éste seguirá teniendo un timbre, una intensidad y una duración (ritmo).

Dimensiones básicas de organización musical

¿Cómo se organiza el sonido para formar a la música? Desde una postura psicológica, Jackendoff y Lerdahl (2006) proponen que hay estructuras cognitivas (representaciones mentales) encargadas de nuestro “entendimiento” de la música. Los autores se refieren al entendimiento como la organización que un escucha construye en respuesta a la música⁶. Esta

5 Se le llama ciclo a una repetición de una onda periódica. Cuando la onda sonora no es periódica por no tener un patrón discernible la llamamos “ruido” (Roads, 1996).

6 La música surge al momento de escucharla, antes de eso, no es más que vibración de partículas de aire (Levitin, 2006).

organización de la música se da con base en la confluencia de dos dimensiones básicas e independientes: ritmo (temporal) y altura tonal (espectral o de frecuencias). En este momento, ya no hablamos de dos de los atributos básicos del sonido, sino de su organización musical a través del tiempo.

La importancia de estas dos dimensiones básicas de organización es especialmente clara en la escritura musical, donde las notas se escriben indicando su altura tonal (posición en el pentagrama) y su duración (tipo de nota: completa, media, cuarto, etc.). Estas dos dimensiones tienen cierto grado de independencia, la cual está indicada por la posibilidad de disociarlas: algunas formas de la música utilizan una dimensión pero no la otra, como el género rap, que utiliza estructura rítmica pero no de alturas tonales, así como algunos recitales y varios tipos de cánticos que se organizan en la dimensión de las alturas tonales, dejando a un lado a la organización rítmica. De este modo, según algunas definiciones musicales la música se da a partir de la organización del sonido en al menos una de estas dimensiones.

En estas dimensiones básicas de organización musical, cada evento (nota o sonido) toma su existencia a partir de la relación que tiene con el contexto, es decir, con los eventos que lo rodean, y pasan a segundo término sus características específicas (Drake y Bertrand, 2003). La importancia reside en las relaciones, de este modo, una nota sólo es aguda cuando se presenta con otra que es grave (alturas tonales) y una nota es larga siempre y cuando haya otras más cortas (ritmo).

Esta tesis se referirá a “música” como el sonido organizado (Clayson, 2002), en la confluencia

El efecto del contexto musical sobre el mecanismo de detección automática de la disparidad auditiva

de las dos dimensiones básicas de organización musical: alturas tonales y ritmo (Jackendoff y Lerdahl, 2006).

2. Orígenes de la música

El etnomusicólogo Nettl (1983) propone que la música es “comunicación sonora humana que está fuera del foco del lenguaje”. Pensar en cómo es este tipo de comunicación y cómo se diferencia del lenguaje, alude a nuestra historia evolutiva, pues a través de ésta, las formas de comunicación se fueron complejizando y sofisticando hasta llegar a lo que hoy en día se reconoce como música (y por su parte, lenguaje).

Evolución y música

Preguntarnos qué tan seriamente podemos considerar a la música como un fenómeno biológico enraizado en nuestra historia evolutiva, nos refiere a Darwin (1871), quien nos dice que el hombre poseía “la capacidad de producir y sin duda, de apreciar las notas musicales... desde un período remoto, pues el canto y la música son artes extremadamente antiguos”. Ciertamente, la música es una capacidad humana muy antigua, hay registros arqueológicos de instrumentos musicales que datan de no menos de 36,000 años, consistentes en flautas hechas de los huesos de grandes aves, ahora extintas y encontradas en un sitio arqueológico en Geisenklösterle, Alemania (D'Errico et al., 2003) (Figura 1).



Figura1. Flauta de hueso (120 mm) encontrada en Geisenklösterle Alemania. Imagen obtenida de Mithen (2006).

Según Huron (2003), en lo que se refiere a instrumentos musicales, las flautas son artefactos sofisticados; es probable que tambores y sonajas las precedieran y, a su vez, es razonable asumir que el canto precediera a los tambores y sonajas. Tomando en cuenta estos supuestos, Huron (2003) estima que el origen de la música pudo haber sido hace alrededor de 150 y 250 mil años, lo que implica la posibilidad de que la capacidad musical precediera al *homo sapiens*, el cual surgió hace alrededor de 200 mil años.

Merriam (1964) argumenta que la música surgió espontánea y paralelamente en todas las sociedades humanas conocidas, y aún ahora, de acuerdo a Blacking (1995), “toda sociedad humana conocida tiene lo que musicólogos entrenados reconocerían como música”. Para Blacking, no sólo todas las sociedades tienen música, sino que todos los individuos de dichas sociedades participan en actividades musicales de una u otra forma (cantando, bailando, escuchando, instrumentando, etc.). Tomando en cuenta tanto la antigüedad como la ubicuidad del fenómeno musical, lo que corresponde entonces, es hablar de la función que la música ha cumplido para el ser humano, o el por qué de las actividades musicales. Hay varias teorías recientes que consideran que la música representó una función adaptativa en la evolución humana.

De las diversas propuestas que se refieren a un posible origen evolutivo de la música, esta tesis desarrollará la que considera una función a nivel social, un tipo de interacción comunicativa humana con una cercana y compleja relación con la cultura. Peretz (2006), nos habla de que ésta (social) es la postura dominante hoy en día, la cual, explica a la música como una habilidad cognitiva que responde a la necesidad humana de interactuar, lo que permite, entre

otras cosas, generar lazos sociales y fomentar la formación e identificación de grupos, lo cual tiene implicaciones directas con la formación de lo que ha sido llamado “una de las mayores transiciones de la evolución humana: la cultura” (Smith y Szathmáry, 1995), sin duda la música está presente en todo tipo de eventos sociales: bailes, rituales religiosos, ceremonias y fiestas.

Hatfield, Cacioppo y Rapson (1994) describen un proceso al cual llaman “contagio emocional”, el cual se da a partir de actividades musicales que se practican en grupo. Este proceso es la tendencia a mimetizar y sincronizar automáticamente las vocalizaciones y movimientos corporales de otra persona y en consecuencia, converger emocionalmente. El valor utilitario de la danza y la música consiste entonces en promover la cooperación y converger emocionalmente con otros participantes de la actividad musical, lo cual a su vez provoca una mayor cohesión del grupo. Según los autores hay dos factores que facilitan este “contagio emocional”: las alturas tonales que permiten la mezcla de cantos armónicos, y la regularidad temporal (ritmo), que favorece la sincronización motora. Estas dos características son altamente eficaces en la promoción de canto y baile simultáneos, permitiendo autonomía entre “voces y cuerpos”.

Para Freeman (1995) la música es “la biotecnología de la formación de grupos”. Basado en el hallazgo de que al hacer música en grupo, se favorece la liberación de oxitocina, hormona que actúa borrando ciertas memorias para facilitar la codificación de otras, y cuya liberación se ha documentado durante el orgasmo en seres humanos y se ha propuesto como facilitador del lazo de pareja. Esto sugiere que la liberación de oxitocina al hacer música en grupo, puede

facilitar la adquisición de nueva información sobre acciones compartidas con otros.

Hasta ahora se han mencionado estudios en diferentes áreas del conocimiento que sugieren un carácter evolutivo en la música. Apoyado en estos estudios y otros que se mencionarán más adelante, Mithen (2006) elaboró una teoría que explica ciertos aspectos de la evolución del hombre y el surgimiento de la música. Él propone un sistema de comunicación que fue el ancestro común entre música y lenguaje al cual llama Hmmmmm (holístico, multi-modal, manipulativo, musical y mimético) y que significaba un modo de pensamiento y acción pre-lingüístico musical. Esta proto-comunicación pudo haber surgido en el momento evolutivo en que los homínidos se volvieron bípedos (*homo ergaster*, hace alrededor de 1.6 millones de años), de modo que nuestra inteligencia moderna (en gran medida atribuida al lenguaje) pudo haber surgido como consecuencia del caminar en dos patas. Al erguirse los homínidos, la laringe quedó posicionada más abajo, permitiendo vocalizaciones más complejas, y esto a su vez, provocó la elaboración de estructuras mentales más finas para el reconocimiento de sonidos ahora más variados (principalmente en alturas tonales).

En complemento a esto, el ritmo, algunas veces descrito como el atributo más característico de la música, es esencial para caminar, correr y cualquier coordinación compleja de nuestros cuerpos bípedos, de modo que el bipedismo requirió de la evolución de mecanismos neurales para mantener la coordinación rítmica de grupos musculares. Nuestros ancestros, al volverse bípedos, diversificaron sus vocalizaciones (altura tonal), potenciaron su lenguaje corporal (al tener las manos libres) y elaboraron procesos de secuenciación temporal (ritmo). Todo esto pudo significar el inicio de la capacidad musical y con ella un gran avance en la comunicación

entre homínidos (Mithen, 2006).

Mithen (2006) propone la hipótesis de que este HmMMMM tenía un carácter holístico, pues se comunica un mensaje a partir del total de tonos y ritmos utilizados, a modo de frase, sin poner énfasis en las partes que lo componen (como la música); multi-modal, pues utiliza diferentes módulos cerebrales para funcionar (motores, auditivos, emocionales, etc.); manipulador, pues al poder expresar emociones u otro tipo de significados, se pueden lograr diferentes emociones y conductas en otros; musical, por la forma en que se organizan los comunicados, a través de variaciones de alturas tonales, timbres y ritmos, y mimético porque el imitar a otros homínidos o a cualquier objeto del mundo natural (un río, un animal) se lograba aún más significado, de modo que la mímica estaba involucrada en alto grado.

El HmMMMM pudo haber establecido la base evolutiva para el desarrollo del lenguaje y la música, posiblemente a través de una segmentación de las frases de éste para entonces, enfatizar las partes (palabras), se formó un sistema comunicativo de carácter “composicional” más que holístico. Este lenguaje composicional pudo haber transformado el modo de comunicarse y de pensar propio del humano, terminando el modo de vida que llevaban otras especies de homínidos (anteriores evolutivamente al *homo sapiens*), y poniéndonos en un camino que nos ha llevado como especie a la colonización global.

El grado de independencia entre música y lenguaje según Mithen es un reflejo de 200,000 años (aparición del *homo sapiens*) de evolución independiente. Ciertos aspectos del HmMMMM, representados por módulos en el cerebro, siguieron siendo utilizados por la

música, otros por el lenguaje y otros por ambos. De este modo Mithen (2006), Cross y Morley (2008), sugieren que la música y el lenguaje están en polos complementarios de un mismo continuo comunicativo en el humano.

Si la música es una adaptación evolutiva, es probable que su génesis sea compleja, cualquier adaptación musical es probable que haya sido construida a partir de otras adaptaciones que podrían ser descritas como proto-musicales o premusicales, las cuales involucran complejos patrones co-evolutivos con la cultura (Huron, 2003). Debemos esperar que una teoría evolutiva plausible sea consistente con la fisiología que subyace al fenómeno musical, lo cual es probable que involucre un gran número de áreas cerebrales que se encarguen de diferentes aspectos de la música.

Ontogenia y Música

Varios autores (Cross, 2003; Cross y Morley, 2008; Dissanayake, 2000; Mithen, 2006; Peretz, 2006; Trehub, 2003) enfatizan la interacción madre-hijo dentro del papel social de la música. Los adultos, en particular las madres, utilizan un lenguaje llamado IDS (por sus siglas en inglés, *infant directed speech*: habla dirigida al infante), el cual es muy melódico, pues resalta sus alturas tonales, timbre y ritmos para dirigirse a los infantes (Fernald, 1991). Cuidadores de infantes de diversas culturas les hablan a éstos con esta forma “cantada”, integrando diferentes características musicales de modo que se logra mayor expresión emocional (Papousek, 1996).

Dissanayake (2000), propone que a través del IDS la madre y el infante⁷ entran en “el mundo

⁷ Se utiliza el término infantes para referirnos al niño en las etapas más tempranas del desarrollo (meses de edad en la mayoría de los casos).

temporal y el estado emocional del otro” y al hacerlo, el infante logra control en sus niveles de activación fisiológica y atención, gana soporte y regulación emocional, mejora su desarrollo cognitivo, refuerza habilidades comunicativas y adquiere reglas culturales específicas de conducta social, en otras palabras, se desarrolla psicológicamente.

Se ha demostrado que las primeras fases de adquisición del lenguaje están basadas en información prosódica, la cual se refiere a la información de alturas tonales y rítmicas de éste, mucho antes de poder entender su significado. Los infantes prefieren el canto de sus madres sobre el habla de las mismas. Nakata y Trehub (2000) presentaron a infantes de 6 meses de edad, video grabaciones de sus madres hablándoles y cantándoles; los infantes mostraron una mayor atención sostenida así como reducciones en su movimiento para episodios cantados en comparación con los hablados. Otros efectos del canto de la madre incluyen un aumento de niveles de cortisol en saliva, mejoría en las habilidades de mamar, impactando significativamente sus ganancias de peso, y estabilización de niveles de saturación de oxígeno, lo cual promueve el desarrollo físico del infante (Mithen, 2006). A partir de estos resultados se puede concluir que el canto materno, presente en todas las culturas, impacta de manera benéfica la atención, emoción y salud física del infante, por lo que puede representar una ventaja adaptativa (Trehub, 2003).

Es claro que los infantes están predispuestos a atender patrones rítmicos y contornos (secuencia de cambios arriba/abajo entre alturas tonales de notas adyacentes) de secuencias sonoras, ya sean música o lenguaje. No es fácil evaluar las habilidades de procesamiento musical en infantes pre-verbales, sin embargo, en este campo se ha avanzado mediante

procedimientos de condicionamiento, habituación y preferencia (Trehub, 2003). Los infantes prefieren regularidad temporal en secuencias musicales y detectan pequeños cambios temporales a partir de los 2 meses de edad (Baruch y Drake, 1997). Entre los 6 y 9 meses ya muestran una preferencia hacia intervalos consonantes sobre intervalos disonantes (Schellenberg y Trehub, 1996) y tienen presentes principios de agrupamiento acústico por similitudes de frecuencia, intensidad y timbre (Thorpe y Trehub, 1989).

Los infantes también muestran sensibilidad incrementada hacia escalas musicales con distancias desiguales de frecuencias entre sus notas, independientemente de su experiencia sensorial con ellas (Trehub, Schellenberg y Kamenetsky, 1999), lo que indica que están perceptualmente preparados para asimilar la estructura tonal generada en cualquier cultura. A partir de lo anterior parece ser que existe una capacidad constituida por recursos cerebrales que hacen posible la adquisición de la habilidad cognitiva responsable de nuestro entendimiento de la música. A esta parte innata Jackendoff y Lerdahl (2006) la llaman capacidad musical, la cual constituye los recursos mentales/cerebrales que hacen posible la adquisición de cualquiera de los idiomas musicales del mundo si se recibe la estimulación necesaria, como en el caso del lenguaje, la capacidad musical está designada a actuar en función del ambiente, extrayendo de él la información necesaria para construirse en cada individuo. Debido a que la música toma diferentes formas en diferentes culturas (y aún dentro de las mismas), un escucha se “familiariza” o aprende diferentes idiomas musicales dependiendo de su experiencia con ellos. De este modo, como el lenguaje, la música tiene una parte innata que permite la obtención de otra parte empírica, es así como nuestra biología se entrelaza con nuestra cultura (Jackendoff y Lerdahl, 2006).

Estas teorías establecen que todos los seres humanos tenemos una capacidad musical⁸, lo cual es consistente con estudios que propone que el adulto normal es un experto en la percepción musical, aunque no esté consciente de ello (Peretz, 2006). Se ha observado que la discriminación de idiomas musicales está al alcance del escucha promedio, al no haber diferencias entre un grupo de no músicos y uno de individuos con entrenamiento formal musical (Dalla Bella y Peretz, 2005). Tampoco hay diferencias en algunas tareas de producción. En específico, en una tarea de canto, los músicos profesionales no recuerdan más palabras ni alturas tonales que los no músicos (Racette y Peretz, 2006). Se han encontrado resultados similares en tareas que involucran la creación de expectativas, así como la percepción de acordes, escalas, alturas tonales, coherencia y la categorización de expresiones emocionales sutiles en la música (Peretz, 2006).

La capacidad musical está presente en óptimas condiciones incluso en la vejez. En casos patológicos en donde se presentan diferentes tipos de demencia, la respuesta hacia la música está normalmente preservada, aún cuando la demencia está muy avanzada⁹ (Sacks, 2007).

Estos hallazgos afirman que aparte del factor cultural formado por la experiencia, debe de haber uno o más factores en común entre seres humanos que sea responsable de la capacidad musical, aún cuando ésta es aprovechada en diferentes grados y en distintas formas en los diversos contextos sociales (Cross, 2003)¹⁰. La distinción entre las partes innata y empírica de la “musicalidad” humana, es inexacta e innecesaria para los propósitos de este trabajo, por lo

8 Saliéndonos del contexto evolutivo, las aseveraciones sobre las habilidades musicales se refieren en su mayor parte a la percepción musical, exceptuando la ejecución y la composición musical debido a nuestros estilos de vida modernos..

9 El enfoque terapéutico de la música en personas con demencia busca dirigirse hacia las emociones, capacidades cognitivas, pensamiento y memoria, “el yo sobreviviente del paciente” (Sacks, 2007).

que se referirá como capacidad musical a la suma de ambas como un todo.

3. Neuroanatomía funcional y música

Estudios Neuropsicológicos

En algunos casos la capacidad musical puede ser deficiente o no presentarse. Este es el caso de una condición aparentemente hereditaria la cual ha sido llamada sordera tonal, sordera de notas, dis-melodía y más recientemente, amusia congénita, en la cual las personas que la padecen tienen problemas para reconocer la música en general y en particular la dimensión tonal de organización musical (Hyde y Peretz, 2004). Estos pacientes muestran poca sensibilidad ante la presencia de acordes obviamente disonantes en música clásica (Peretz, Cummings y Dubé, 2007), una sensibilidad que normalmente está presente desde la infancia (Zentner y Kagan, 1996).

Por otro lado, Alcock, Passingham, Watkins y Vargha Khadem (2000) evaluaron a nueve integrantes de una familia que presentaban una mutación del gen FOXP2¹¹ y mostraban desórdenes de lenguaje. Su producción y percepción del ritmo también estaba deteriorada, indicado por la incapacidad de reproducir o reconocer ritmos. La evidencia fue interpretada por los autores como una participación del gen sobre el procesamiento de secuenciación

10 La distinción occidental entre el “músico” (dotado) y el “no-músico” (escucha ordinario, musicalmente inepto) podría ser explicado, en parte, por el desarrollo tecnológico que se ha tenido a lo largo de nuestra historia, el cual permite nuevas formas de hacer instrumentos (al lograr manipular el metal, se pudieron hacer trompetas por ejemplo) y con ellos nuevas formas de hacer sonidos. Esto, a su vez, nos lleva a una mayor complejidad musical (hay orquestas que utilizan más de 100 instrumentistas operando más de 20 tipos de instrumentos musicales). “Cuando el nivel técnico de lo definido como musical es más alto, algunas personas son inevitablemente etiquetadas como no-musicales” (Mithen, 2006).

11 Este gen, el cual se encuentra en el cromosoma 7, parece jugar un rol causal en el desarrollo normal de las redes neuronales que subyacen al lenguaje y al habla (Marcus y Fisher, 2003).

temporal y en consecuencia, un déficit de lenguaje y de ritmo.

Algunos tipos de daño cerebral, pueden interferir con la discriminación entre alturas tonales, sin afectar la interpretación precisa de relaciones temporales (ritmo). En contraparte, en otros casos de daño cerebral la discriminación rítmica de la música puede estar deteriorada mientras la de alturas tonales permanece intacta (Petetz, et al., 2009). Esta doble disociación entre alturas tonales y ritmo, es consistente con estudios conductuales que demuestran que estas dos dimensiones musicales pueden ser percibidas por separado (Krumhansl, 2000).

Este tipo de evidencia neuropsicológica es de suma importancia, ya que sostiene una visión del procesamiento musical de carácter modular. Según Fodor (1983) un módulo corresponde a un mecanismo computacional especializado, el cual, está encargado de alguna función biológica relevante. Peretz y Colheart (2003) proponen un modelo modular para la arquitectura funcional del procesamiento musical (Figura 2) derivado del estudio detallado de pacientes afásicos¹², con amusias congénitas o que por daño cerebral presentaron impedimentos o preservaciones selectivas de habilidades musicales particulares. El modelo propone dos subsistemas principales complementarios, uno encargado del análisis de alturas tonales y el otro encargado de la organización temporal, cada uno con varios módulos encargados de procesos específicos de la información que contribuyen al total de cada subsistema¹³.

12 Algunos autores, como Pinker (2002), proponen que la música surge de estructuras cognitivas cuya función principal es el lenguaje.

13 El que los subsistemas principales complementarios sean las alturas tonales por un lado y los ritmos por otro, es consistente con las teorías musical y evolutiva desarrolladas en esta tesis.

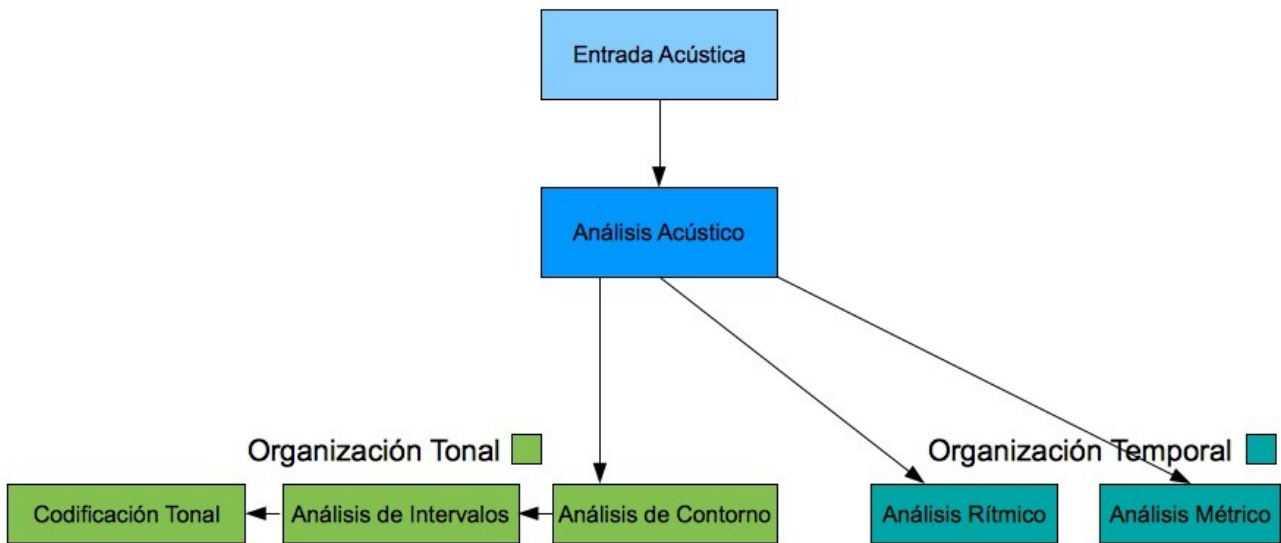


Figura 2. Modelo modular del procesamiento musical propuesto por Peretz y Colheart (2003). Cada caja representa un componente del procesamiento y cada flecha representa el flujo de información. Un daño neurológico podría impedir el funcionamiento de un componente de procesamiento y/o el flujo de información de un componente a otro.

Los impedimentos mencionados de la capacidad musical pueden ser totalmente específicos para la música y no involucrar funciones similares como el lenguaje (Peretz y Colheart, 2003). Esta disociación entre música y lenguaje, requiere una consideración de ambas capacidades como dominios cognitivos separados (Mithen, 2006).

A través de estudios neuropsicológicos podemos llegar a conclusiones sobre las distintas estructuras cognitivas necesarias para algún proceso psicológico, en este caso para el procesamiento de ciertas características musicales que contribuyen al fenómeno musical. Debemos encontrar una concordancia entre las supuestas operaciones de los diferentes módulos de procesamiento musical propuestos en estudios neuropsicológicos y otros estudios neuro-cognitivos. Al estudiar los correlatos fisiológicos del procesamiento musical, hay que tener en cuenta que esta experiencia humana no está basada en una capacidad mental

El efecto del contexto musical sobre el mecanismo de detección automática de la disparidad auditiva

uniforme, sino en un complejo grupo de operaciones perceptivas y cognitivas representadas en el sistema nervioso central.

Estudios Neuro-Cognitivos

Teorías tradicionales basadas en estudios de lesión, proponían una simple relación funcional “hemisferio izquierdo vs. derecho”, siendo el hemisferio izquierdo el especializado en el procesamiento de lenguaje y el derecho en el procesamiento musical (Uvstedt, 1937). Sin embargo, este argumento no pudo sostenerse cuando Bever y Chiarello (1974) demostraron efectos de entrenamiento musical sobre lateralización hemisférica; personas sin entrenamiento formal musical tenían una lateralización derecha, mientras que los músicos profesionales una lateralización izquierda. Los sustratos fisiológicos responsables del procesamiento musical parecen reflejar más el “modo de escuchar y procesar”, en lugar de “centros musicales” más o menos fijos, debido a la gran influencia que tiene la experiencia sobre cambios plásticos cerebrales a corto y a largo plazo (Altenmüller, 2003)¹⁴.

El procesamiento musical recluta una amplia red de áreas del hemisferio derecho e izquierdo, las cuales incluyen desde estructuras sub-corticales como núcleos cocleares, tallo cerebral y cerebelo, hasta estructuras corticales como cortezas auditivas primaria (CAP) y secundaria (CAS) localizadas en el lóbulo temporal, regiones del lóbulo frontal, sobre todo en regiones inferiores, áreas de asociación sensorial en el lóbulo parietal y áreas visuales del lóbulo occipital utilizadas para la lecto-escritura musical (Levitin, 2006). Algunas de estas áreas

¹⁴ Aparte de estos cambios plásticos cerebrales, si una pieza musical puede evocar diferentes representaciones cognitivas (movimiento, emoción, recuerdos), diferentes personas tendrán un “modo de escuchar” (Altenmüller, 2003) distinto, por ejemplo, una bailarina puede reclutar áreas motoras que un compositor no utiliza y dicho compositor podría reclutar áreas visuales asociadas a la escritura musical que otros no utilizan.

mantiene complejas relaciones con otras funciones (emoción, control motor, memoria) y las redes que las conectan están probablemente entrelazadas (Peretz, 2006). Debido a la cantidad de recursos cognitivos reclutados por la capacidad musical, es necesario concentrarse en aspectos específicos de la misma; por lo que este estudio se enfocará principalmente en aspectos perceptivos básicos de la música.

Toda percepción musical involucra mecanismos de memoria de trabajo. Dado que los sonidos se manifiestan a través del tiempo, se requiere un sistema de retención en línea para computar relaciones entre eventos sucesivos (Zatorre, 2003). En un experimento enfocado a estudiar la memoria de trabajo en el procesamiento musical, Zatorre, Evans y Meyer (1994) utilizaron a 12 voluntarios sin entrenamiento musical a los cuales se les pidió escuchar cuatro diferentes condiciones, mientras se les aplicaba una tomografía por emisión de positrones (TEP). La primera condición fue utilizada como un control, y consistía de ruido modificado para asemejarse físicamente a las demás condiciones; la segunda consistía en escuchar melodías sin más instrucción; la tercera en comparar la primera nota de la melodía con la segunda (carga pequeña en memoria de trabajo) y por último, la cuarta condición, consistió en comparar la primera y la última nota (carga grande en memoria de trabajo). La comparación entre la primera condición y la segunda permitió identificar regiones cerebrales específicamente activas durante el procesamiento de melodías novedosas. El resultado principal de esa comparación fue un incremento significativo de actividad en la región supra-temporal derecha, anterior a la CAP. Se observó un incremento menor y no significativo en el área homóloga izquierda. De estos resultados se concluye una activación diferenciada de áreas primarias y secundarias dentro del lóbulo temporal dependiendo del contexto acústico, en este caso

musical. Para investigar el papel de la memoria de trabajo, los autores compararon la segunda condición y la tercera (carga pequeña en memoria de trabajo), dando como resultado, un incremento significativo de actividad cerebral del lóbulo frontal derecho, principalmente en porciones inferiores. La comparación de la segunda condición (sin carga en memoria de trabajo) con la cuarta condición (carga grande en memoria de trabajo) mostró activación cortical (a lo largo de todo el cerebro) y subcortical en ambos hemisferios, incluida la región frontal inferior derecha observada en el análisis anterior (2da. – 3ra.). Para investigar el efecto de la carga en memoria de trabajo, una última comparación entre la tercera (carga pequeña en memoria de trabajo) y la cuarta condición (carga grande en memoria de trabajo), fue efectuada. Hubo incrementos de actividad cerebral en una región frontal inferior derecha, diferente a la encontrada en comparaciones anteriores. Este estudio sugiere la existencia de un mecanismo que soporta al análisis melódico en el lóbulo frontal, que contribuye a comparaciones tonales con una participación particular de regiones derechas frontales.

Altenmüller (2003) propuso un modelo de sustratos cerebrales responsables del procesamiento musical (Figura 4), en el cual propone que muchos aspectos del procesamiento auditivo, en general, y el procesamiento musical, en particular, están ligados a sustratos neuronales fijos, comunes para todos los seres humanos. Sin embargo, la experiencia (“culturización”), con ayuda de sistemas de memoria, nos lleva individualmente a la elaboración de representaciones mentales adicionales (simbólica, visual, sensorio-motora etc.), las cuales hacen uso de diferentes sustratos cerebrales¹⁵ y nos permiten “entender” una especie de significado musical.

15 Los músicos profesionales utilizan redes neuronales más grandes y complejas, en gran parte debido al entrenamiento y práctica que son expuestos.

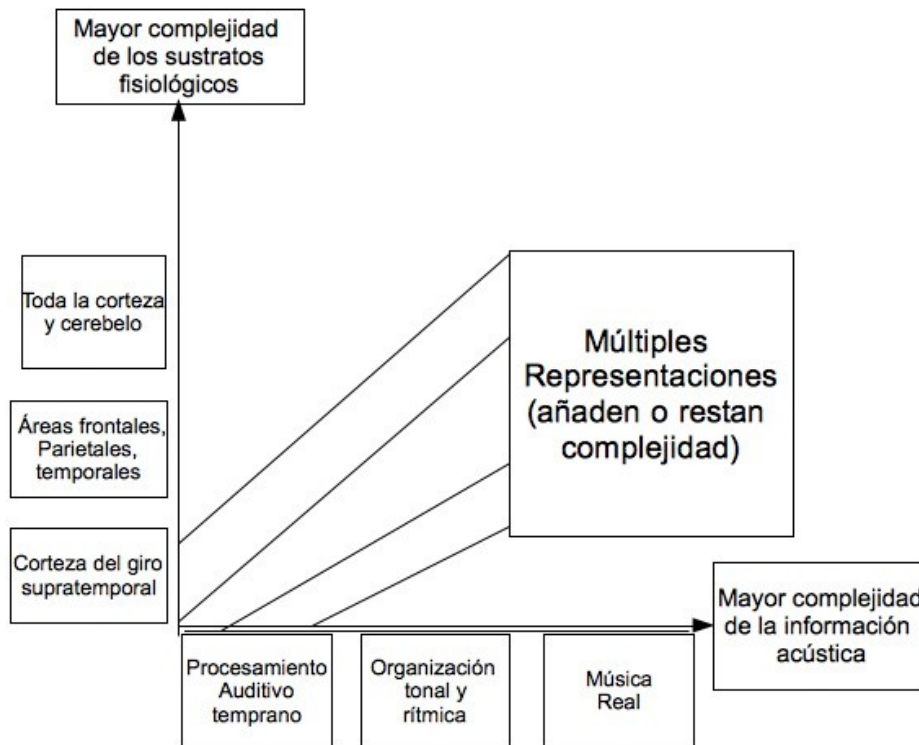


Figura 4. Modelo de sustratos cerebrales responsables del procesamiento musical (Altenmüller, 2003).

Según este autor, la complejidad de los sustratos fisiológicos reclutados es directamente proporcional a la de la información acústica. Los escuchas pueden agregar o reducir la complejidad del procesamiento musical, al adaptar diferentes “estrategias de escucha”, las cuales son producto de las representaciones cognitivas que tenga un sujeto, de modo que los sustratos fisiológicos que subyacen el procesamiento musical pueden variar, desde pocas estructuras cerebrales localizadas principalmente en lóbulos temporales, hasta el reclutamiento de toda la corteza cerebral y cerebelo (Altenmüller, 2003).

Peretz y Zatorre (2005) hicieron una revisión exhaustiva de investigaciones sobre la organización cerebral del procesamiento musical. Tanto en percepción como en producción

musical, el procesamiento de alturas tonales y ritmo, parece resultar de las operaciones de mecanismos neurales muy distintos. Mientras las relaciones entre alturas tonales involucran predominantemente a la corteza auditiva derecha, la extracción de patrones rítmicos recluta una más ampliamente distribuida red neural bilateral.

La importancia del procesamiento de alturas tonales en la corteza auditiva está claramente marcada en su anatomía funcional, en un estudio con imagen por resonancia magnética funcional (IRMf)¹⁶, Lauter et al. (1975) encontraron que tonos agudos (4000 Hz) provocaban cambios hemodinámicos (activación cerebral) localizados más profundo y más posterior en la corteza auditiva que tonos graves (500Hz), demostrando una distribución tonotópica de la corteza auditiva. Liégois-Chauvell et al. (2003) en un estudio con electrodos intra-craneales (descrito más adelante) encontraron que la distribución tonotópica de la corteza auditiva derecha es más clara y está más afinada que la zona homóloga izquierda.

Samson y Ehrlé (2003) llevaron a cabo un experimento, en el que se comparó la sensibilidad hemisférica ante procesamiento temporal rápido y procesamiento temporal lento (secuencia de notas rápida vs. lenta). Utilizaron pequeñas variaciones temporales en series de notas de carácter musical, las cuales tuvieron que ser identificadas por pacientes epilépticos con daño cerebral izquierdo, daño derecho y sujetos sanos como control experimental. Al existir un deterioro significativo en el procesamiento temporal rápido de eventos auditivos sólo para los pacientes con daño izquierdo, los autores dedujeron una selectividad del lóbulo temporal

¹⁶ La imagen por resonancia magnética funcional (IRMf) junto con la tomografía por emisión de positrones (TEP), son técnicas hemodinámicas, es decir, se basan en el flujo sanguíneo, que se utilizan para la investigación psicofisiológica. Tienen una resolución espacial en el rango de milímetros (Luck, 2005).

izquierdo en el procesamiento temporal rápido. Esta conclusión amplía al dominio musical, descubrimientos sobre el procesamiento acústico rápido, el cual es necesario para el lenguaje (Tallal y Newcombe, 1978).

Parsons (2003) realizó un estudio con tomografía por emisión de positrones (TEP) para explorar la neuroanatomía funcional de la percepción y comprensión musical. Utilizó sujetos que, apoyándose en la escritura musical, eran expertos en la detección de errores armónicos, melódicos o rítmicos en piezas musicales. Los análisis consistieron en la comparación de una condición pasiva, en la cual escuchaban las piezas musicales sin errores, con una condición activa en la que los sujetos tenían que identificar errores en la pieza musical. Se encontraron activaciones supra-temporales (cortezas auditivas) ante errores melódicos y armónicos¹⁷, pero no ante la detección de errores rítmicos (Figura 3).

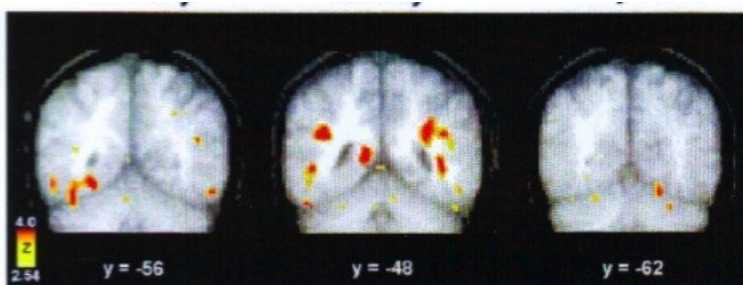


Figura 3. Activación de la corteza supra-temporal medida con TEP ante violaciones armónicas (izquierda), melódicas (centro) y rítmicas (derecha) (Parsons, 2003).

El cerebelo fue activado en su porción anterior izquierda para procesamiento de alturas tonales y en sus porciones laterales posteriores (bilateral) para la tarea de carácter rítmico. La activación cerebelar en este estudio sugiere una contribución de esta estructura al procesamiento perceptual o cognitivo de la melodía en general (tono y ritmo).

¹⁷ Ambas propiedades musicales pertenecen al procesamiento de alturas tonales.

Datos de IRMf sugieren que la activación neural de ritmos familiares, está representada principalmente por la corteza infero-frontal izquierda, corteza parietal y cerebelo anterior derecho (Sakai, Hikosaka y Miyauchi, 1999). En un estudio similar, Grahn y Brett (2007) reportaron una activación de los ganglios basales y las áreas sensorio-motoras del cerebro ante la percepción del ritmo musical. En general, el concepto que emerge de la literatura es que el análisis del ritmo depende en gran medida de interacciones entre sistemas auditivos y motores (Zatorre, Chen y Penhune, 2007).

4. Potenciales Relacionados con Eventos (PRE)

Una de las herramientas fisiológicas que ha sido de gran utilidad para el estudio de la cognición humana son los PRE. “Dado que los procesos cognitivos se suponen relacionados con la actividad eléctrica cerebral, y puesto que los PRE son fluctuaciones de los potenciales eléctricos del cerebro, provocados por la ocurrencia de un suceso o por la presentación de un estímulo, parece que éstos últimos son buenos candidatos para ayudarnos a comprender mejor el sistema cognitivo humano” (Nuñez-Peña, Corral y Escera, 2004).

Obtención de los PRE

Los PRE se derivan de la actividad eléctrica cerebral, cuya obtención se resume en la Figura 5. La actividad eléctrica cerebral presenta oscilaciones generadas por variaciones de voltaje cuya representación grafica es conocida como electroencefalograma (EEG) y su amplitud normalmente varía entre los -100 y +100 microvolts (μV). Durante el registro del EEG se puede presentar al sujeto estímulos auditivos, visuales o somatosensoriales, y definir

fragmentos de éste que estén temporalmente fijos al estímulo. A estos fragmentos del EEG los llamamos “épocas”, las cuales contienen cambios de voltaje presuntamente constantes y específicamente relacionados con la respuesta cerebral ante el estímulo (se puede también investigar la respuesta electrofisiológica ante una respuesta conductual o un evento cognitivo bien delimitado experimentalmente). Estos cambios de voltaje constituyen los PRE (Coles y Rugg, 1995).

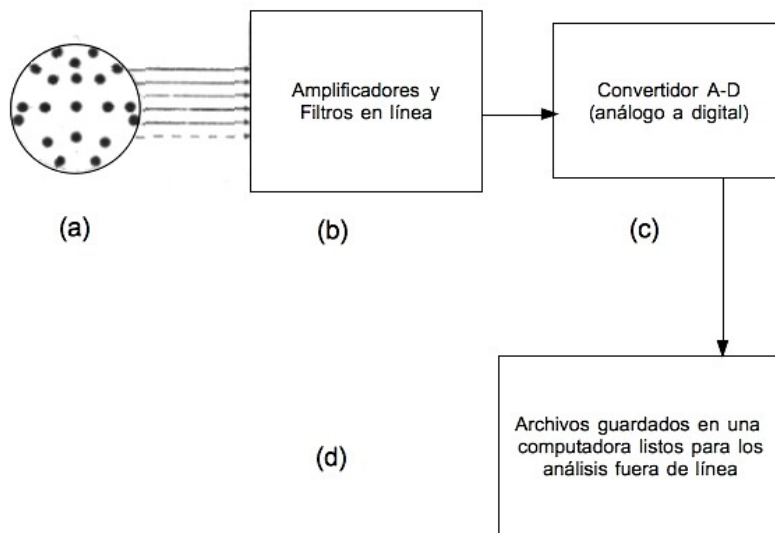


Figura 5. Diagrama de la adquisición de datos electrofisiológicos. (a) electrodos colocados en el cuero cabelludo, generalmente de acuerdo con las posiciones propuestas en el sistema 10-20 internacional (Jasper, 1958), el cual establece la localización de cada electrodo a partir de dos coordenadas, una letra por su proximidad con una región cerebral (frontal, parietal, temporal y occipital) y un número por su ubicación en el plano lateral (nones izquierda, pares derecha y “z” para los centrales). Los electrodos se conectan a un amplificador (b), cuya salida revela el patrón de variación de voltaje a través del tiempo. Esta señal análoga es enviada a un convertidor (c), el cual traduce la señal a una digital para ser procesada fuera de línea (*off-line*) por el *software* (d) necesario en una computadora (Figura 5) (Fabiani, Gratton y Federmeier, 2007).

Los PRE son pequeños (unos cuantos μV) en comparación con el EEG, por lo que se necesita extraer la “señal” (PRE) de la actividad eléctrica cerebral no asociada al estímulo, la cual “obscurece” a ésta y es referida como “ruido” (EEG de fondo). Los PRE son regularmente extraídos del EEG de fondo al promediar las épocas, ya que el ruido, por su carácter aleatorio,

tiende a desaparecer. Mientras más épocas son promediadas, la cantidad de ruido residual del EEG va disminuyendo progresivamente, por lo que es crucial utilizar un número suficiente de estímulos en los diseños experimentales que utilizan PRE¹⁸ (Fabiani, Gratton y Federmeier, 2007).

Definición de componente y su medición

Después de que la señal ha sido extraída, la investigación suele concentrarse en alguna característica de la onda resultante (un pico o valle), y esta característica se convierte en el “componente” de interés (Coles y Rugg, 1995). Según Luck (2005), un componente es “actividad neural registrada en el cuero cabelludo, que es generada en un módulo neuroanatómico cuando una operación computacional específica es efectuada”. Con esto da a entender que un componente puede ocurrir en diferentes tiempos y bajo distintas condiciones, siempre y cuando surja del mismo módulo y represente la misma función cognitiva. Puede ocurrir en diferentes momentos (latencias), debido a la diferencia que podría haber en el tiempo necesario para reconocer y procesar un estímulo junto con las interacciones con la memoria de trabajo. También la amplitud e incluso la polaridad de un componente puede ser variable, ya que la misma función cognitiva puede ocurrir en diferentes partes de un mismo módulo cognitivo en diferentes circunstancias.

Los componentes son usualmente denominados con base en ciertas características definitorias como la polaridad, la cual se refiere a si el componente es positivo o negativo, y la latencia, la cual se refiere al tiempo (en milisegundos o ms) que tarda un componente en aparecer. De este

¹⁸ La reducción del ruido no es una función lineal, sino que el decremento es en función de la raíz cuadrada del número de ensayos presentes en el promedio (Luck, 2005).

modo el componente P300 es un componente positivo cuyo pico máximo aparece alrededor de los 300 ms. También se pueden tomar en cuenta el orden de aparición de los componentes a partir de un estímulo, como en el caso de el componente N1 (el cual es el primer componente negativo en una onda PRE), e incluso pueden ser definidos según su liga con algún proceso cognitivo, como el caso de la ERN (por sus siglas en inglés, *Error related negativity*, o Negatividad relacionada con el error) (Fabiani, Gratton y Federmeier, 2007).

Desde el punto de vista psicológico, se ha hecho la distinción de componentes cuyas características están controladas, en su mayor parte, por las propiedades físicas de un estímulo (exógenos) y componentes que están determinados, en su mayor parte, por la interacción entre la persona y el evento (endógenos). Sin embargo, esta distinción no es una división tajante, sino que es en realidad un continuo, ya que casi todos los componentes sensoriales tempranos (visuales, auditivos o somatosensoriales) pueden ser modificados por manipulaciones cognitivas, así como muchos de los componentes tardíos pueden verse afectados por las características físicas de un estímulo. En consecuencia, componentes tempranos (hasta 100 ms) tienden a ser más exógenos y componentes más tardíos tienden a ser más endógenos (Coles y Rugg, 1995).

La medición del componente puede ser efectuada de forma relativamente simple, determinando su amplitud (en μV), respecto a una línea base normalmente establecida a partir de un intervalo anterior al estímulo, y su latencia (en ms) a partir de la presentación del estímulo y hasta el punto de amplitud mínima o máxima del componente (Fabiani, Gratton y Federmeier, 2007) (Figura 6).

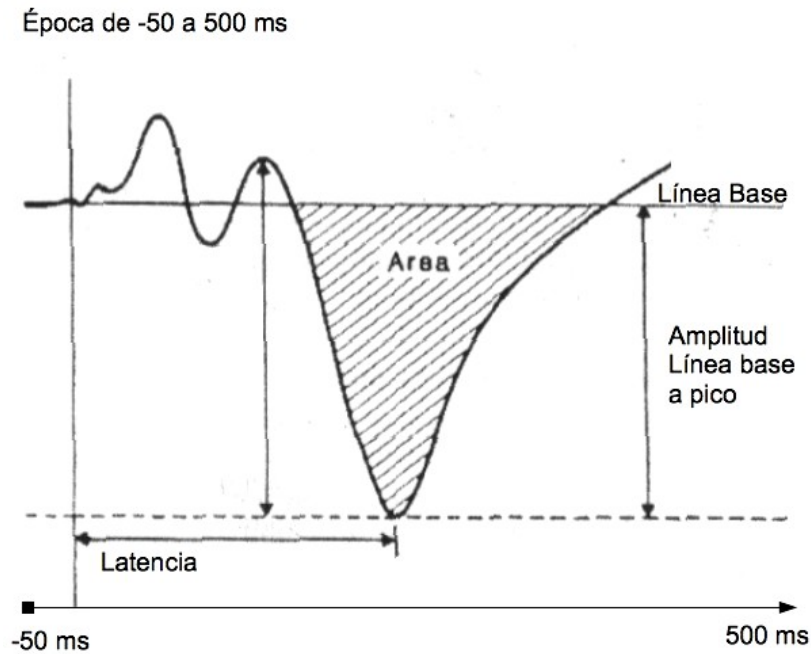


Figura 6. Mediciones de amplitud y latencia que se hacen a una onda PRE (extraído de Fabiani, Gratton y Federmeier, 2007).

También es posible, si el número y colocación de los electrodos lo permite, medir la distribución topográfica, la cual se refiere a la distribución de la actividad eléctrica cerebral (en este caso el componente) en el cuero cabelludo (Luck, 2005).

Ventajas y limitaciones de los PRE

Los PRE reflejan actividad cerebral de poblaciones de neuronas activas en sincronía (potenciales post-sinápticos principalmente), cuya orientación permite su acumulación en el cuero cabelludo. Ésta ocurre en preparación para o como respuesta a eventos discretos (sensoriales, motores o cognitivos). En otras palabras, los PRE son reconocidos como manifestaciones neurales de funciones psicológicas específicas. Por su alta resolución

temporal (del orden de ms), los PRE permiten analizar la actividad cerebral en términos de pasos o etapas de un proceso o función. Sin embargo, existen una serie de consideraciones que es necesario tomar en cuenta, pues reducen significativamente el tipo de problemas que ésta herramienta permite abordar (Luck, 2005).

La Tabla 1 hace una comparación de las ventajas y limitaciones que nos dan las herramientas de investigación psicofisiológica, en términos de invasividad,¹⁹ resolución espacial, resolución temporal y costo.

	Mediciones a partir de Electrodo Intracraneales	Mediciones Hemodinámicas (TEP y IRMf)	Mediciones Electromagnéticas (MEG y PRE)
Invasividad	Alto grado	Bajo grado (TEP, IRMf)	Bajo grado
Resolución Espacial	Excelente	Buena	Indefinida/Pobre (PRE) Indefinida/Mejor (MEG)
Resolución Temporal	Excelente	Pobre	Excelente
Costo	Alto	Alto	Bajo (PRE) Alto (MEG)

Tabla 1. Ventajas y limitaciones de diferentes herramientas de medición psicofisiológica (Fabiani, Gratton y Federmeier, 2007). MEG: magnetoencefalografía.

La principal ventaja de los PRE, es que brindan una medición continua de procesamiento neural con una resolución temporal óptima entre estímulo y respuesta, lo cual hace posible determinar qué etapa o etapas de éste están siendo afectadas o moduladas por una manipulación experimental específica. El monitoreo del procesamiento del estímulo es posible aún cuando no hay una respuesta conductual. La gran limitante de los PRE es la resolución

¹⁹ Un estudio que implica generar daño en el cerebro de un sujeto es más invasivo que uno que sólo implica resolver un cuestionario. Por eso el primer tipo de estudio está limitado a otro tipo de participantes (animales principalmente).

El efecto del contexto musical sobre el mecanismo de detección automática de la disparidad auditiva

espacial, ya que el número de configuraciones de las posibles fuentes generadoras de la actividad registrada, es prácticamente infinita. Este hecho complica el aislamiento de un componente específico en una onda de PRE, ya que ésta refleja contribuciones de diferentes fuentes neurales generadoras, que a su vez reflejan distintos procesos neurocognitivos (Fabiani, Gratton y Federmeier, 2007).

5. PRE auditivos y detección de disparidad

La percepción y cognición del sonido pueden ser conceptualizadas como un proceso, en el cual las primeras etapas son automáticas, independientes de atención, y las últimas son las más dependientes de esfuerzos atencionales y estrategias cognitivas por parte del escucha²⁰ (Tervaniemi, 2003).

El escucha humano comienza cuando un sonido alcanza al oído, entonces, una compleja cascada de eventos mecánicos y electro-químicos es puesta en movimiento. Actividad neural en la cóclea, tallo cerebral, núcleos del mesencéfalo y corteza cerebral, resultan rápidamente en una percepción auditiva (Kandel, Schwartz y Jessel, 2000).

Bajo condiciones adecuadas, es posible observar una serie de picos en los primeros 10 ms a partir del comienzo de un estímulo, los cuales surgen de varias etapas de procesamiento a lo largo de las vías auditivas del tallo cerebral. Estos picos son llamados BER (por sus siglas en inglés: *brainstem evoked responses*, potenciales evocados por el tallo cerebral, (Figura 7b) y se utilizan para evaluar daño en las vías auditivas, lo cual es especialmente útil para estudios

²⁰ En estas últimas etapas es donde la forma de escuchar (la cual en caso de una bailarina podría incluir áreas motoras, pero en caso de un compositor podrían ser áreas visuales), contribuyen a la subjetividad de la percepción musical.

con infantes y trastornos neurológicos (Fabiani, Gratton y Federmeier, 2007).

Después de los BER, viene una serie de componentes identificados como de “latencia media” (latencias entre 10 y 50 ms, Figura 7a), los cuales surgen, al menos en parte, del núcleo geniculado medial y la CAP. La atención tiene sus primeros efectos confiables en este nivel (corteza temporal), es decir, los componentes de latencia media pueden ser modulados por la atención (Luck, 2005).

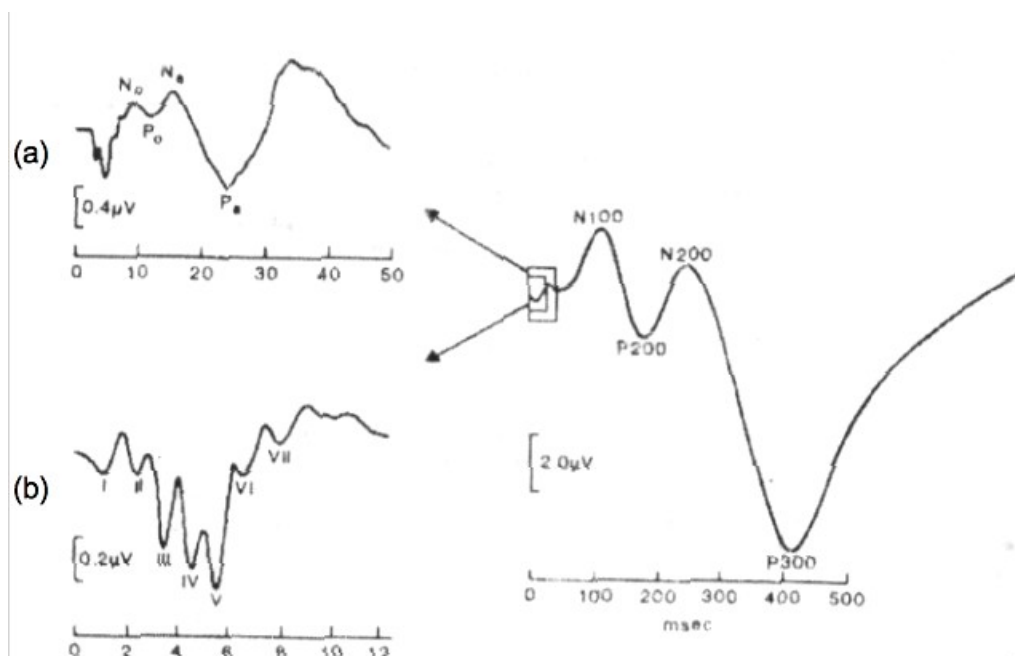


Figura 7. Potenciales evocados de tallo cerebral (b) y los componentes de latencia media (a) extraídos de la onda PRE (Tomado de Fabiani, Gratton y Federmeier, 2007).

Detalles específicos de las características acústicas son procesados principalmente en la corteza auditiva primaria (Kaas, 1999). Estas operaciones parecen estar reflejadas en registros electrofisiológicos donde se obtienen PRE de latencias de hasta 100 ms (Koelsch y Siebel, 2005). Liégois-Chauvel et al. (2003) investigaron el procesamiento de tonos de diferentes

frecuencias en la corteza auditiva de ambos hemisferios cerebrales, a través de PRE intracraneales colocados en las cortezas auditivas primaria (CAP) y secundaria (CAS). Se encontraron tres componentes electrofisiológicos. El primer componente se encontró a los 30 ms tras la presentación del estímulo y fue generado por la CAP. La amplitud del segundo componente fue máxima a los 50 ms en regiones medias de la CAP para frecuencias altas (4000 Hz) y en regiones laterales para frecuencias bajas (400-500 Hz). El tercer componente con latencias de 75-100 ms, denominado N1, fue generado en las áreas auditivas secundarias anterior y lateral a la CAP. Para este componente se registró una organización medio-lateral y antero-posterior tonotópica. Frecuencias altas fueron procesadas por grupos neuronales localizadas en regiones postero-mediales, mientras que frecuencias bajas fueron procesadas en regiones antero-laterales.

Estos resultados fueron exclusivos para las áreas secundarias derechas; en el hemisferio izquierdo se encontró una distribución menos clara, con poblaciones neuronales que respondieron a más de una frecuencia o a un amplio rango de ellas. Al haber diferencias en la selectividad de la respuesta de neuronas en el hemisferio derecho respecto al izquierdo, se concluyó que las neuronas del hemisferio derecho están más afinadas a frecuencias que neuronas en la zona homóloga izquierda (Liégeois-Chauvel *et al.*, 2003).

Otros estudios que utilizan PRE y magneto encefalografía (MEG) han obtenido el componente N1 (o su equivalente con MEG: N1m); éste aparece simplemente por la presentación de un estímulo auditivo (Lavikainen, Huotilainen, Ilmoniemi, Simola y Näätänen, 1995). Normalmente, tiene una distribución fronto-central, es automático y tiene su máximo

alrededor de los 75 ms a partir de la aparición de un estímulo auditivo (Luck, 2005).

La onda N1 refleja una activación neural específica ante diferentes atributos del sonido, debido a que, ante la constante repetición de un estímulo, se atenúa la respuesta neural (habituaación), es entonces cuando un sonido desviado puede reestablecer la respuesta completa a través de la activación de nuevos elementos nerviosos aferentes (no habituados) (Horvath, Winkler y Bendixen, 2008). Esto se aprecia en la onda PRE como un incremento de la N1 ante la disparidad auditiva (Näätänen y Picton, 1987). La N1 entonces, puede ser considerada como el correlato electrofisiológico de la detección de disparidad auditiva de primer orden (Horvath et al, 2008; Rinne, Särkkä, Degerman, Schröger y Alho, 2006).

Disparidad Auditiva

Nos referimos como “disparidad auditiva” al cambio (infrecuente) que se da dentro de una estimulación acústica regular (frecuente). Los sonidos que conforman la regularidad son llamados “estándar” y forman un “contexto acústico”. Aquellos sonidos que se salen de este “contexto” al violar alguna de sus regularidades, son llamados “desviados”.

Después de que se han extraído las características principales del sonido (N1), la información acústica entra a la memoria sensorial, donde se construyen y mantienen representaciones cognitivas del pasado auditivo inmediato, estas representaciones cognitivas son de suma importancia, ya que, nos permiten reaccionar ante eventos sonoros potencialmente relevantes (Koelsch y Siebel, 2005). Cada sonido es automáticamente²¹ comparado con estas

²¹ Para mantener contacto con información del medio acústico potencialmente relevante, el cerebro humano procesa sonidos independientemente de nuestra atención (automáticamente).

representaciones (guardadas en nuestra memoria sensorial) y si alguna de las regularidades establecidas es modificada, se produce una disparidad neural (*miss-match*) con los parámetros del sonido desviado que representa el cambio (Tervaniemi, 2003). La señal electrofisiológica que refleja esta etapa del procesamiento ha sido llamada *miss-match negativity* (MMN o negatividad de disparidad) (Näätänen, Tervaniemi, Sussman, Paavilainen y Winkler, 2001).

La MMN es considerada el correlato electrofisiológico de la detección de disparidad auditiva de segundo orden (Horvath et al. 2008; Rinne et al. 2006). Es un componente de distribución topográfica fronto-central y una latencia que varía desde los 100 hasta los 250 ms. Es obtenida ante cambios (desviaciones) auditivos que se presentan irregularmente y exceden cierto umbral (Näätänen, Paavilainen, Rinne y Alho, 2007). Su presencia implica que los parámetros invariantes del sonido estándar (contexto) fueron neuralmente codificados, por lo que puede ser considerada un índice del rastro de memoria sensorial auditiva (Sabri, Kareken, Dzemizdic, Lowe y Melara, 2004). Se ha demostrado que la amplitud y latencia de la MMN se correlacionan fuertemente con la discriminación conductual del cambio acústico, siendo las mayores amplitudes y las menores latencias las que se correlacionan con las discriminaciones de cambio más exactas (Tiitinen, May, Reinikainen y Näätänen, 1994).

En un estudio Tervaniemi (2003) evaluó diferencias entre MMN obtenidas ante tonos puros sinusoidales y tonos complejos²². Se utilizaron diferentes magnitudes de cambio espectral para los estímulos desviados. Las MMN obtenidas para los tonos complejos fueron más amplias

²² Los cuales a parte de la frecuencia fundamental (equivalente al tono puro) incluye otras frecuencias adicionales (armónicos). Los sonidos que se encuentran naturalmente son complejos mientras que los tonos puros sinusoidales son generados en laboratorios.

que las de los tonos puros, por lo que se concluye que la discriminación de cambio acústico es más exacta con los tonos complejos aún cuando estos contienen más información (Figura 8).

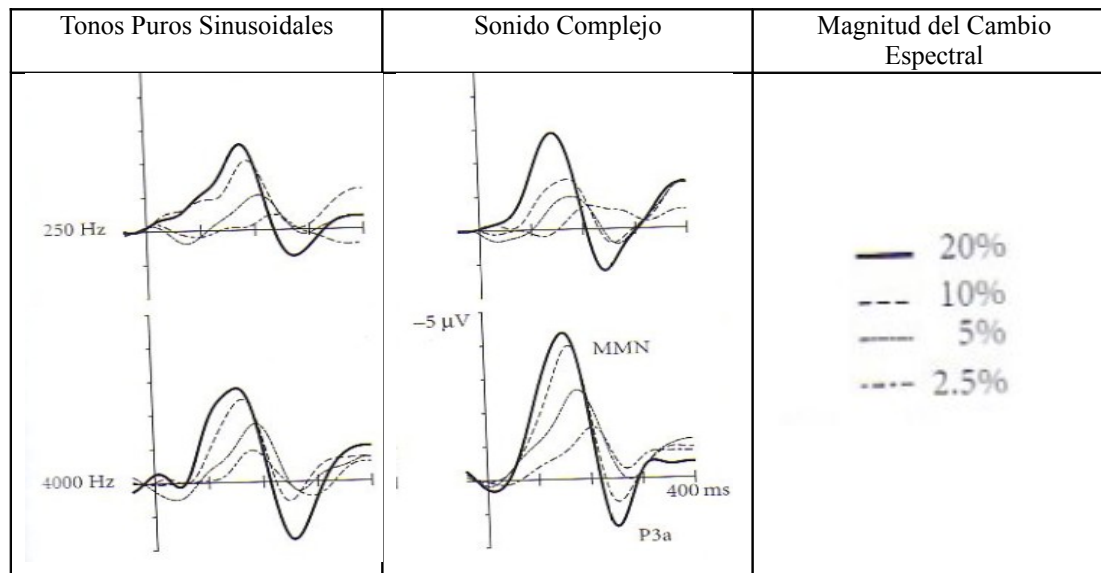


Figura 8. La MMN obtenida por cambios de frecuencia del 2.5, 5, 10 y 20 por ciento respecto a los sonidos estándar en tonos puros sinusoidales (izquierda) y tonos complejos (derecha). Las líneas muestran la onda diferencia producto de la sustracción de los estímulos estándar a los estímulos desviados. Extraído de Tervaniemi (2003).

La MMN es generada principalmente en la corteza auditiva primaria y por áreas circundantes inmediatas como es indicado por estudios con MEG (Sussman, Winkler y Huotilainen, 2002) y estudios con PRE en combinación con TEP (Tervaniemi, Medvedev y Alho, 2000); estas regiones se ubican anterior e inferiormente respecto a las involucradas en la generación de la N1 (Lavikainen et al. 1995). También se han reportado como fuentes generadoras, algunas áreas de la corteza frontal de acuerdo con estudios con PRE en combinación con IRMf (Opitz, Rinne y Mecklinger, 2002). Se ha sugerido una contribución diferencial de estos generadores

(frontales y temporales) a la MMN dependiendo de las características de la tarea o los estímulos experimentales (Wolff y Schröger, 2001).

Se ha encontrado que la MMN es sensible a desviaciones de los principales atributos del sonido, como son: frecuencia (Hari et al., 1984), timbre (Tervaniemi, Winkler y Näätänen, 1997), intensidad (Rinne et al. 2006) y duración (Näätänen, Paavilainen y Reinikainen, 1989). Se ha sugerido además que la detección de cambio reflejada por la MMN es específica para cada atributo del sonido, ya que al variar dos de estos atributos (Ej. intensidad y timbre) en un mismo estímulo desviado, se provoca que la amplitud de la MMN se duplique, demostrando un efecto aditivo (Wolff y Schröger, 2001). También se ha encontrado que la MMN y la MMNm (su equivalente en MEG) es sensible a la omisión ocasional del sonido (Yabe, Tervaniemi, Reinikainen, y Näätänen, 1997; Yabe *et al.*, 1998; Yabe et al. 2001) y a cambios de relaciones abstractas dentro de un “contexto” acústico (Horvath y Winkler, 2004; Näätänen et al. 2001).

Grimm, Roeber, Trujillo-Barreto y Schröger (2006) estudiaron el efecto de desviaciones de duración de sonidos y modulaciones de frecuencia a distancias de 100, 200, 300 y 400 ms del inicio del sonido (Figura 9). Tanto los acortamientos de la duración del sonido como las modulaciones de frecuencia, obtuvieron MMN de amplitudes y latencias similares. Las amplitudes mostraron un declive importante cuando el estímulo desviado se encontraba a 400 ms del inicio del sonido.

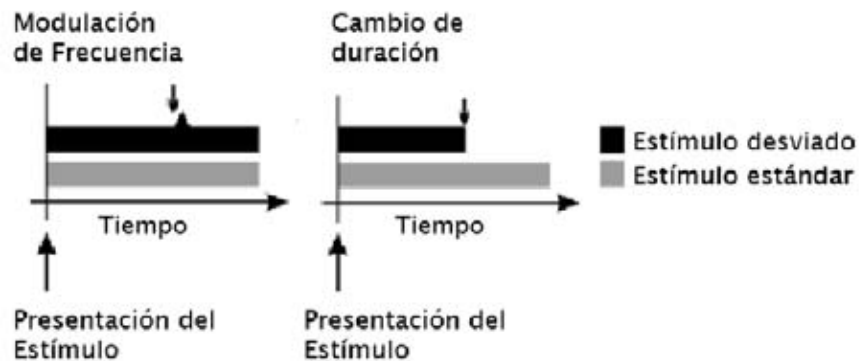


Figura 9. Estímulos estándar (gris) y desviados (negro) utilizados en el experimento de Grimm *et al.* (2006).

También encontraron que la distribución topográfica de los estímulos desviados de duración era bilateral, mientras que las modulaciones de frecuencia se distribuyeron predominantemente en el hemisferio cerebral derecho. Con esto concluyeron que el mecanismo de detección de disparidad temporal y espectral (frecuencia) opera en ventanas de tiempo muy similares, pero su distribución topográfica es distinta.

Música y disparidad auditiva

Griffiths (2003) elaboró una representación modular de la percepción de sonidos complejos relevantes para la música (Figura 10). Ésta consiste en 3 niveles: el primero está a cargo de mecanismos que analizan características acústicas simples; el segundo está conformado por mecanismos sensibles a características acústicas complejas, las cuales están formadas a partir de patrones de las características acústicas simples en función del tiempo (involucran memoria de trabajo); por último, el tercer nivel, el cual está basado en mecanismos sensibles a características semánticas, las cuales son asociaciones aprendidas de significados con patrones acústicos.

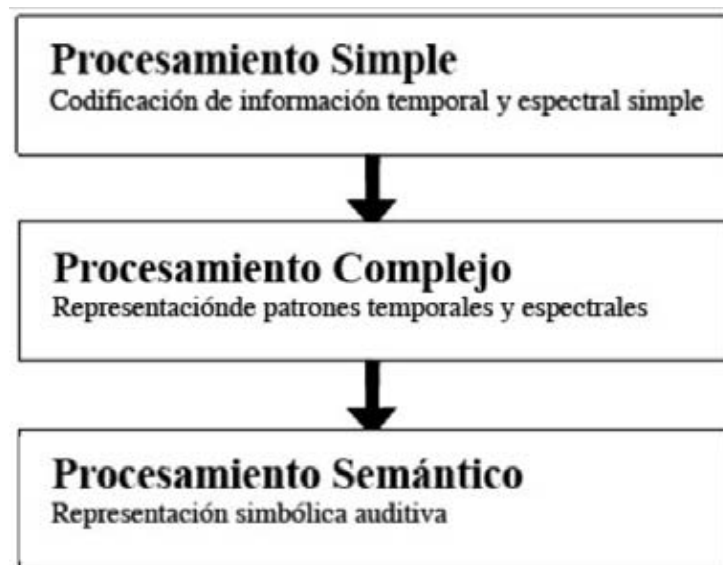


Figura 10. Representación modular de la percepción de sonidos complejos relevantes para la música. Extraído de Griffiths (2003).

Los componentes electrofisiológicos N1 y MMN son herramientas especialmente útiles para el estudio del procesamiento musical en términos de este modelo. La N1 está relacionada a características acústicas simples (primer nivel), y la MMN es sensible al “contexto” acústico, el cual se forma a partir de patrones de características acústicas simples en función del tiempo (segundo nivel)²³

Existen varios estudios sobre percepción musical y MMN. Goydke, Altenmüller, Moller y Munte (2008) evaluaron a 12 personas sin entrenamiento musical formal y con edades de entre 20 y 36 años. Encontraron una MMN utilizando como estímulos estándar melodías formadas por violín, en una condición, o flauta, en otra, utilizando desviaciones de timbre (violín y flauta), de altura tonal y de emoción asociada al estímulo auditivo (diferencias de timbre

²³ El tercer nivel de procesamiento auditivo relevante para la percepción musical, propuesto por Griffiths (2003), no es reflejado en los componentes N1 y MMN.

asociadas a valencias emocionales: triste y alegre). Las distribuciones topográficas fueron muy similares, lo que sugiere que la MMN obtenida ante desviaciones de timbre y altura tonal en la música, tiene los mismos generadores neurales.

En un estudio con MEG se investigaron diferencias en MMNm en dos condiciones, una representada por un contexto musical, y la otra formada por un contexto fonético. Su complejidad y propiedades físicas eran lo más similar posible y la desviación del estímulo dispar se mantuvo como equivalente en ambas condiciones. Se encontraron diferencias significativas entre los generadores de la MMNm obtenida en la condición de estímulos fonéticos, la cual mostraba una predominancia izquierda, y la obtenida con estímulos musicales, la cual tenía una lateralización derecha. Esto sugiere diferentes fuentes neurales responsables de la detección de disparidad indicada por la MMNm (Tervaniemi, Kujala y Alho, 1999). Un estudio similar, pero de PRE y TEP, encontró que estímulos fonéticos fueron procesados en el giro medio y supra-temporal izquierdos, mientras que los estímulos musicales en el giro supra-temporal derecho (Tervaniemi *et al.* 2000).

Brattico, Näätänen y Tervaniemi (2002) investigaron los efectos del contexto musical sobre la detección de disparidad reflejada por la MMN. Los autores analizaron irregularidades representadas por cambios de frecuencia de 144 Hz en 3 condiciones. La primera consistía en sonidos aislados de 554 Hz (contexto no musical). La segunda estaba conformada por la escala musical occidental (contexto familiar) y la tercera estaba conformada por una escala inventada (contexto no-familiar) de frecuencias intermedias de la escala musical occidental. La amplitud de la MMN fue mayor para el contexto familiar que para el contexto no familiar y también fue

El efecto del contexto musical sobre el mecanismo de detección automática de la disparidad auditiva

mayor para contextos formados por escalas de tipo musical que para el contexto de sonidos aislados. Este estudio concluye que el contexto musical facilita la detección de cambio (de frecuencia), especialmente cuando es familiar.

Los estudios mencionados investigaron el efecto del contexto musical sobre la detección de disparidad auditiva (representada por MMN), pero se han concentrado en los aspectos tonales de éste, sus diferencias con contextos fonéticos, o bien, en las características del estímulo desviado. No existen estudios que reporten los efectos probablemente independientes de contextos musicales rítmicos y tonales sobre este mecanismo. Este trabajo buscó investigar lo anterior, y está motivado por el papel determinante que ambas características tienen para la cognición musical, además de su grado de independencia. Esto ha sido indicado por la teoría musical (Jackendoff y Lerdahl, 2006), teorías evolutivas (Mithen, 2006; Hatfield, Cacioppo y Rapson, 1994), modelos neuropsicológicos (Perez y Colheart, 2003) y estudios de imagen cerebral (Parsons, 2003; Zatorre, 2003).

MÉTODO

Justificación

La música da lugar a un fenómeno cognitivo complejo, el cual genera una gran diversidad de conductas propias de la especie humana; la dificultad de definirla viene de la mano con todas las posturas desde las cuales puede ser abordada (antropología, historia, arqueología, etnomusicología, neuropsicología, comunicación, neurociencia, cognición, etc). Sin duda, la música representa una herramienta ideal para el estudio de la cognición humana, de su anatomía subyacente y su organización.

Esta tesis pretende contribuir al entendimiento de procesos auditivos tempranos y características neurofisiológicas propias de la percepción musical. Es el primer estudio en investigar la influencia que tienen las dos dimensiones básicas de organización musical (alturas tonales y ritmo), sobre el mecanismo automático de detección de disparidad auditiva.

Los resultados de este estudio ampliarán la información en los siguientes niveles:

- Teórico - Si el mecanismo de detección de disparidad auditiva, el cual es responsable de un proceso inmediato, automático, pre-atencional y que por tanto puede ser considerado básico en términos cognitivos, es sensible a características contextuales musicales, se reforzaría la hipótesis de que las capacidades musicales son universales y están arraigadas en la historia evolutiva del ser humano.
- Metodológico - La utilización de los PRE permitirá analizar ciertas etapas tempranas del procesamiento perceptual musical. Gracias a que la técnica no requiere la respuesta

El efecto del contexto musical sobre el mecanismo de detección automática de la disparidad auditiva

conductual de los sujetos, se pueden investigar respuestas automáticas como las representadas por N1 y MMN y a su vez, se pueden confirmar estudios previos que muestran a la MMN como una señal electrofisiológica sensible a contextos auditivos complejos.

- Social – Contribuciones al primer punto marcan la relevancia social de la capacidad musical, mientras que contribuciones al segundo, indican la utilidad de la herramienta (PRE: N1 y MMN) para el estudio y evaluación neuropsicológico de esta capacidad en poblaciones infantiles y/o clínicas.

Planteamiento del Problema

Se sabe que el mecanismo de detección automática de disparidad auditiva es sensible a diferentes contextos auditivos. ¿Cuál es el efecto del contexto musical sobre la detección automática de disparidad auditiva, medido con potenciales relacionados con eventos? Una modulación causada por contextos musicales en este nivel básico de procesamiento, podría apoyar la hipótesis de la capacidad musical en el humano como universal.

Objetivos

Objetivo General

Analizar el efecto del contexto musical sobre la detección automática de disparidad auditiva, por medio de potenciales relacionados con eventos.

Objetivos específicos

- Estimar la amplitud, latencia y distribución topográfica de las ondas N1 y MMN, obtenidas en un contexto musical (sus notas están organizadas en las dimensiones básicas de organización musical: alturas tonales y ritmo).
- Estimar la amplitud, latencia y distribución topográfica de las ondas N1 y MMN, obtenidas en un contexto tonal (notas organizadas sólo en la dimensión musical de las alturas tonales).
- Estimar la amplitud, latencia y distribución topográfica de las ondas N1 y MMN, obtenidas en un contexto rítmico (notas organizadas sólo en la dimensión musical del ritmo).
- Estimar la amplitud, latencia y distribución topográfica de las ondas N1 y MMN, obtenidas en un contexto no musical o control (sus notas no están organizadas musicalmente).
- Comparar el comportamiento de las ondas N1 y MMN entre todas las condiciones.

Hipótesis

- Existirán diferencias en la amplitud, latencia y distribución topográfica de la N1 obtenida en un contexto musical (que contiene diferentes alturas tonales y duraciones de las notas), respecto a las obtenidas en un contexto tonal (diferentes alturas tonales), en un contexto rítmico (diferentes duraciones de las notas) y en un contexto no musical.
- Existirán diferencias en la amplitud, latencia y distribución topográfica de la MMN

El efecto del contexto musical sobre el mecanismo de detección automática de la disparidad auditiva

obtenida en un contexto musical (que contiene diferentes alturas tonales y duraciones de las notas), respecto a las obtenidas en un contexto tonal (diferentes alturas tonales), en un contexto rítmico (diferentes duraciones de las notas) y en un contexto no musical.

Definición de Variables

Variables Independientes

1. Contexto Musical

- Definición Conceptual: Sonido organizado (Clayson, 2002), en dos dimensiones: alturas tonales y ritmo (Jackendoff y Lerdahl, 2006).
- Definición Operacional: El contexto musical estuvo representado por la condición experimental musical.

2. Contexto Tonal

- Definición Conceptual: Sonido organizado en la dimensión musical de alturas tonales (Jackendoff y Lerdahl, 2006).
- Definición Operacional: El contexto tonal estuvo representado por la condición experimental tonal.

3. Contexto rítmico

- Definición Conceptual: Sonido organizado en la dimensión musical del ritmo (Jackendoff y Lerdahl, 2006).

El efecto del contexto musical sobre el mecanismo de detección automática de la disparidad auditiva

- Definición Operacional: El contexto rítmico estuvo representado por la condición experimental rítmica.

4. Contexto no musical

- Definición Conceptual: Contexto control en el que no hay una organización musical de las notas
- Definición Operacional: El contexto no musical estuvo representado por la condición experimental no musical o control.

Variables Dependientes

1. Detección de disparidad de primer orden

- Definición Conceptual: La respuesta automática ante una desviación en un contexto auditivo regular de primer orden (Rinne et al., 2006).
- Definición Operacional: Está representada por las mediciones de amplitud, latencia y distribución topográfica de la N1

2. Detección de disparidad de segundo orden

- Definición Conceptual: La respuesta automática ante una desviación en un contexto auditivo regular de segundo orden (Rinne et al., 2006).
- Definición Operacional: Está representada por las mediciones de amplitud, latencia y distribución topográfica de la MMN

Participantes

La muestra estuvo conformada por 20 participantes, 10 hombres y 10 mujeres universitarios, de entre 20 y 26 años de edad, diestros y que reportaron tener audición normal. Como criterios de exclusión se consideraron el entrenamiento musical formal, contar con diagnóstico neurológico y/o psiquiátrico, estar bajo tratamiento psicofarmacológico y el uso regular de drogas de abuso. Los criterios de eliminación fueron el abandono del estudio por parte del sujeto, falta de cooperación y/o registro electroencefalográfico con demasiado artefacto.

Instrumentos

Condiciones experimentales y estímulos

Los estímulos estuvieron constituidos por series de 8 notas (tonos complejos) generadas digitalmente con el software Garage Band (Apple Inc.), con una duración total de 4 segundos y timbre de piano, a partir de un fragmento de la canción “Never there” (Cake, Capricorn Records). Las notas que constituyeron cada estímulo estuvieron determinadas por cuatro condiciones experimentales, las cuales fueron: a) condición musical, b) condición tonal, c) condición rítmica, d) condición no-musical.

a) La Condición Musical contuvo estímulos que contenían la siguiente serie de notas:



El efecto del contexto musical sobre el mecanismo de detección automática de la disparidad auditiva

En esta serie, las diferentes alturas tonales y diferentes duraciones de las notas, se manifiestan en las dos dimensiones de organización musical, rítmica y tonal, dando así un contexto auditivo musical.

b) La Condición Tonal contuvo estímulos que contenían la siguiente serie de notas:



En esta serie, las alturas tonales preservan su carácter musical, mientras que sus duraciones están homogeneizadas (cuartos de nota), aunque sigue habiendo un ritmo (o duración, una de las 4 características básicas de todo sonido), este es menos reconocible como musical. Las alturas tonales de las notas en esta condición son iguales a las alturas tonales utilizadas en la condición musical.

c) La Condición Rítmica contuvo estímulos que contenían la siguiente serie de notas:



En esta serie, las duraciones de las notas preservan su carácter musical, mientras que las alturas tonales fueron homogeneizadas. Aunque sigue habiendo alturas tonales (una de las 4 características básicas de todo sonido), su distribución es menos reconocible como musical. Las duraciones de las notas son iguales a las de la condición musical.

d) La Condición No Musical o Control contuvo estímulos que contenían la siguiente serie de notas:



En esta serie tanto las alturas tonales (La) como las duraciones (cuartos de nota) de las notas están homogeneizadas, formando un tren monótono de sonido, difícilmente reconocido como música.

Cada condición experimental consistió en un paradigma modificado de *oddball* y estuvo conformada por 400 estímulos, 84% (336) de ellos son los descritos antes y fueron llamados Estímulos Frecuentes (EF). El 16% (64) de los estímulos restantes, fueron llamados Estímulos Infrecuentes (EI), los cuales tuvieron una variante consistente en un silencio, sustituyendo una de las notas de la serie de 8 que conformaron a cada estímulo, de modo que cada “EI” estuvo conformado por 7 notas y un silencio. Para evitar la expectativa a la nota faltante, los silencios, sustituyeron en el 50% (32) de los casos, a la tercera nota, y en el 50% (32) a la sexta nota (Figura 11).



Figura 11. Notación musical de los estímulos infrecuentes

Al principio de cada condición hubo 30 EF y el resto de los estímulos fue presentado pseudo-aleatoriamente, con al menos 2 EF entre cada EI. Hubo un intervalo entre cada estímulo de 50 ms, de modo que cada condición tuvo una duración total de 27 minutos. Los estímulos fueron presentados biauralmente y con un volumen de 65 dB a través de audífonos. El diseño de todas las condiciones experimentales se realizó mediante el software Stim 2 (Neuroscan Inc.).

PRE

El EEG fue obtenido digitalmente mediante el software Scan 4.3 (Neuroscan Inc.), con una

tasa de muestreo de 250 Hz a partir de 21 electrodos de estaño colocados en el cuero cabelludo por medio de una gorra elástica (Electro-Cap), de acuerdo con el sistema 10-20 internacional (Jasper, 1958). Estos sitios de registro, además de 2 electrodos en mastoides (M1 y M2) y dos para movimientos oculares (EOG1 y EOG2), fueron referenciados a los lóbulos de las orejas. Se mantuvieron impedancias debajo de 5 Kohms. Se eliminaron del análisis posterior aquellos segmentos del registro que contuvieron artefactos oculares con amplitudes de $\pm 50 \mu\text{V}$. Se utilizó un amplificador NuAmps (Neuroscan Inc.) con un ancho de banda en línea de 0.5 a 30 Hz. Adicionalmente se aplicó un filtro fuera de línea de 1 a 30 Hz. Se seleccionaron ventanas del EEG de 700 ms; incluyendo 100 ms previos a la presentación de la tercera o sexta nota que, luego de ser corregidas respecto al intervalo pre-estímulo, a modo de línea base, fueron promediadas independientemente para EF y EI. Se utilizaron para este análisis sólo nueve derivaciones (F3, Fz, F4, C3, Cz, C4, P3, Pz y P4). Los componentes electrofisiológicos (N1, MMN) fueron obtenidos a partir de la onda diferencia, obtenida a través de la sustracción de la representación electrofisiológica del promedio de la tercera o sexta nota de los EF, al promedio de la tercera o sexta nota de los EI, para cada condición experimental (EI-EF).

La N1 fue definida como el pico negativo máximo de la onda diferencia en el rango de 20 a 100 ms. La MMN fue definida como el pico negativo máximo de la onda diferencia en el rango de 100 a 250 ms. Las mediciones utilizadas para la obtención de los resultados fueron: a) latencias, indicadas por el tiempo (ms) transcurrido entre el inicio de la tercera o sexta nota y el pico máximo en el electrodo FZ (donde se aprecia más claramente la onda electrofisiológica) y b) amplitudes medias de todas las derivaciones, obtenidas a partir del promedio de amplitud a partir del pico máximo ± 10 ms para cada punto de registro.

Tipo de diseño

Diseño experimental de un grupo con medidas repetidas (del tipo grupos correlacionados) con un alcance descriptivo (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 2006).

Procedimiento

Luego de brindar su consentimiento informado, los participantes se sentaron en un asiento cómodo, donde fueron preparados a través de la colocación de los electrodos en el cuero cabelludo y su conexión al equipo de registro electrofisiológico. El registro se llevó a cabo en un cuarto disminuido acústicamente, donde se le dio, a cada participante, la instrucción de ignorar los estímulos auditivos mientras jugaban un videojuego. El videojuego aplicado fue el *New Super Mario Bros*, a través de una consola de Nintendo Dsi (Nintendo Inc.). Cada participante escuchó las cuatro condiciones en orden contrabalanceado entre sujetos. Al finalizar cada condición se les dieron cinco minutos de descanso. La duración total del experimento fue de 2 hrs. 15 min., aproximadamente.

Análisis Estadístico

Se realizó un análisis descriptivo (Medias, DE, %) para variables sociodemográficas (edad, género y escolaridad). Para medir los efectos contextuales sobre las latencias de los componentes electrofisiológicos se llevó a cabo un ANOVA de medidas repetidas para cada componente respecto al electrodo FZ, tomando como factor intrasujeto la condición experimental (4 niveles: musical, tono, ritmo y no musical). Para medir los efectos contextuales sobre las amplitudes medias y distribución topográfica de los componentes electrofisiológicos, se llevó a cabo un ANOVA de medidas repetidas para cada componente

El efecto del contexto musical sobre el mecanismo de detección automática de la disparidad auditiva

con 3 factores intrasujeto: Condición experimental (4 niveles), Lateralidad (3 niveles: F3, C3, P3/ FZ, CZ, PZ/ F4, C4, P4) y relación antero-posterior (3 niveles: F3, FZ, F4/ C3, CZ, C4/ P3, PZ, P4), con la corrección Greenhouse Gessier en caso de ser necesario. Se utilizó el paquete estadístico SPSS 15.0, con un nivel de significancia establecido en $p < 0.05$.

RESULTADOS

Características Sociodemográficas

Se eliminaron dos sujetos del estudio, uno debido a abandono y el otro por presencia importante de artefacto en el registro electrofisiológico.

Se registraron 18 participantes (45% hombres) cuya media de edad fue de 22.5 ± 1.5 años, y cuya escolaridad fue representada por una media de 15.9 ± 1.1 años.

Componentes electrofisiológicos

Los componentes electrofisiológicos se obtuvieron a partir de la sustracción de los “EF” a los “EI”, esta onda diferencial reflejó ambos componentes (N1 y MMN) en las cuatro condiciones experimentales, en las nueve derivaciones analizadas (F3, FZ, F4, C3, CZ, C4, P3, PZ, P4.) (Figura 12). La N1 se presentó en un rango de 20 a 100 ms, principalmente en regiones frontales con un predominio derecho para las condiciones tonal y musical. La MMN se presentó en un rango de 100 a 224 ms, principalmente en regiones frontales.

En todas las condiciones se encontró un componente positivo (P3a), el cual fue incluido en los análisis estadísticos y es explicado en la discusión; se presentó en un rango de 218 y 334 ms, con una distribución fronto-central para todas las condiciones.

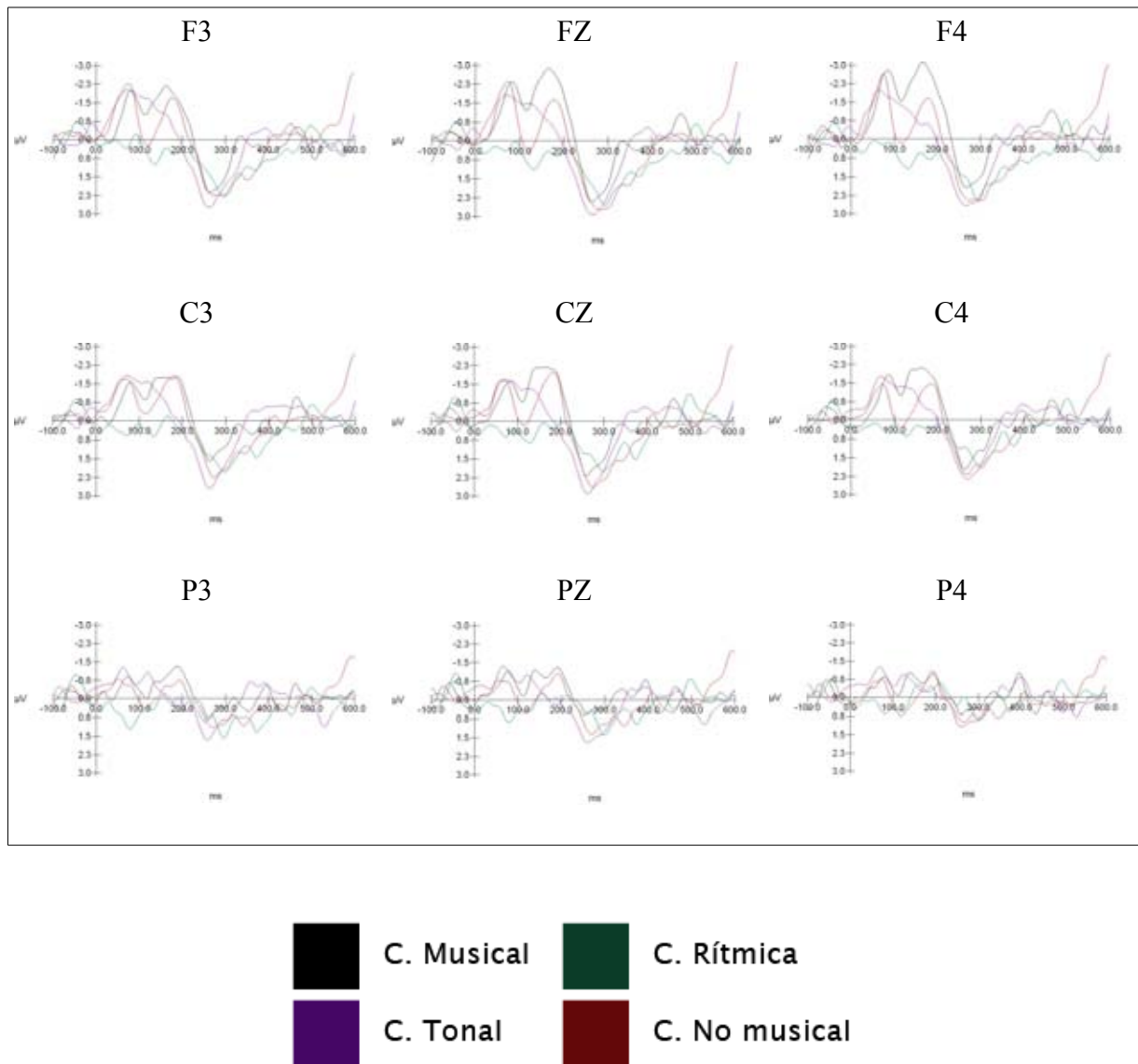


Figura 12. Onda diferencial de PRE obtenida en las cuatro condiciones experimentales, en las nueve derivaciones analizadas.

Latencias

La Tabla 2 muestra las medias y desviaciones estándar de las latencias de los componentes electrofisiológicos N1, MMN y P3a para cada condición experimental.

	N1		MMN		P3a	
	Media (ms)	D.E.	Media (ms)	D.E.	Media (ms)	D.E.
C. Musical	74.1	21.4	156.3	30.3	270.5	28.8
C. Tonal	64.9	17.3	173.6	30.6	279	28.9
C. Rítmica	65.6	32.4	173.4	44.6	281.3	33.1
C. No Musical	74.4	23.2	134.5	28.8	268.8	32.1

Tabla 2. Medias en ms y desviaciones estándar de las latencias de los componentes N1, MMNy P3a.

La Tabla 3 muestra los resultados del ANOVA de medidas repetidas para las latencias de los 3 componentes.

Componente	F	<i>p</i>	Comparación por pares
N1	0.92	0.43	-
MMN	7.15	<0.0001	4-2; 4-3
P3a	0.73	0.53	-

Tabla 3. Resultados del ANOVA de medidas repetidas para las latencias de los 3 componentes electrofisiológicos. La nomenclatura utilizada para las condiciones experimentales en las tablas es: C. Musical (1), C. Tonal (2), C.Rítmica (3) y C. No Musical o Control (4).

Se encontraron diferencias significativas entre las latencias obtenidas para el componente MMN en todas las condiciones experimentales ($F=7.15$, $p<0.0001$). En específico, fueron significativamente mayores las latencias obtenidas en las condiciones Tonal (2) y Rítmica (3), que las obtenidas a partir de la condición No musical o Control (4) (Figura 13). No se encontraron diferencias significativas en las latencias de la N1, ni de P3a entre las condiciones experimentales.

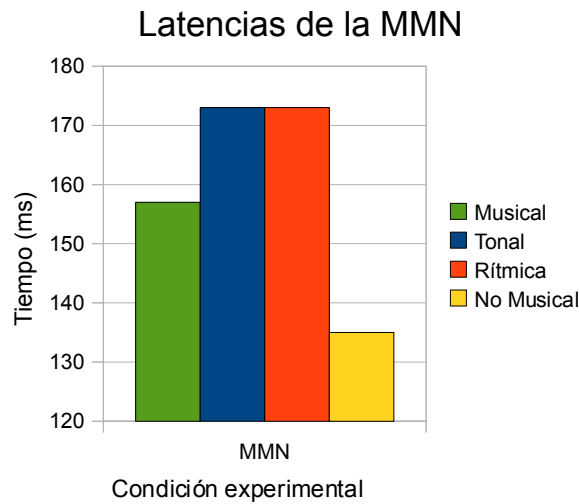


Figura 13. Representación gráfica de los promedios de las latencias (en ms) de la MMN obtenidas para las diferentes condiciones experimentales.

Amplitudes y distribuciones topográficas

La Tabla 4 muestra las medias (μV) y desviaciones estándar de las amplitudes en el electrodo FZ (donde mejor se aprecia la onda PRE) de los componentes N1, MMN y P3a.

	N1		MMN		P3a	
	Media (μV)	D.E.	Media (μV)	D.E.	Media (μV)	D.E.
C. Musical	-2.7	2.1	-3.5	1.5	3.2	2
C. Tonal	-2.9	1.8	-2.6	1.6	3.6	1.4
C. Rítmica	-0.8	1.3	-1.3	1.2	3.2	1.5
C. No Musical	-2.7	1.6	-2.6	1.8	3.9	1.9

Tabla 4. Medias en μV y desviaciones estándar de las amplitudes en FZ de los componentes N1, MMNy P3a.

N1

La Tabla 5 muestra los resultados del ANOVA multi-factorial de medidas repetidas para las amplitudes del componente N1.

Factor	F	p	Comparación por pares
Condición	5.98	<0.0001	3-1; 3-2; 3-4.
Antero-Post	53.28	<0.0001 *	F-C; F-P; C-P.
Lateralidad	3.17	0.08 *	-
Interacción	1.92	0.11 *	-

Tabla 5. Resultados del ANOVA multi-factorial para las amplitudes de N1. * Indica una corrección Greenhouse Gessier debido a incumplimiento del supuesto de esfericidad. En el factor antero-posterior, la nomenclatura es: frontal (F), central (C) y parietal (P).

Se encontraron diferencias significativas entre las amplitudes obtenidas del componente N1 para todas las condiciones ($F= 5.98$, $p<.0001$). En específico fueron significativamente mayores las amplitudes obtenidas a partir de las condiciones Musical (1), Tonal (2) y No musical o Control (4) que las obtenidas a partir de la condición Rítmica (3).

La N1 mostró una mayor amplitud en regiones frontales ($F=53.28$, $p<0.0001$) y sin lateralización significativa ($F=3.16$, $p=0.08$). No hubo una distribución topográfica dependiente de la condición experimental, indicado por una interacción entre factores no significativa ($F=1.92$, $p=0.11$).

El efecto del contexto musical sobre el mecanismo de detección automática de la disparidad auditiva

La Figura 14 muestra un mapeo en 2 dimensiones de la distribución topográfica de la N1 para cada una de las 4 condiciones. Se puede observar que las condiciones Musical y Tonal comparten amplitudes máximas en comparación con la condición Rítmica.

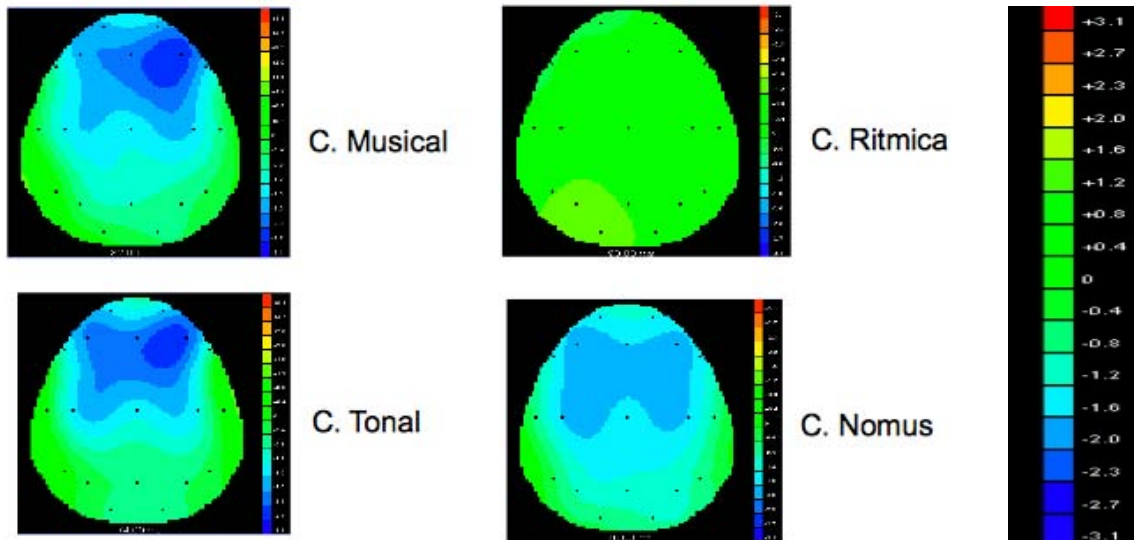


Figura 14. Mapeo en 2 dimensiones de la distribución topográfica de N1 y escala en μV .

MMN

La Tabla 6 indica los resultados del ANOVA multi-factorial de medidas repetidas para las amplitudes de la MMN.

Factor	F	p	Comparación por pares
Condición	4.13	0.01	3-1; 3-2.
Antero-Post	33.76	<0.0001 *	P-F; P-C.
Lateralidad	11.1	<0.0001	Z-3; Z-4.
Interacción	3.39	0.007 *	-

Tabla 6. Resultados de el ANOVA multi-factorial para las amplitudes de MMN. * indica una corrección Greenhouse Gessier debido a incumplimiento del supuesto de esfericidad. La nomenclatura para el factor lateralidad es: izquierdo (3), central (z) y derecho (4).

El efecto del contexto musical sobre el mecanismo de detección automática de la disparidad auditiva

Se encontraron diferencias significativas entre las amplitudes obtenidas para la MMN en todas las condiciones experimentales ($F=4.13$, $p=0.011$). En específico, fueron significativamente mayores las amplitudes obtenidas a partir de las condiciones Musical (1) y Tonal (2) que las obtenidas a partir de la condición Rítmica (3). La MMN tuvo una distribución predominantemente frontal ($F=33.76$, $p<0.0001$) y central ($F=11.1$, $p<0.0001$).

La distribución topográfica de la MMN fue diferente para cada una de las condiciones ($F=3.39$, $p=0.007$, con una distribución frontal derecha para la condición musical, más central para la condición tonal, izquierda para la condición no musical o control y homogénea para la condición rítmica (Figura 15).

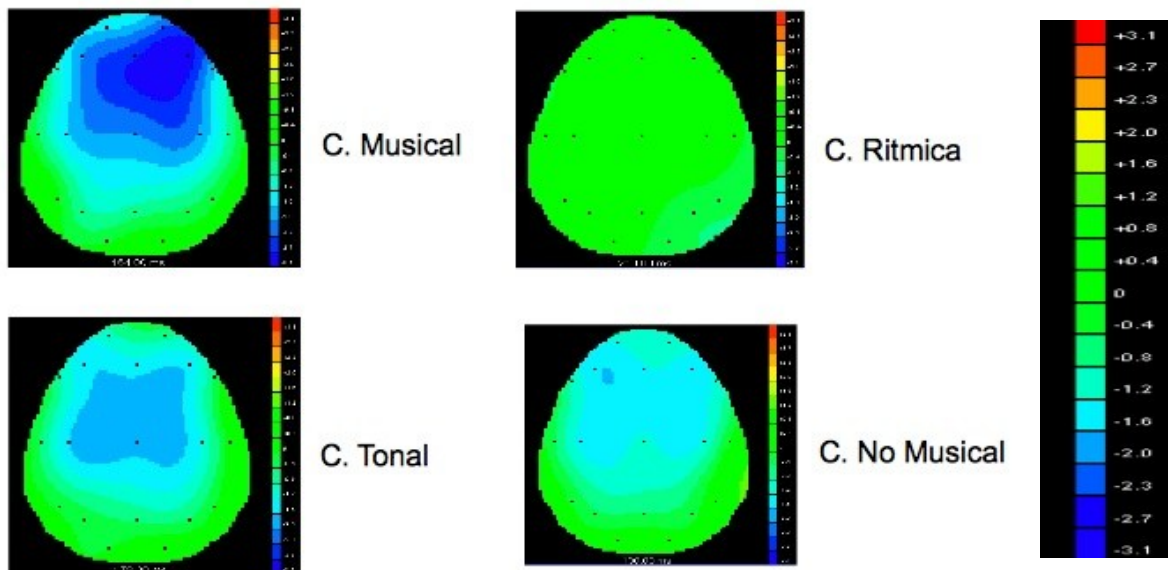


Figura 15. Mapeo en 2 dimensiones de la distribución topográfica de MMN y escala en μV .

P3a

La Tabla 7, indica los resultados del ANOVA multi-factorial de medidas repetidas para las amplitudes del componente P3a.

Factor	F	Sig.	Comparación por pares
Condición	1.43	0.24	-
Antero-Post	37.14	<0.0001 *	1-2; 1-3; 2-3.
Lateralidad	15.48	<0.0001 *	2-1; 2-3.
Interacción	1.04	0.4 *	-

Tabla 7. Resultados de el ANOVA multi-factorial para las amplitudes de la P3a. * indica una corrección Greenhouse Gessier debido a incumplimiento del supuesto de esfericidad.

La P3a mostró una distribución frontal ($F=37.1$, $p<0.0001$) de predominio central ($F=15.48$, $p<0.0001$), independientemente de la condición experimental ($F=1.04$, $p=0.4$). Su amplitud no fue modulada por la condición experimental ($F=1.43$, $p=0.24$) (Figura 16).

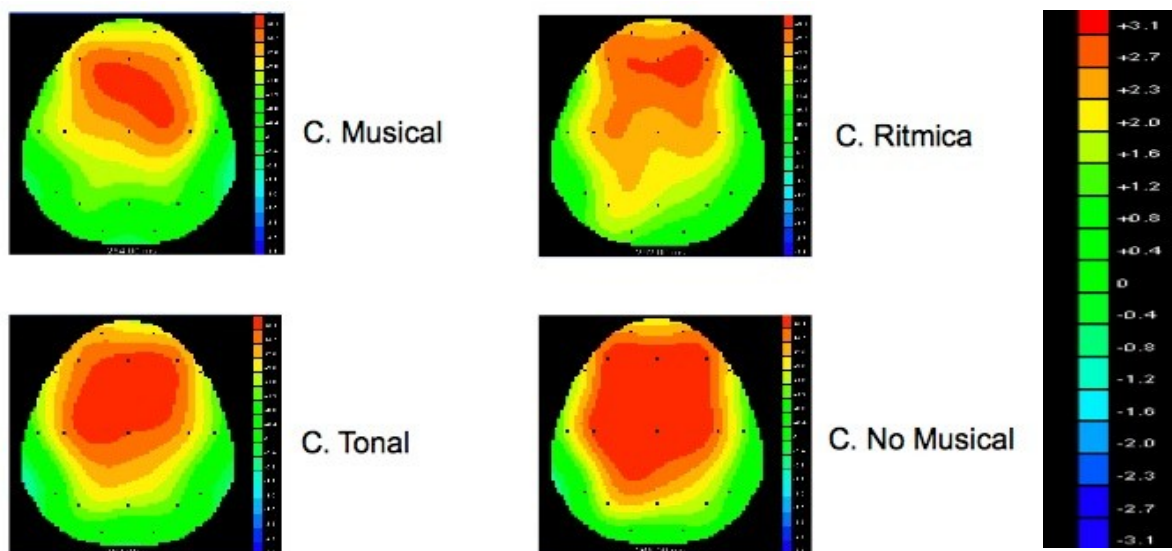


Figura 15. Mapeo en 2 dimensiones de la distribución topográfica de P3a y escala en μV .

DISCUSIÓN

En este estudio se utilizó una técnica de medición electrofisiológica caracterizada por una excelente resolución temporal para estimar las respuestas fisiológicas de detección de disparidad auditiva de primer (N1) y segundo orden (MMN), que se dan ante el cambio acústico, y cómo éstas son moduladas por el contexto musical.

El hallazgo principal de esta tesis es que el mecanismo de detección de disparidad, principalmente el de segundo orden, es modulado por los diferentes contextos acústicos de carácter musical, como lo mostraron los cambios en latencia, amplitud y distribución topográfica de la MMN.

La N1 aparece con la misma latencia independientemente del contexto auditivo formado por las diferentes condiciones experimentales, lo que sugiere, que el mecanismo de detección de disparidad auditiva de primer orden opera en ventanas de tiempo muy similares. Este componente fue modulado por el contexto auditivo sólo en términos de su amplitud, la cual fue significativamente más pequeña para la condición rítmica que para las otras tres condiciones. Podemos considerar a la condición rítmica²⁴ como una versión complejizada de la condición no musical o control, ya que se toman las mismas 8 notas (La) y sólo se modifican sus duraciones. Parece que al complejizarse el contexto en la dimensión rítmica de organización cognitiva, la respuesta del mecanismo de detección de disparidad de primer orden (N1) se hace significativamente más pequeña. Es probable que el tipo de procesamiento que requiere la detección automática de primer orden en la condición experimental rítmica no

24 También a la condición tonal

esté siendo reflejada en su totalidad por la N1 (Este argumento se discutirá más adelante junto con resultados similares de la MMN). La aparición de la N1 ante la omisión del sonido, sugiere que este mecanismo es de alguna forma sensible al patrón temporal de estimulación, ya que esta desviación no activa ningún tipo de aferencia nerviosa de la vía auditiva, como es descrito por Horvath *et al* (2008).

La MMN fue sensible a la información contextual del estímulo acústico en los 3 niveles investigados: latencia, amplitud y distribución topográfica. Su latencia fue significativamente mayor para contextos formados por información en una u otra dimensión de organización musical (c. tonal y c. rítmica), con respecto al contexto control (c. no musical). La MMN aparece por una violación a la regularidad de un contexto auditivo, y las condiciones tonal y rítmica son ambas más complejas, produciendo un procesamiento probablemente más tardío que la condición control. Las latencias de la MMN para la condición rítmica y tonal fueron idénticas, lo cual apoya lo propuesto por Grimm *et al.* (2006), en cuanto a la igualdad de ventanas de tiempo necesarias para la detección de disparidad auditiva reflejada por la MMN ante desviaciones temporales o espectrales, y amplía el hallazgo a contextos musicales.

La condición musical puede considerarse como la que forma el contexto auditivo más elaborado, ya que combina la complejidad temporal de la condición rítmica y la complejidad espectral de la condición tonal. Sin embargo, la latencia obtenida para la MMN de la condición musical resultó intermedia entre las de las condiciones rítmica y tonal, y la condición no musical o control. Parece ser que no siempre existe una relación directamente proporcional entre complejidad del contexto acústico y latencia de la MMN. Parece haber un

“efecto facilitador” del procesamiento cuando ambas dimensiones de organización musical están presentes, lo cual es consistente con lo encontrado por Brattico, Näätänen y Tervaniemi (2002), en el sentido de que el contexto musical facilita la detección de disparidad.

Las amplitudes de la MMN fueron significativamente menores para la condición rítmica que para condiciones tonal y musical. Una explicación es que el procesamiento rítmico fuera más dependiente de atención y su análisis automático (necesario para la detección de disparidad) no fuera tan sensible a la disparidad como el procesamiento tonal. Sin embargo, esto es muy poco probable ya que la magnitud de la respuesta P3a (comentada más adelante) fue idéntica para las cuatro condiciones, demostrando que la disparidad está siendo detectada en el contexto rítmico, de forma similar a los demás contextos. Es más probable que la detección de disparidad rítmica no esté siendo reflejada en su totalidad en los componentes N1 y MMN. Otros estudios han tenido resultados similares: Parsons (2003) encontró una activación en el giro temporal superior (ahí se encuentran las CAP y CAS), para condiciones experimentales que requerían procesamiento tonal; sin embargo, la condición que implicaba procesamiento rítmico no activó esta área. Los generadores de la N1 están ubicados en la corteza del giro temporal superior (Liégeois-Chauvell *et al.* 2003) y los de la MMN se encuentran principalmente en la misma zona de la corteza temporal (Sussman, Winkler y Huottilainen, 2002; Tervaniemi, Medvedev y Alho, 2000;) anterior e inferiormente posicionados respecto a los generadores neurales de la N1 (Lavikainen *et al.* 1995).

El presente estudio encontró una morfología de onda para N1 y MMN significativamente más pequeña en la condición que sólo requería procesamiento rítmico, probablemente debido a que

este tipo de procesamiento, recluta una distribuida red neural bilateral (Peretz y Zatorre, 2005) estrechamente relacionada a procesos motores (Zatorre, Chen y Penhune, 2007), que incluye ganglios basales, corteza sensorio-motora (Grahn y Brett, 2007), y otras áreas en la corteza frontal, parietal y cerebelo (Sakai, Hikosaka y Miyauchi, 1999) con una menor contribución de las áreas auditivas de la corteza temporal, en contraste con el procesamiento tonal, que se reporta principalmente en éstas áreas (Altenmüller, 2003; Liégois Chauvell *et al.*, 2003; Parsons, 2003; Peretz y Zatorre, 2005; Zatorre, 2003). Lo anterior apoya la hipótesis de que las fuentes generadoras de detección de disparidad para contextos rítmicos se localicen en regiones distintas a las del procesamiento tonal.

La distribución topográfica de la MMN fue modulada por la información musical de los contextos acústicos, lo cual es consistente con las interpretaciones discutidas hasta este punto. Es posible que diferentes partes o sub-módulos del módulo cognitivo responsable de la MMN se activen diferencialmente, ya que la actividad eléctrica cerebral responsable de la MMN fue acumulada en diferentes partes del cuero cabelludo, dependiendo del contexto auditivo. La condición musical se distribuyó hacia la derecha, mientras que la condición no musical fue más central izquierda, lo cual es consistente con varios estudios (Levitin, 2006; Liégois-Chauvel *et al.* 2003; Tervaniemi *et al.* 2000; Tervaniemi, Kujala y Alho, 1999) que reportan lateralizaciones derechas para diferentes tipos de procesamiento tonal en general y musical en específico.

Adicional a los componentes N1 y MMN, se observó la onda positiva P3a, la cual aparece de forma automática entre los 250 y 350 ms posteriores a un estímulo que representa un cambio

perceptual novedoso (Sussman, Winkler y Huotilainen, 2002). Esta onda parece reflejar algún aspecto del *switch* atencional característico de la atención involuntaria (Escera, Alho, Schröger y Winkler, 2000), que se da ante un estímulo potencialmente relevante, aunque éste no sea atendido (Müller-Gass, Macdonald, Schröger, Sculthorpe y Campbell, 2007), y su amplitud correlaciona con la magnitud de la desviación del estímulo dispar (Winkler *et al.* 1998).

La P3a apareció en todas las condiciones experimentales, lo que indica que hay una respuesta relacionada a la redistribución de la atención ante la novedad que genera el cambio (disparidad) auditivo. Este componente no fue modulado de ninguna forma por la información del contexto auditivo, lo cual nos indica que la respuesta a la novedad es la misma independientemente del contexto auditivo a partir del cual se genera. También indica que la desviación de los estímulos dispares de cada condición eran equivalentes en términos de la respuesta de atención involuntaria hacia la novedad. Esto apoya que la disparidad en el contexto rítmico haya sido detectada, aún cuando la N1 y la MMN no la reflejaran en su totalidad.

Los resultados de este trabajo muestran cierto grado de independencia entre los procesos cognitivos involucrados para la percepción de tono y ritmo (marcada por las diferencias en amplitud de N1 y MMN para cada condición) en los niveles de procesamiento acústico simple y complejo propuestos por Griffiths (2003), lo cual apoya a su vez al modelo neuropsicológico de Perez y Colheart (2003) de modularidad del procesamiento musical, y es consistente con la revisión de Peretz y Zatorre (2005) acerca de la organización cerebral del procesamiento musical.

El “efecto facilitador” de la detección de disparidad, obtenido por el contexto musical del experimento de Tervaniemi y el presente estudio, sugieren la existencia de un mayor recurso cognitivo para el procesamiento musical, ya sea porque utiliza los recursos propios del procesamiento rítmico y tonal, facilitando el procesamiento final por una adición de éstos, o bien, porque existe una especialización encargada del procesamiento de estimulación sonora de tipo musical o compleja que incluye ambas dimensiones de organización. Las dos hipótesis son apoyadas por las diferencias obtenidas en términos de distribución topográfica. Esto sugiere una especialización neural para el procesamiento musical, que por su carácter básico en términos cognitivos apoya la universalidad de la música y su enraizamiento en nuestra historia evolutiva.

La diferencia entre dimensiones tonal y rítmica está presente tanto en la N1 como en la MMN, sin embargo la “especialización musical” sólo existe para la MMN. El mecanismo de detección de disparidad de primer orden (N1) responde a características acústicas simples, sobre las cuales se construyen las relaciones complejas a las que el mecanismo de detección de disparidad de segundo orden (MMN) es sensible, de modo que la N1 es correlato electrofisiológico de un mecanismo más antiguo que la MMN. Esto es consistente con la teoría evolutiva de Mithen (2006), pues sugiere que mecanismos más básicos son sensibles a la organización sonora tonal o rítmica por separado. Al surgir el Hmmmmm, capacidad en la cual era relevante el procesamiento de ambas dimensiones de organización musical en conjunto, es que pudo surgir esta “especialización musical”.

En conclusión, los resultados de esta tesis resaltan tres aspectos de las etapas tempranas automáticas de percepción musical reflejadas por la detección de cambio acústico.

- Primero, en el nivel más básico de procesamiento (Griffiths, 2003) existen diferencias electrofisiológicas para el procesamiento de las alturas tonales y el ritmo, confirmando la independencia de los módulos neurocognitivos correspondientes.
- Segundo, además de las diferencias de procesamiento para tono y ritmo, parece haber un efecto facilitador que otorgan contextos auditivos musicales complejos en el segundo nivel de percepción propuesto por Griffiths (2003), el cual involucra la retención de la información acústica en sistemas de memoria.
- Tercero, este estudio encontró que un mecanismo neural (detección de disparidad) perceptual básico es modulado por contextos de carácter musical, lo cual sugiere que el procesamiento musical está presente en la mayoría de los seres humanos (exceptuando casos patológicos). Esto soporta a su vez, una postura biológica del fenómeno musical, enraizado en nuestra historia evolutiva.

Los resultados de este estudio están limitados a las etapas más tempranas y automáticas de la percepción musical (dejando fuera ejecución y composición). Para estudios futuros sería interesante agregar condiciones que requirieran diferentes grados de atención y/o ejecución. También está limitado a jóvenes adultos no músicos, por lo que podemos hablar del procesamiento “normal” en escuchas “promedio”; en un futuro se podría agregar un grupo de músicos profesionales, así como grupos de diferentes edades (incluidos infantes) para evaluar efectos plásticos sobre estos mecanismos tempranos, así como la inclusión de grupos clínicos para evaluar deterioro en el procesamiento tonal, rítmico o ambos. Por otro lado, la condición

rítmica obtuvo las amplitudes de N1 y MMN menos robustas y las distribuciones topográficas menos claras, esto puede también afectar las diferencias existentes entre condiciones tonal y musical, por lo que se requieren más estudios para afirmar o refutar una posible adición sobre la amplitud de la MMN, reportada en otros estudios (Wolff y Schröger, 2001). El ritmo tiene ligas muy importantes con la motricidad, lo cual podría ser investigado por condiciones que involucraran el seguimiento motor (con dedos o pies) del ritmo musical. También, se deberían abordar variaciones de timbre, alturas tonales simultáneas, y aspectos como la métrica y el *tempo* en paradigmas de MMN, ya que son aspectos del procesamiento rítmico, tan importantes como el patrón de duraciones de las notas musicales investigado en esta tesis.

En resumen, la principal limitante de este estudio, es la generada por el control experimental riguroso, el cual nos obliga a abordar partes muy reducidas y parciales del objeto de estudio, como bien dice Altenmüller (2003), “en nuestros laboratorios, estamos apenas empezando a enfrentar los enormes retos ligados al establecimiento de las reglas que rigen la complejidad y transitoriedad de interacciones neurales que ocurren durante el procesamiento musical”, sobre todo la complejidad y la transitoriedad pueden parecer abrumadoras, pero recordemos que “el propósito de la ciencia no es curarnos del misterio sino reinventar y revigorizarlo” (Sapolsky, 1998).

REFERENCIAS

- Alcock, K.J., Passingham, R.E., Watkins, A.J., Vargha Khadem, F. (2000). Pitch and timing abilities in inherited speech and language impairment. *Brain and Language*, 75, 34-46.
- Altenmüller, E.O. (2003). How many music centres are in the brain? En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music*, (pp. 346-353) Oxford: Oxford University Press.
- Baruch, C., Drake, C. (1997). Tempo discrimination in infants. *Infant Behavioral Development*, 20, 573-577.
- Bever, T.G., Chiarello, R.I. (1974). Cerebral dominance in musicians and non-musicians. En Altenmüller, E.O. (2003). How many music centres are in the brain? En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music*, (pp. 346-353) Oxford: Oxford University Press.
- Blacking, J. (1987). *A common sense view of all music*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Blacking, J. (1995). *Music, Culture and Experience*. Londres: University of Chicago Press.
- Brattico, E., Näätänen, R., Tervaniemi M. (2002). Context effects on pitch perception in musicians and non-musicians: Evidence from ERP recordings. *Music Perception*, 19, 199-222.
- Clayson, A. (2002). Edgard Varese. En Levitin, D.J. (2006). *This is your brain on music*. Nueva York: Plume
- Coles, M.G.H., Rugg, M.D. (1995). Event-related brain potentials: an introduction. En M.D. Rugg y M.G.H. Coles (Eds.), *Electrophysiology of Mind: Event-Related Brain Potentials and Cognition*, (pp 1-26) Oxford: Oxford University Press.
- Cross, I. (2003). Music, Cognition, Culture, and Evolution. En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music*, (pp. 42-56) Oxford: Oxford University Press.
- Cross, I., Morley, I. (2008). The evolution of music: theories, definitions and the nature of the evidence. En S. Malloch y C. Trevarthen (Eds.), *Communicative musicality*, (pp. 61-82) Oxford: Oxford University Press.
- D'Errico, F., Henshilwood, C., Lawson, G., Vanhaeren, M., Tillier, A.M., Soressi, M., Bresson, F., Maurielle, B., Nowell, A., Lakarra, J., Backwell, L., Julien, M. (2003). Archaeological evidence for the emergence of language, symbolism, and music – an alternative interdisciplinary perspective. *Journal of World Prehistory*, 17, 1-70.
- Dalla Bella, S., Peretz, I. (2005). Differentiation of classical music requires little learning but rhythm. En Peretz, I. (2006). The nature of music from a biological perspective. *Cognition*, 100, 1-32.

- Darwin, C. (1871). *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. Londres: Murray.
- Dissayanake, E. (2000). Antecedents of the temporal arts in early modern mother-infant interaction. En N.L. Wallin, B. Merker, y S. Brown (Eds.), *The Origins of Music*, (pp. 389-410) Cambridge, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Drake, C., Bertrand, D. (2003). The quest for universals in temporal processing in music. En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music*, (pp. 21-31) Oxford: Oxford University Press.
- Editores de Larousse. (2008). *El Pequeño Larousse Ilustrado*. México: Larousse México.
- Escera, C., Alho, K., Schröger, E., & Winkler, I. (2000). Involuntary attention and distractibility as evaluated with event-related brain potentials. *Audiol Neurootol*, 5, 151-166.
- Fabiani, M. Gratton, G., Federmeier, K. D. (2007). Event-related brain potentials: Methods, theory, and application. En Cacioppo, J. T., Tassinari, L., Berntson, G. (Eds.), *Handbook of Psychophysiology*, (3ra ed.) (pp. 85-119) Cambridge: Cambridge University Press.
- Fernald, A. (1991). Prosody in speech to children: pre-linguistic and linguistic functions. *Annals of Child Development*, 8, 43-80.
- Fodor, J. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Freeman, W. (1995). *Societies of Brains: A study in the Neuroscience of Love and Hate*. Hillsdale, Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Geertz, C. (1973) *The interpretation of cultures: Selected essays*. Nueva York: Basic Books.
- Gourlay, K. A. (1984). *The non-universality of music and the universality of non-music*. En Cross, I. Music, Cognition, Culture, and Evolution. (2003). En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music*, (pp. 42-56) Oxford: Oxford University Press.
- Goydke, K.N., Altenmüller, E., Moller, J., Munte, T.F. (2004). Changes in emotional tone and instrumental timbre are reflected by the mismatch negativity. *Cognitive Brain Research*, 21, 351-359.
- Grahn, J.A., Brett, M. (2007). Rhythm and Beat Perception in Motor Areas of the Brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19,5, 893–906.
- Griffiths, T.D. (2003). The neural processing of complex sounds. En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music*, (pp. 168-177) Oxford: Oxford University Press.
- Grimm, S., Roeber, U., Trujillo-Barreto, N.J., Schröger, E. (2006). Mechanisms for detecting auditory temporal and spectral deviations operate over similar time windows but are divided

differently between the two hemispheres. *Neuroimage*, 32, 275-282.

Hari, R., Hamalainen, M., Ilmoniemi, R., Kaukoranta, E., Reinikainen, K., Salminen, J., Alho, K., Näätänen, R., Sams, M. (1984). Responses of the primary auditory cortex to pitch changes in a sequence of tone pips: neuromagnetic recordings in man. *Neuroscience Letters*, 50, 127-132.

Hatfield, E., Cacioppo, J., Rapson, R.L. (1994). *Emotional Contagion*. En Peretz, I. 2006. The nature of music from a biological perspective. *Cognition*, 100, 1-32.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado C., Baptista Lucio, P., (2006). *Metodología de la Investigación*, (3ra Ed.) México: McGraw Hill.

Horvath, J., Winkler, I. (2004). How the auditory system treats repetition amongst change. *Neuroscience Letters*, 368, 157-161.

Horvath, J., Winkler, I., Bendixen, A. (2008). Do N1/MMN, P3a and RON form a strongly coupled chain reflecting the three stages of auditory distraction. *Biological Psychology*, 79, 139-147.

Huron, D. (2003). Is music an evolutionary adaptation? En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music*, (pp. 57-75) Oxford: Oxford University Press.

Jackendoff, R., Lerdaahl, F. (2006). The capacity for music: What is it, and what is so special about it? *Cognition*, 100, 33-72.

Jasper, H. H. (1958). The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.

Kaas, J.H. (1999). Auditory processing in primate auditory cortex. *Current Opinion in Neurobiology*, 9, 164-170.

Kandel, E., Schwartz, J.H., Jessel, T. M. (2000). *Principles of Neural Science*, (4ta Ed.) México: McGraw-Hill Medical.

Koelsch, S., Siebel, W.A., (2005). Towards a neural basis of music perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 9 (12), 578-584.

Koelsch, S. (2002). Bach Speaks: A cortical language network serves the processing of music. En Levitin, D.J. (2006). *This is your brain on music*. Nueva York: Plume.

Krumhansl, C. L. (2000). Rhythm and pitch in music cognition. *Psychological Bulletin*, 126, 159-179.

- Lauter, J.L., Herscovitch, et al. (1975). Tonotopic organization in human auditory cortex revealed by positron emission tomography. *Health Research* 20, 199-205.
- Lavikainen, J., Huotilainen, M., Ilmoniemi, R.J., Simola, J.T., Näätänen, R. (1995). Pitch change of a continuous tone activate two distinct processes in the human auditory cortex: a study with whole head magnetometer. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 96, 93-96.
- Levitin, D.J. (2006). *This is your brain on music*. Nueva York: Plume.
- Liégeois-Chauvel, C., Giraud, K., Badier, J.M., Marquis, P., Chauvel, P. Intracerebral evoked potentials in pitch perception reveal a functional asymmetry of human auditory cortex. En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music*, (pp. 152-167) Oxford: Oxford University Press.
- Luck, S.J. (2005). *An introduction to the Event-Related Potential Technique*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Marcus, G.F., Fisher, S.E. (2003). FOXP2 in focus: What can genes tell us about speech and language? *Trends in Cognitive Sciences*, 6 (7), 651-652.
- McDermott, J.H., Oxenham, A.J. (2008). Music Perception, Pitch, and the Auditory System. *Current Opinion in Neurobiology*, 18, 452-463.
- Merriam, A.P. (1964). *The anthropology of music*. Evanston, Illinois: Northwestern University Press.
- Mithen, S. (2006). *The Singing Neanderthals: The Origins of Music, Language, Mind and Body*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Müller Gass, A., Macdonald, M., Schröger, E., Sculthorpe, L., Campbell, K. (2007). Evidence for the auditory P3a reflecting an automatic process: Elicitation during highly-focused continuous visual attention. *Brain Research*, 1170, 71-78.
- Näätänen, R., Paavilainen, P. and Reinikainen, K. (1989). Do event related potentials to infrequent decrements in duration of auditory stimuli demonstrate a memory trace in man? *Neuroscience Letters*, 15, 347-352.
- Näätänen, R., Tervaniemi, M., Sussman, E., Paavilainen, P., Winkler, I. (2001). Primitive intelligence in the auditory cortex. *Trends in Neurosciences*, 24 (5), 283-288.
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T., Alho, K. (2007). The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review, *Clinical Neuropsychology*, 118, 2544-2590.

- Näätänen, R., Picton, T., (1987). The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: a review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24, 375-425.
- Nakata, T., Trehub, S.E., (2000). *Maternal Speech and Singing to Infants*. Presentado en The Society for Music Perception and Cognition. En Peretz, I. (2006). The nature of music from a biological perspective. *Cognition*, 100, 1-32.
- Nettl, B. (1983). *The Study of Ethnomusicology: Twenty-Nine Issues and Concepts*. Urbana, Illinois: Illinois University Press.
- Nuñez-Perez, I., Corral, J., Escera, C. (2004). Potenciales evocados cerebrales en el contexto de la investigación psicológica: una actualización. *Anuario de Psicología: Universidad de Barcelona*, 35 (1), 3-21.
- Opitz, B., Rinne, T., Mecklinger, A. et al. (2002). Differential of frontal and temporal cortices to auditory change detection: fMRI and ERP results. *Neuroimage*, 15, 167-74.
- Papousek, M. (1996). Intuitive parenting: a hidden source of musical stimulation in infancy. En Mithen, S. (2006). *The Singing Neanderthals: The Origins of Music, Language, Mind and Body*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Parsons L.M. (2003). Exploring the functional neuroanatomy of music performance, perception and comprehension. En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music*, (pp. 247-268) Oxford: Oxford University Press.
- Peretz, I. (2006). The nature of music from a biological perspective. *Cognition*, 100, 1-32.
- Peretz, I., Colheart, M. (2003). Modularity of music processing. *Nature*, 6 (7), 688-693.
- Peretz, I., Cummings, S., Dubé, M.P. (2007). The genetics of congenital amusia (tone deafness): A family aggregation study. *The American Journal of Human Genetics*, 81, 582-588.
- Peretz, I., Zatorre, R. (2005). Brain organization for music processing. *Annu. Rev. Psicol.*, 56, 89-114.
- Pinker, S. (2002). *The blank slate: the modern denial of human nature*. Nueva York: Viking.
- Racette, A., Peretz, I. (2006). *Learning lyrics: To sing or not to sing?* En Peretz, I. (2006). The nature of music from a biological perspective. *Cognition*, 100, 1-32.
- Rinne, T., Särkkä, A., Degerman, A., Schroger, E., Alho, K. (2006). Two separate mechanisms underlie auditory change detection and involuntary control of attention. *Brain Research*, 1077, 135-143.

Roads, C, et al. (1996). *The Computer Music Tutorial*. The MIT Press: Cambridge, Massachusetts: Inglaterra.

Russeler, J., Altenmüller, E., Nager, W., Kohlmetz, C., Munte, T.F. (2001). Event-related brain potentials to sound omissions differ in musicians and non-musicians. *Neuroscience Letters*, 308, 33-36.

Sabri, M., Kareken, D. A., Dzemidzic, M., Lowe, M.J., Melarac, R.D. (2004). Neural correlates of auditory sensory memory and automatic change detection. *Neuroimage*, 21, 69-74.

Sacks, O. (2007). *Musicophilia*. New York. Toronto: Alfred A. Knopf

Sadie, S. (1980). *The New Grove: Dictionary of Music and Musicians*. Macmillan Publishers Limited. Vol. 15, 388-427.

Sakai, K. O., Hikosaka, S. Miyauchi, et al. (1999). Neural representation of a rhythm depends on its interval ratio. *Journal of Neuroscience*. 19, 10074-81.

Samson, S., Ehrlé, N. (2003). Cerebral substrates for musical temporal processes. En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music*, (pp. 204-216) Oxford: Oxford University Press.

Schellenberg, E.G., Trehub, S.E. (1996). Natural music intervals: Evidence from infant listeners. *Psychological Science*, 7(5), 272-277.

Sussman, E., Winkler, I., Huotilainen, M. (2002). Top down effects on stimulus-driven-auditory organization. *Cognitive Brain Research*, 13, 393-405.

Tallal, P., Newcombe, F. (1978). Impairment of auditory perception and language comprehension in dysphasia. *Brain and Language*, 5, 13-24.

Tervaniemi, M. Musical sound processing: EEG and MEG evidence. En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music*, (pp. 294-309) Oxford: Oxford University Press.

Tervaniemi, M. Brattico, E. (2004). From sounds to music. Towards understanding the neurocognition of musical sound perception. *Journal of Consciousness Studies*, 11, 9-27.

Tervaniemi, M., Kujala, A., Alho, K. (1999). Functional specialization of the human auditory cortex in processing phonetic and musical sounds: a magnetoencephalographic study. *Neuroimage*, 9, 330-336.

Tervaniemi, M., Medvedev, S.V., Alho, K. et al. (2000). Lateralized automatic auditory

processing of phonetic vs. musical information: a PET study. *Human Brain Mapping*, 10, 74-79.

Tervaniemi, M., Winkler, I., Näätänen, R. (1997). Pre-attentive categorization of sounds by timbre as revealed by event-related potentials. *NeuroReport*, 8, 2571–2584.

Thorpe, L.A., Trehub, S.E. (1989). Duration illusion and auditory grouping in infancy. *Developmental Psychology*, 25, 122-127.

Tiitinen, H., May, P., Reinikainen, K., Näätänen, R. (1994). Attentive novelty detection in humans is governed by pre-attentive sensory memory. *Nature*, 372, 90–92.

Trehub, S. (2003). Musical predispositions in infancy: an update. En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music*, (pp. 3-20) Oxford: Oxford University Press.

Trehub, S., Schellenberg, G., Kamenetsky, S.B. (1999). Infants and adults perception of scale structure. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 25, 965-975.

Uvstedt, H.J. (1937). The method of examination in amusia. En Altenmüller, E.O. (2003). How many music centres are in the brain? En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music*, (pp. 346-353) Oxford: Oxford University Press.

Winkler, I., Tervaniemi, M., Schröger, E., Wolff, C., Näätänen, R. (1998). Pre-attentive processing of auditory spatial information in humans. *Neuroscience Letters*, 242, 49-52.

Wolff, C., Schröger, E. (2001). Human pre-attentive auditory change detection with single, double and triple deviations as revealed by MMN additivity. *Neuroscience Letters*, 311, 37-40.

Yabe, H., Winkler, I., Czigler, I., Koyama, S., Kakigi, R., Sutoh, T., Hiruma, T., Kaneko, S. (2001). Organizing sound sequences in the human brain: the interplay of auditory streaming and temporal integration. *Brain Research*, 897, 222– 227.

Yabe, H., Tervaniemi, M., Reinikainen, K. and Näätänen, R. (1997). Temporal window of integration revealed by MMN to sound omission. *NeuroReport*, 8, 1971-1974.

Yabe, H., Tervaniemi, M., Sinkkonen, J., Huotilainen, M., Ilmoniemi, R.J., Näätänen, R. (1998). Temporal window of integration of auditory information in the human brain. *Psychophysiology*, 35, 615-619.

Zatorre, R. (2003). Neural specializations for tonal processing. En I. Peretz y R. Zatorre (Eds.), *The Cognitive Neuroscience of Music*, (pp. 231-246) Oxford: Oxford University Press.

Zatorre, R. J., Evans, A.C., Meyer, E. (1994). Neural Mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch. *Journal of Neuroscience*, 14, 1908-19.

El efecto del contexto musical sobre el mecanismo de detección automática de la disparidad auditiva

Zatorre, R., Chen, J.L., Penhune V.B., (2007). When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews*, 8, 547-558.

Zentner, M.R., Kagan, J. (1996). Perception of music by infants. *Nature*, 383, 29.