

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE MÚSICA

ESTUDIO DEL POSIBLE EFECTO DE LA ACTIVIDAD NEURAL
DURANTE LA IMAGINACIÓN MUSICAL SOBRE LA ACTIVIDAD DE
LAS EMISIONES OTOACÚSTICAS ESPONTÁNEAS

TESIS

que para obtener el grado de

MAESTRA EN MÚSICA

en el campo de

COGNICIÓN MUSICAL

presenta:

GABRIELA PÉREZ ACOSTA

Asesor: Dr. Eduardo Castro Sierra

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

México, D.F., mayo de 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



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

Esta investigación se realizó con el apoyo técnico del Fís. Alejandro Ramos Amézquita, Técnico Académico Asociado “B” de Tiempo Completo del Laboratorio de Cibernética “Alejandro Medina” de la Facultad de Ciencias, UNAM.

Queremos agradecer al Dr. Eduardo Castro Sierra por su tutoría para la realización de esta investigación y la elaboración de este trabajo; a los Doctores Enrique Flores, José Luis Díaz, Ildikó Pelczer y a la Maestra Ma. Concepción Morán por sus comentarios y valiosas aportaciones como parte del jurado de evaluación. Queremos agradecer, también, a la Dra. Valeria Lapolover y al Dr. Gonzalo Corvera de la Clínica Lomas Altas por proveer los medios y el apoyo para llevar a cabo los registros de las EOAE's; al Dr. Adrián Poblano y la Dra. Carmina Arteaga, del Instituto Nacional de Rehabilitación de México, por haber realizado las pruebas audiométricas de los sujetos; a Alfonso Reyes, del Hospital Infantil de México Federico Gómez, por su guía para realizar los análisis estadísticos, y a Pablo Padilla, del Instituto de Investigación en Matemáticas Aplicadas y Sistemas IIMAS, UNAM, por sus comentarios sobre diversos aspectos de esta investigación. Por otro lado, queremos agradecer al Programa de Maestría y Doctorado en Música de la UNAM, por el apoyo económico otorgado para presentar los resultados de esta investigación tanto en la 9na. Conferencia Internacional sobre Percepción y Cognición Musical (ICMPC), en la ciudad de Boloña, Italia, como en el 3er. Simposio Internacional sobre Cognición y Artes Musicales (SIMCAM), en la ciudad de Salvador, Brasil. Igualmente, deseáramos agradecer a la *Society for Education, Music and Psychology Research (SEMPRE)*, por el apoyo económico otorgado para presentar el trabajo en la anteriormente citada, 9na. Conferencia Internacional sobre Percepción y Cognición Musical (ICMPC). Por último, queremos agradecer especialmente a José María Serralde por su apoyo en la utilización de herramientas de software GNU/GPL para la edición de esta tesis.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	4
IMÁGENES MENTALES	5
<i>Antecedentes</i>	5
<i>Imágenes auditivas</i>	8
EMISIONES OTOACÚSTICAS	11
<i>Antecedentes</i>	11
<i>Clasificación y características</i>	13
<i>Emisiones otoacústicas espontáneas</i>	14
ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA DEL SISTEMA AUDITIVO CENTRAL	16
<i>Sistema auditivo eferente</i>	20
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	23
JUSTIFICACIÓN	23
OBJETIVOS	24
HIPÓTESIS	26
MATERIALES Y MÉTODOS	26
RESULTADOS	36
<i>Características de las EOAE's encontradas en la muestra.....</i>	<i>36</i>
<i>Análisis de los datos</i>	<i>38</i>
CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN	54
REFERENCIAS	60
TABLA DE FIGURAS	68
ÍNDICE DE TABLAS	69
APÉNDICE 1	70
ANEXOS	71
ANEXO 1 PROTOCOLO DE TAREA DE IMAGEN AUDITIVA	71
ANEXO 2 CUESTIONARIOS	72
<i>Anexo 2a</i>	<i>72</i>
<i>Anexo 2b.....</i>	<i>74</i>
<i>Anexo 2c</i>	<i>75</i>
<i>Anexo 2d</i>	<i>83</i>
ANEXO 3 MARCHA DE ZACATECAS	85
ANEXO 4 PUBLICACIONES	86

Introducción

La creación mental de imágenes auditivas es una práctica común relacionada al quehacer musical. Ya sea como recurso para memorización, visualización de la ejecución, entrenamiento para la lectura de partituras, o incluso a manera de anticipación espontánea (o expectativa) al escuchar la música, la imaginación auditiva se lleva a cabo en prácticamente cualquier actividad relacionada al arte musical. Sin embargo, hasta hace a penas pocos años comenzó la investigación sobre las bases neurales de la imaginación y sus posibles implicaciones a nivel fisiológico. Este tipo de investigaciones compete a la cognición musical, área científica que se ocupa, entre otros aspectos, del estudio de los procesos neurobiológicos de la música.

El origen de la presente investigación se une a la tarea de buscar evidencias sobre las implicaciones fisiológicas de determinados procesos cognitivos, en este caso particular, de la imaginación musical. De tal forma, el objetivo de este trabajo fue el de observar si la actividad cerebral desencadenada durante la creación de imágenes auditivas y en particular imágenes musicales, tendría algún efecto sobre el sistema auditivo periférico, a través de la activación de las vías eferentes del sistema auditivo central. Debido a la anatomía humana, la observación de la actividad coclear sólo se puede llevar a cabo por métodos indirectos, no invasivos. De esta manera, el monitoreo de las emisiones otoacústicas espontáneas (EOAE's)¹, un fenómeno fisiológico natural que provee información sobre el funcionamiento coclear relacionado con estructuras centrales del sistema auditivo, durante una tarea de evocación de imágenes auditivas surgió como elemento adecuado para el efecto de esta investigación. De igual forma, el hecho de que las EOAE's sean absolutamente individuales (en ocasiones consideradas como "huellas auditivas", al ser comparadas con las huellas digitales) y extremadamente estables por largos periodos de tiempo, ha llevado a la conclusión de que el observar cambios en sus características durante una tarea cognitiva específica, podría sugerir evidencia de una activación eferente, desencadenada por la activación de la corteza auditiva durante dicha tarea, sobre la cóclea.

¹ Sonidos de muy baja intensidad que produce la cóclea debido al movimiento de las células ciliadas externas (Kemp, 1978).

Por lo tanto, se consideran como los elementos fundamentales de esta investigación a la imaginación musical por un lado y a las emisiones otoacústicas por el otro y, de esta manera, es importante plantear algunos antecedentes al respecto.

Imágenes mentales

Antecedentes

La imaginación ha constituido, desde muy temprana época en la historia de la humanidad, un tema de profundo interés en el estudio de los procesos mentales. Cuando se habla de una “imagen” mental, se habla de una recreación en la mente de algún tipo de experiencia sensorial, un objeto, un rostro, un paisaje o un sonido, por ejemplo. Esta experiencia *quasi* perceptual, puede ocurrir en ausencia del estímulo externo correspondiente. La investigación sobre imágenes mentales ha abarcado los aspectos subjetivos y cualitativos de las imágenes mentales: su viveza o la medida en que pueden ser controladas y hasta qué punto las imágenes son estructuralmente semejantes a los objetos físicos que representan. En la filosofía se ha hecho distinción entre imagen mental como acto o proceso mental e imágenes mentales como producto o contenido de tal acto o proceso. Por el lado de la psicología, el interés sobre el estudio de lo vivido como experiencia consciente llevó a distinguir entre el contenido de las experiencias originadas por una estimulación inmediata de tipo sensorial (perceptos) y los contenidos de las experiencias que, a pesar de ser similares en muchas formas, ocurren en ausencia de dicha estimulación (imágenes). Sin embargo, independientemente de la línea de investigación de la que se trate, uno de los pocos acuerdos a los que se ha llegado actualmente es que la habilidad de crear, contemplar y manipular imágenes mentales depende de la integridad de diferentes estructuras, mecanismos y procesos del nuestro cerebro.

Al estudiar las imágenes mentales se han buscado respuestas a muchas preguntas con el objetivo de esclarecer la naturaleza de la imaginación, particularmente contrastándola y comparándola con la percepción. Las siguientes son algunas cuestiones relevantes que han sido abordadas desde los inicios de las investigaciones:

- ¿Puede una experiencia imaginaria siempre ser distinguida de la experiencia perceptual? (Perky, 1910)
- ¿Puede una experiencia imaginaria ser tan intensa como la experiencia perceptual en la que está basada? (Schaub, 1911)
- ¿Puede una representación imaginada (imagen mental) tener la misma cantidad de información que su contraparte perceptual? (Fernald, 1912)
- ¿En qué condiciones emerge una imagen espontáneamente hacia la conciencia? (Fox, 1914)

John Richardson (2005) propone que el estudio de las imágenes mentales se puede dividir en tres periodos cronológicos:

1. El periodo pre-científico o filosófico. De los filósofos clásicos griegos, como Aristóteles y Platón, hasta los empiristas británicos, como John Locke, George Berkeley, David Hume y David Hartley.
2. El periodo de la “medida”. Inicia cuando la investigación científica comienza con el intento de recoger de manera sistemática informes verbales sobre la experiencia fenomenológica relacionada a las imágenes mentales de las personas. En 1889, Sir Francis Galton en su libro, *“Statistics of Mental Imagery”* (1880), define la imaginación como la capacidad de la mente de “ver” (visualizar) internamente. Posteriormente, Galton desarrolla un cuestionario que tiene como objetivo obtener información sobre cómo las personas describen sus imágenes mentales. Este cuestionario fue conocido como el “Cuestionario de la mesa de desayuno” y estaba principalmente centrado en imágenes visuales. Sin embargo, el cuestionario de Galton sólo proveía información “cualitativa” sobre las imágenes mentales de los individuos y, debido a esto, y basado en el cuestionario de Galton, Betts (1909) desarrolla el primer instrumento cuantitativo para evaluar qué tan vívidas son las imágenes mentales de los individuos: *Questionnaire upon Mental Imagery* – QMI. Este cuestionario abarcaba diferentes modalidades sensoriales e incluía 20 cuestiones relativas a la imaginación auditiva (QMI Vividness of Imagery Scale). El conocido

como “QMI” de Betts, o versiones reducidas de él, ha constituido hasta la fecha, uno de los instrumentos más usados en investigaciones y experimentos que implican la creación de imágenes mentales.

3. El periodo cognitivo o neuro-cognitivo (en los años 60's). A partir de los años 50's la investigación sobre los procesos de creación de imágenes mentales tomó un nuevo auge; todo esto debido a observaciones sobre aspectos de tipo “experiencia” o de “comportamiento” de los individuos. En esta época, se comenzaron a otorgar apoyos para estudios sobre imágenes mentales y alucinaciones a raíz de los efectos psicológicos observados en los prisioneros de guerra que habían sido sometidos a un aislamiento perceptual. Por otro lado, por ejemplo, el movimiento de las drogas se convirtió en un problema social y se informaba que experiencias de tipo “de imaginación” era una de las principales consecuencias del uso de LSD e intoxicación por mezcalina. Esto llevó a considerar el estudio sobre estos aspectos como parte de una serie de procesos necesarios para resolver problemas sociales serios. Por otra parte, debido al desarrollo de la ingeniería computacional, muchos psicólogos revisaron conceptos sobre el procesamiento de la información y usaron la computación y los procedimientos de programación como analogía. La psicología cognitiva nacía y se comenzaba a usar la imaginación como un constructo teórico y un paradigma experimental.

Percepción vs. imaginación

La percepción es un proceso altamente selectivo: Hoffding propuso que en casi todos los procesos de percepción estaba involucrada la memoria (Holt, 1972). Para él, la percepción era un proceso de “reconocimiento” en el que, en una especie “etapa preliminar”, la nascente presentación perceptual se equiparaba con representaciones almacenadas en nuestra memoria, mediante una especie de escaneo y, de esta manera, se encontraba la correlación adecuada. Este proceso se llevaba a cabo en un “centro de estadio” donde la información que ingresaba se equiparaba con una hipótesis construida: una entidad neurofisiológica, no “fenomenológica”. Sin estos constructos de información

codificada en la memoria a corto y a largo plazo (hipótesis perceptuales), el reconocimiento no podría ser tan rápido como en realidad lo es. Debido a esto es que, sin importar lo exiguo de éste, un estímulo se puede llegar a percibir en su totalidad o puede serle dada una interpretación de acuerdo a las hipótesis perceptuales que se tengan. En este sentido Neisser (1972) proponía:

Si la memoria y la percepción son las dos ramas claves de la psicología cognitiva, el estudio de la imaginación se ubica justo en su intersección. Nuestras imágenes deben estar basadas en lo que recordamos y en otro sentido lo que recordamos está frecuentemente basado en imágenes. A lo largo de la historia esto ha significado que las concepciones sobre la imaginación hayan derivado de las concepciones sobre memoria y percepción. Los procesos de imaginación y percepción están cercanamente relacionados, ambos son instancias de una construcción activa, más que un registro y recuerdo pasivo.

Al considerar las propuestas anteriores, se podría llegar al cuestionamiento acerca de que, quizá, gran parte de lo que percibimos es, de hecho, imaginado. Es decir, es probable que cada vez que se percibe algo, la imaginación interfiera para, de cierta manera, “predecir” la información que será procesada, lo que uniría indiscutiblemente los procesos de percepción e imaginación. Este vínculo podría ser apoyado con las evidencias que han proporcionado numerosas investigaciones de que gran parte de las áreas cerebrales que se ven involucradas en la percepción de estímulos se ven activadas en tareas de evocación de imágenes correspondientes a esos estímulos (ver citas en las secciones siguientes).

Imágenes auditivas

Los estudios sobre imágenes mentales se centraron, como punto de partida, en el dominio visual. De hecho, al hacer referencia a la palabra “imagen”, casi inmediatamente se hace una asociación a algún estímulo visual. Sin embargo, la etimología misma de la palabra (del latín “*imago*” del verbo “*imitari*”) implica una “imitación” que no se ve restringida a un solo ámbito sensorial. Los resultados de investigaciones sobre la creación mental de imágenes visuales y motoras, han demostrado que el hecho de “simplemente imaginar” un objeto, un paisaje o un rostro, activa algunas áreas cerebrales en común con las que se activan al efectivamente verlos (O’Craven *et al.*, 2000). Lo mismo sucedió respecto a la

imaginación de movimientos: el imaginar ejecutar un instrumento activa áreas cerebrales motoras involucradas en la ejecución del movimiento (Meister *et al.*, 2004). Es decir, se observó que los procesos de imaginación visual y motora y sus procesos correspondientes de percepción comparten algunos sustratos cerebrales. Todo esto llevó directamente a que se presentaran incógnitas respecto a cómo se evocan las imágenes auditivas. El acto de “evocar una imagen auditiva” supone el fenómeno de “generar” el sonido en la mente. En varios estudios se ha demostrado que la evocación de imágenes auditivas y la percepción del estímulo acústico comparten áreas de activación cerebral en común, como ciertas áreas del sistema auditivo central² (Chen *et al.*, 1996) y las cortezas auditivas primaria y secundaria (Kraemer *et al.*, 2005), por ejemplo. Por otro lado, en la investigación realizada por Kleber *et al.* (2007) sobre el canto imaginado de un *aria* (por cantantes profesionales), se observó activación en áreas fronto-parietales (áreas sensomotrices primaria y secundaria) y áreas involucradas con el procesamiento de emociones: corteza cingulada anterior, ínsula bilateral, hipocampo, polos anteriores temporales y amígdalas bilaterales; así como el área de Wernicke³ y la de Broca⁴ y sus homólogas. Sin embargo, muchas incógnitas siguen sin responderse respecto a la manera según la cual funciona este proceso cognitivo.

Una de las principales incógnitas sobre las imágenes auditivas ha sido si es posible recrear en la mente los componentes principales del sonido: altura, intensidad, duración y timbre. Varios investigadores (Intons-Peterson, 1980 y 1992, Finke & Shepard, 1986, Farah & Smith, 1983, Hubbard & Stoeckig, 1988, Weber & Brown, 1986, Crowder, 1989a y b, Deutsch *et al.*, 1992) se dieron a la tarea de explorar estos aspectos y observaron que, efectivamente, la información sobre los diferentes componentes del sonido puede estar disponible en las imágenes auditivas y ser accesada cuando la tarea lo requiera. Halpern *et al.* (2001) realizaron estudios con diferentes técnicas respecto a la evocación de imágenes auditivas con lo que corroboraron lo dicho anteriormente y observaron que elementos musicales como la altura tonal y el *tempo* son recreados en esas imágenes con gran exactitud, sobre todo por músicos profesionales. Por otro lado, en

² Núcleos geniculados mediales, colículos inferiores y lemnisco lateral. Estructuras que se encuentran en orden descendente entre la corteza auditiva y los complejos de la oliva superior.

³ Áreas 22, 39 y 40 de Brodmann.

⁴ Áreas 44 y 45 de Brodmann.

otras investigaciones (Zatorre *et al.*, 2004) se ha encontrado evidencia de que el timbre, cualidad compleja del sonido cuyos elementos más determinantes son el ataque y el espectro (McAdams *et al.*, 1992), también puede ser imaginado. Schürmann *et al.* (2002), realizaron un estudio de magnetoencefalografía (MEG)⁵ con el objetivo de observar el patrón temporo-espacial de la actividad cerebral durante la evocación de imágenes auditivas que seguían a un estímulo visual. Estos investigadores obtuvieron hallazgos similares, y observaron que la activación neural específica a la evocación de la imagen auditiva, de un solo sonido aprendido con anterioridad, desencadenada visualmente, seguía una secuencia temporal definida en los músicos profesionales. Kraemer *et al.* (2005) usaron la resonancia magnética funcional (fMRI)⁶ para identificar y caracterizar los sustratos neurales relacionados con la evocación de imágenes auditivas espontáneas. Estos autores extrajeron fragmentos de melodías conocidas y los reemplazaron con lapsos de silencio. Observaron que esta acción provocaba espontáneamente la evocación de la imagen auditiva que completaba la frase musical incompleta, y que activaba la corteza auditiva primaria y las áreas de asociación auditiva.

⁵ Técnica de imagenología que se emplea para estudiar el funcionamiento del cerebro humano a través de la medición de la actividad magnética de las neuronas (Castro-Sierra, 1995).

⁶ Técnica de imagenología que mide los cambios que se llevan a cabo en una zona activa del cerebro mediante el uso de ondas de radio que crean un campo magnético en cada neurona.

Emisiones Otoacústicas

Las emisiones otoacústicas son sonidos de muy baja intensidad que produce la cóclea debido al movimiento de las células ciliadas externas. Fueron registradas por primera vez en 1978 por el físico británico Kemp.

Antecedentes

El descubrimiento de las emisiones otoacústicas tiene una larga e interesante historia que se remonta a las investigaciones que se realizaron con el objetivo de descifrar el funcionamiento coclear y que llevaron a cambiar la visión del comportamiento de la cóclea de uno pasivo a uno activo. Uno de los más importantes hallazgos del siglo XIX respecto al funcionamiento coclear derivó de los estudios realizados por Hermann von Helmholtz sobre el análisis de frecuencia de la membrana basilar. Helmholtz fue el primero en relacionar la anatomía coclear con los mecanismos físicos involucrados en el comportamiento de los instrumentos musicales y explicar las bases de la fisiología coclear con un modelo de tubos resonadores. A través de su trabajo, Helmholtz sugirió cuál podría ser la organización de las células ciliadas en la membrana basilar de acuerdo al análisis de frecuencia que éstas llevan a cabo: las células que responden a estímulos de vibración rápida (sonidos agudos) se encuentran en la base de la membrana; aquellas situadas cerca del ápice responden a estímulos de vibración lenta (sonidos graves) (Werner, 2001).

Alrededor de la segunda mitad del siglo XX, el húngaro Georg von Békésy⁷ (1970) continuó la investigación sobre la teoría de la resonancia de Helmholtz y propuso su teoría de la “onda viajera” para explicar cómo la cóclea analiza las diferencias de altura e intensidad. Sin embargo, von Békésy llevó a cabo sus investigaciones en cócleas de cadáveres, lo que lo llevó a analizar un comportamiento pasivo de la cóclea. Por otro lado, en las investigaciones realizadas hasta ese momento, no se habían considerado los procesos de amortiguación que se llevan a cabo en los fluidos localizados dentro de un compartimiento cerrado, tal como lo es la cóclea.

⁷ Premio Nobel de fisiología en 1961.

El físico Thomas Gold (1948) no estaba totalmente de acuerdo con la teoría de la onda viajera de von Békésy y consideraba que el principal problema que lo había llevado a considerar un comportamiento pasivo de la cóclea era que había realizado sus experimentos en cócleas de cadáveres, como se mencionó anteriormente. Gold constató que las vibraciones que se observan en las cócleas de animales vivos son más grandes de lo que se esperaba que fueran si provinieran de una vibración pasiva en un ambiente líquido. Estos hallazgos lo llevaron a considerar una producción de energía debida a la generación de movimiento en la membrana basilar, es decir, un comportamiento “activo” de la cóclea. Más adelante, propuso la hipótesis de que, a través de un micrófono muy sensible, se podrían detectar vibraciones audibles en el canal auditivo externo. Gold pensó que estas vibraciones serían un producto residual del mecanismo vibratorio “activo” de la membrana basilar que se propagaría hacia la cadena osicular, y de ahí a la membrana timpánica. Sin embargo, en la época de Gold no se contaba con equipo dotado de estas características, y no le fue posible demostrar su hipótesis. Más tarde, Kemp, en acuerdo con las teorías de Gold, sugirió que la función de las células ciliadas externas era la de generar energía mecánica. La teoría del “amplificador coclear” derivada de este concepto comenzó a obtener cada vez mayor importancia, y el concepto del papel activo de las células ciliadas externas fue finalmente reconocido. El desarrollo de micrófonos de bajo ruido con mayor sensibilidad, permitió a Kemp finalmente comprobar lo que se había sospechado en relación con todas estas teorías, y registrar por primera vez en 1978 los sonidos de muy baja intensidad que produce la cóclea debido al movimiento de las células ciliadas externas: las emisiones otoacústicas. Estas primeras emisiones registradas por Kemp correspondían a las ahora llamadas emisiones otoacústicas provocadas transitorias.

Más adelante, Brownell (1990) confirmó los hallazgos de Kemp y demostró la función contráctil de las células ciliadas externas. Este investigador observó que al estimular eléctricamente a las células ciliadas externas aisladas (*in vitro*), se producían en ellas cambios de longitud reversibles, y que al suministrar fármacos ototóxicos⁸ para inhibir la contractibilidad de las células desaparecían las emisiones otoacústicas.

⁸ Salicilatos y antibióticos aminoglucósidos

Clasificación y características

Existen dos tipos de emisiones otoacústicas, las provocadas por un estímulo externo y las espontáneas, que son producidas sin estímulo externo alguno. En el grupo de las emisiones otoacústicas provocadas se encuentran dos tipos: las emisiones provocadas transitorias (EOAPT) y las emisiones otoacústicas productos de una distorsión (EOAD). Estos 2 tipos de emisiones otoacústicas constituyen una herramienta clínica importante en el monitoreo del funcionamiento de la cóclea.

A continuación se hará referencia a las características de las emisiones otoacústicas citadas por Poblano *et al.* 2003 y Werner, 2001.

Emisiones otoacústicas provocadas transitorias (EOAPT):

- Se producen como respuesta a una señal de banda ancha (chasquido o tono), con un tiempo de respuesta de entre 5 y 20 ms. Con esta señal, se estimula la cóclea en su totalidad, y se generan diferentes respuestas de acuerdo a la progresión de la onda sobre la membrana basilar. El registro inicial corresponde a las frecuencias agudas y el final a las graves.
- En general, se pueden reproducir y son estables por largos periodos de tiempo, aunque las EOAPT generadas por arriba de los 5000 Hz pueden ser menos confiables en cuanto a su estabilidad.
- Se usan como método de elección para el monitoreo del funcionamiento coclear en los recién nacidos.
- Al aumentar de 20 a 30 dB la presión del estímulo, la respuesta de las EOAPT's aumentará hasta por entre 60 y 70 dB, es decir, su respuesta en cuanto a amplitud no será lineal.
- Los neonatos tienen respuestas de amplitud mayores por 10 ó más decibelios de aquellas de las respuestas generadas en adultos.
- Las EOAPT's tienen mayor amplitud en las mujeres y en el oído derecho. Se encuentran en todos los sujetos con mínimo de audición de 25 dB, en frecuencias entre 500 y 6000 Hz. Tienen un promedio de amplitud de 7.2 a 9.7 dB.

Emisiones otoacústicas provocadas producto de distorsión (EOAD):

1. Aparecen en oídos sanos como respuesta a la estimulación por dos tonos puros simultáneos (F1 y F2). La respuesta de mayor amplitud se genera en la frecuencia resultante de la substracción $2F1 - F2$.
2. Al generar las emisiones otoacústicas por distorsión se pueden estimular regiones específicas de la membrana basilar de manera independiente.
3. Las EOAD's se registran entre los 500 y los 8000 Hz.
4. Al igual que las EOAPT's, las emisiones otoacústicas provocadas por distorsión están presentes en todos los oídos con umbrales de audición por debajo de 25 dB.
5. La amplitud media de las EOAD's estudiadas en pasos de 1.2 kHz tiene un pico de 12.9 ± 5.4 dB. Las amplitudes de este tipo de emisiones no muestran diferencias interaurales.
6. Las EOAD's de las mujeres suelen tener mayores amplitudes. En general, disminuyen su amplitud a edades mayores, especialmente en el caso de las frecuencias altas, tanto en hombres como en mujeres.

Emisiones otoacústicas espontáneas

Emisiones otoacústicas espontáneas (EOAE):

- Son continuas. En condiciones estables, no cambian por arriba de 10 Hz en el transcurso de una hora.
- Tienen un ancho de banda de 1Hz.
- Manifiestan amplitudes estables de intervalo de entre 3 a -20 dB, con un promedio de 8.5 dB.
- La mayoría cae dentro de la banda de frecuencias de 1 a 2 kHz, la región de mayor sensibilidad auditiva en humanos.
- En recién nacidos y lactantes, se encuentran en una banda más aguda de 3 a 4 kHz.
- Tienen cambios circadianos y circamensuales que pueden llegar a ser de hasta 27 a 36 Hz cada ocho semanas (Bell, 1992).

El origen y la función de las emisiones otoacústicas espontáneas (EOAE's) permanecen aún poco claros. Es ya conocido que no todos los sujetos con oídos sanos presentan EOAE's, y se sabe que el hecho de que esta población no las presente es absolutamente normal: su ausencia no es signo de disfunción auditiva ni de algún tipo de problema clínico (Hall, 2000). Anteriormente, se hablaba de que sólo un 50% de la población las presentaba, con predominancia en las mujeres y en los oídos derechos. Con el desarrollo de equipos más sensibles, en especial de micrófonos de ruido más bajo, el hallazgo de porcentajes positivos ha aumentado hasta un 70% de la población (Talmadge *et al.*, 1993). Sin embargo, se han mantenido las predominancias mencionadas en cuanto al sexo y a la lateralización. Las frecuencias de las EOAE's de un individuo pueden permanecer estables por largos periodos; no obstante, las EOAE's de altas frecuencias pueden desaparecer en el transcurso de los años y, por el contrario, aparecer algunas emisiones de frecuencias más bajas. Se pueden registrar varias EOAE's en cada oído y es altamente probable que, si un individuo las presenta, se encuentren en ambos oídos. Actualmente, se reconoce su relación con el sistema auditivo eferente⁹ y existen algunas evidencias de que los oídos con EOAE's poseerán mayor sensibilidad auditiva (McFadden *et al.*, 1993). Por su parte, Braun (1997) ha realizado importantes hallazgos respecto a la relación de las frecuencias de las EOAE's con las bandas críticas,¹⁰ y posiblemente con la discriminación de la altura tonal (Braun, 2000). Estos datos abren nuevas perspectivas en cuanto a investigaciones sobre el papel que pueda tener este tipo de emisiones otoacústicas en la percepción y producción musical y en los procesos de cognición relacionados con esta modalidad sonora.

⁹ Vías descendentes del sistema auditivo que transmiten información desde centros superiores del sistema auditivo central (corteza auditiva) hacia estructuras más inferiores, entre ellas, las células ciliadas externas.

¹⁰ Banda de frecuencias que excita cada terminación nerviosa. El ancho de banda crítica se halla en función de la frecuencia.

Anatomía y fisiología del sistema auditivo central

Las células ciliadas son las células neurosensoriales auditivas. Estas células se encuentran repartidas sobre la membrana basilar y se observan dos tipos de ellas: las células ciliadas internas (CCI) y las células ciliadas externas (CCE). Cada célula ciliada interna se encuentra alineada con tres células ciliadas externas; cada hilera de células ciliadas (1 CCI + 3 CCE) se encarga de una banda de frecuencia específica. Las diferencias entre estos dos tipos de células ciliadas no radican exclusivamente en su distribución, sino, también en sus diferencias estructurales y funcionales. Las células ciliadas externas tienen forma de “columna” o “bastón”, mientras que las internas son de forma “globular”. La función de las células ciliadas internas (aprox. 3000) es exclusivamente sensorial: no participan en la electromotricidad de la cóclea y presentan un 95% de innervación aferente. Por el contrario, las células ciliadas externas (aprox. 9000) participan en algún grado en la transmisión aferente de información, si bien poseen, principalmente, capacidad electromecánica, la que, de acuerdo a las investigaciones de William Brownell, “...permite el aumento de energía mecánica en la cóclea al incrementar la amplitud de las vibraciones de la membrana basilar...”. Este efecto resonador sirve de apoyo en la sintonización precisa de las frecuencias (Schubert, 1980). De la misma manera, las células ciliadas externas son esenciales en la producción de las emisiones otoacústicas, de las que se habló en la sección anterior. Las fibras nerviosas que inervan las células ciliadas provienen del VIII par craneal (nervio auditivo). En las fibras que constituyen la innervación aferente de las células ciliadas (aprox. 30,000), se distinguen dos tipos celulares: el tipo I (el que conecta con el 90 a 95% de las células ciliadas internas), y el tipo II (el que conecta con el 5 a 10% restante de las células ciliadas internas, a la vez que la mayor parte de este tipo de fibras conecta con células ciliadas externas). Cada fibra tipo I inerva una sola célula ciliada interna, pero cada célula ciliada interna recibe cerca de 20 fibras. Por el contrario, cada fibra tipo II inerva varias células ciliadas externas, las que, generalmente, pertenecen a la misma fila (Fig. 1). Ambos tipos de fibras se unen en el ganglio espiral y forman el nervio auditivo que se conecta con los núcleos cocleares (Schubert, 1980). De esta manera, comienza el transporte de la información que se ha

codificado en la cóclea hasta llegar a la corteza cerebral a través de los diferentes centros del sistema auditivo central.

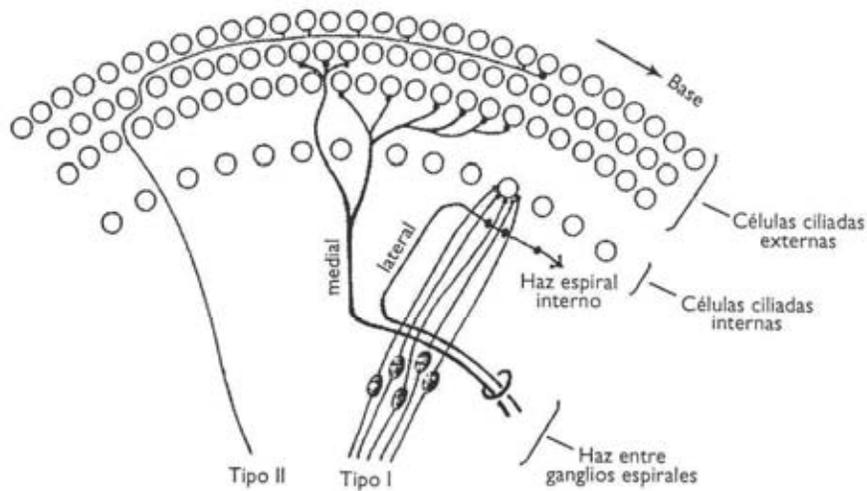


Fig. 1. Innervación aferente de las células ciliadas (Werner, 2001)

La innervación eferente de la cóclea recae en las células ciliadas externas. Su origen se ha ubicado, principalmente, en los cuerpos neuronales ubicados en uno de los centros del sistema auditivo central, los complejos de la oliva superior (COS). Con todo, esta vía auditiva eferente puede ser rastreada hasta la corteza cerebral (Huffman *et al.*, 1990). La función de las conexiones eferentes del sistema auditivo sigue en proceso de definición; no obstante, entre las funciones que se le atribuyen está, como se mencionó anteriormente, la activación de un proceso de resonancia en las células ciliadas externas que apoya el ingreso de la información acústica y facilita su percepción. Por otro lado, se ha reconocido su posible función de soporte en tareas de discriminación de frecuencias específicas embebidas en ruido, a manera de apoyo a los requerimientos de la atención dirigida a estímulos específicos (Maison *et al.*, 2001).

Funcionamiento neuronal

En este momento, resulta pertinente hacer un paréntesis para describir el funcionamiento neuronal, debido a que, como se mencionó anteriormente, las células ciliadas son las

células neurosensitivas del sistema auditivo, y la transmisión de información obedece los principios de funcionamiento de las células nerviosas.

La neurona es la unidad funcional del sistema nervioso central. Estas células tienen la característica de recibir y transmitir impulsos nerviosos (inhibitorios o excitatorios) entre ellas. En cada neurona se distinguen tres componentes: el cuerpo, o *soma*, que contiene el núcleo de la célula; el axón, o *neuroeje*, prolongación del cuerpo neuronal que conduce los impulsos que van desde éste hacia otras neuronas (cada neurona tiene un solo axón)¹¹ y, el tercer componente, que constituye la mayor parte del área receptora –; las dendritas, prolongaciones del cuerpo neuronal, que suelen ser cortas y ramificadas, y que le permiten a la neurona recibir estímulos de varias fuentes. La transmisión de la información nerviosa entre las neuronas se lleva a cabo a través de la sinapsis. Una sinapsis está constituida por tres elementos: la neurona pre-sináptica, la neurona post-sináptica y la brecha sináptica, un espacio de 20 a 30 nm entre dichos elementos. La llegada de un impulso a una neurona provoca un cambio de potencial¹² en su membrana. En una sinapsis excitatoria, el impulso causará una despolarización de la membrana pre-sináptica (el potencial se torna más positivo) y, de este modo, se abrirán los canales iónicos que darán paso a iones de Ca^{++} . El aumento de concentración de este ión llevará a las vesículas que contienen neurotransmisores a unirse a la membrana y a liberarlos al espacio sináptico. Al unirse los neurotransmisores a los receptores de la membrana post-sináptica, se provocará un cambio de potencial de acción post-sináptico. La suma de estas respuestas determinará si un impulso viajará o no lo hará. En una sinapsis inhibitoria, el impulso provocará una hiperpolarización (el potencial se tornará más negativo) de la membrana, lo que inhibirá la generación de potenciales de acción. El tipo de neurotransmisores liberado determinará si la neurona post-sináptica será excitada o inhibida (Barr *et al.*, 1986).

¹¹ Es importante mencionar que algunas neuronas no tienen axones. En estos casos, las dendritas de estas neuronas conducirán los impulsos en ambos sentidos, hacia el cuerpo neuronal y desde el cuerpo neuronal.

¹² El potencial de una membrana en reposo es de entre - 60 y - 70 mV. El pico máximo en la despolarización de la membrana es usualmente de +25 mV, después de lo cual, la membrana volverá a su valor de reposo (repolarización). En procesos de hiperpolarización, el potencial de la membrana excederá el potencial de reposo, lo que inhibirá la generación de potenciales de acción.

Sistema auditivo central

Una vez que se haya llevado a cabo la transducción de la información de frecuencia en forma mecánica a información por medio de impulsos eléctricos, ésta pasará por todos los centros del sistema auditivo central hasta llegar a la corteza auditiva. A pesar de que el estímulo acústico es analizado ya a partir de la cóclea, por medio de su organización tonotópica, este análisis se volverá mucho más complejo conforme la señal llegue a los diferentes relevos del sistema auditivo central, esto es: “...*la complejidad del análisis se incrementará conforme aumente la distancia respecto a la cóclea, debido a que las unidades asignadas para el procesamiento auditivo se incrementarán rápidamente conforme se vaya ascendiendo en el tracto auditivo...*” (Schubert, 1980). De acuerdo a Schubert, en el mono se han estimado 190,000 células en los núcleos cocleares, 400,000 en los cuerpos geniculados mediales y alrededor de 10,000,000 en la corteza auditiva. Es importante mencionar que la organización tonotópica, o mejor llamada, cocleotópica, se mantendrá a través de todos los núcleos del sistema auditivo central (Fig. 2).

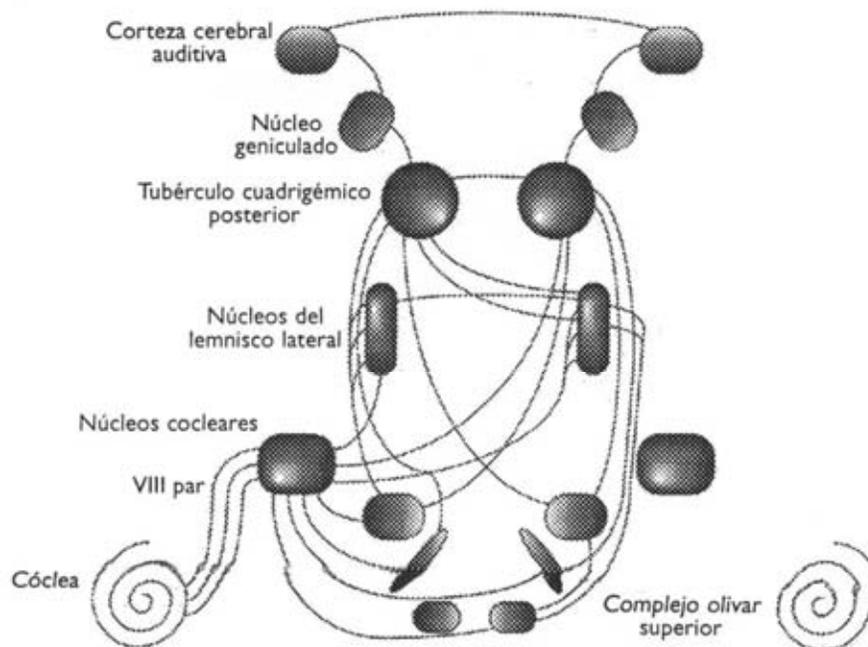


Fig. 2. Representación esquemática de los centros del sistema auditivo central (Werner, 2001)

Sistema auditivo eferente

En diversas investigaciones se han encontrado evidencias neuroanatómicas que muestran que las vías descendentes (o eferentes) del sistema auditivo central se originan en la corteza auditiva y llegan hasta la cóclea (Huffman *et al.*, 1990; Feliciano *et al.*, 1995; Mulders *et al.*, 2000; Hall, 2000).

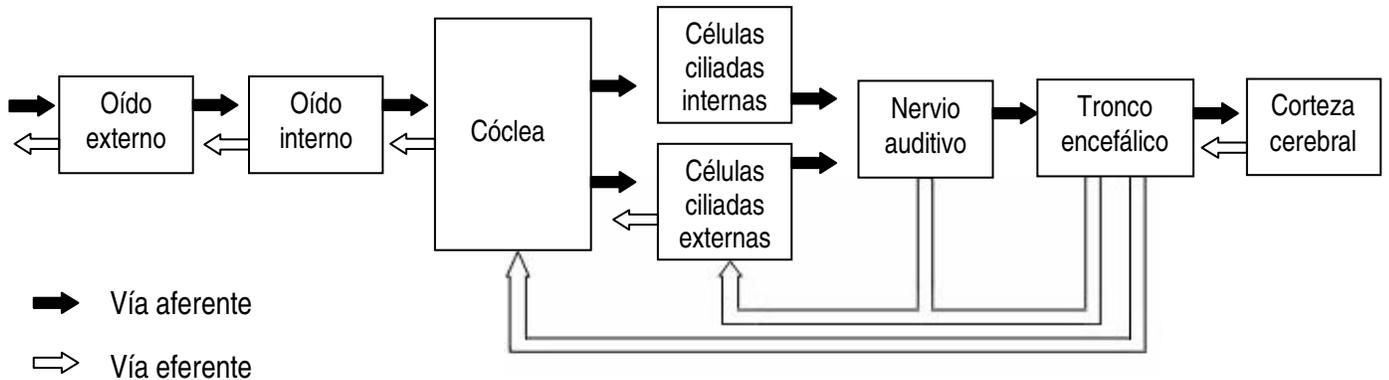


Fig. 3. Esquema de las vías aferentes y eferentes del sistema auditivo (Hall, 2000)

La información que se presenta a continuación hace referencia al trabajo de Huffman y Henson (1990) sobre las vías descendentes del sistema auditivo central, particularmente sobre las conexiones eferentes de la corteza auditiva con los colículos inferiores, un centro obligatorio de la vía auditiva, tanto en la aferente como en la eferente.

La vía eferente consta de tres grandes proyecciones:

- 1) De la corteza auditiva al cuerpo geniculado medial y los colículos inferiores
- 2) De los colículos inferiores al complejo de la oliva y los núcleos cocleares
- 3) Del complejo de la oliva superior a la cóclea

Huffman y Henson determinaron que hay una distribución ordenada de las proyecciones córtico-coliculares hacia núcleos específicos de los colículos inferiores, es decir, áreas específicas de la corteza auditiva tienen proyecciones hacia partes específicas de los colículos inferiores. Una parte importante de la proyección del colículo inferior central de

un lado contribuye a las conexiones descendentes de la vía auditiva contralateral. Por otro lado, estos investigadores mencionan que los resultados de varios estudios electrofisiológicos realizados en diferentes mamíferos (gato, rata, murciélago herradura) han demostrado que la corteza auditiva puede modular la respuesta al sonido en las neuronas de los colículos inferiores. De la misma manera, se ha observado un esquema común en los mamíferos en cuanto a 3 vías descendentes paralelas (córtico-colículo-genículo-corticales). Una serie de núcleos de la corteza auditiva, los colículos inferiores y el cuerpo geniculado medial son activados, predominantemente, por una de esas vías, formando 3 circuitos de retroalimentación paralelos pero separados.

En cuanto a la función de las conexiones entre la corteza auditiva y los colículos inferiores, generalmente se ha restringido a mecanismos inhibitorios y a un aumento teórico de la sensibilidad auditiva. Sin embargo, los estudios sobre influencias cognitivas en las respuestas auditivas sugieren que las vías descendentes podrían constituir los canales empleados por la corteza para influir en el sistema auditivo en procesos de retroalimentación relacionados a los “ingresos de información” (*bottom-up* y *top-down*), tanto excitatorios como inhibitorios, que modulan temporalmente la capacidad de respuesta de las neuronas que sirven de objetivo, una vez que se ha presentado la estimulación, y que esta influencia relacionada a un estímulo específico que afecta el procesamiento, tanto a niveles altos como bajos en las vías auditivas, puede llegar hasta el nivel de las células ciliadas externas (Jääskeläinen *et al.*, 2007).

Después del relevo en los colículos inferiores, la vía descendente se proyecta hacia el COS y los núcleos cocleares. En el gato, la proyección colículo-núcleo coclear más importante va de los núcleos centrales de los colículos inferiores a los núcleos cocleares dorsales contralaterales. Las conexiones colículo-cócleo-nucleares mantienen las propiedades anatómicas que distinguen a las diferentes proyecciones del sistema auditivo eferente: la corteza auditiva se proyecta, ipsilateralmente, hacia los núcleos externos y dorsales de los colículos inferiores y, posteriormente, hacia la superficie de los núcleos cocleares dorsales ipsilaterales. Por otro lado, la corteza auditiva se proyecta, bilateralmente, hacia los núcleos dorsales de los colículos inferiores.

En cuanto a las conexiones de los colículos inferiores con el complejo de la oliva superior, es de especial interés el hecho de que la conexión se lleva a cabo en zonas

donde se encuentran las neuronas olivococleares; las cuales hacen sinapsis con las células ciliadas internas y externas. De esta manera, los colículos inferiores mantienen una conexión bisináptica con la cóclea pudiendo, así, modular sus respuestas.

La innervación del sistema eferente hacia la cóclea termina principalmente en las células ciliadas externas. Los cambios en las respuestas de estas células parecen estar mediados por las neuronas olivococleares del complejo de la oliva superior. Las neuronas olivococleares laterales se proyectan predominantemente hacia la cóclea ipsilateral. Las neuronas olivococleares mediales se proyectan hacia la cóclea contralateral, en donde hacen sinapsis con las células ciliadas externas.

En resumen, Huffman y Henson mencionan la existencia de evidencia anatómica y fisiológica de una vía descendente trisináptica que conecta a la corteza auditiva con la cóclea. (Fig. 4), y consignan que, a través de estas vías, es probable que los impulsos neurales descendentes, que representan información procesada en la corteza auditiva, se transmitan en un lapso de tiempo menor al de la transmisión ascendente de la información acústica proveniente del exterior.

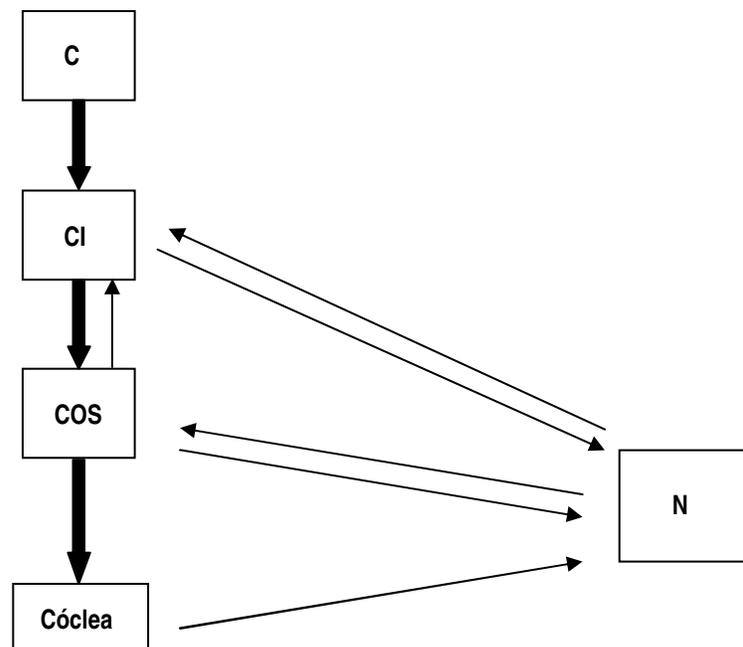


Fig. 4. Vía trisináptica descendente entre la corteza auditiva (CA) y la cóclea (flechas gruesas). Es posible que los colículos inferiores (CI) constituyan un enlace entre la información que desciende desde la corteza auditiva y el sistema olivococlear eferente que inerva a las células ciliadas externas. Las conexiones ascendentes y descendentes entre cada par de núcleos entre los colículos inferiores, el complejo de la oliva superior (COS) y los núcleos cocleares (NC), forman un sistema de “bucles” de retroalimentación (Huffman & Henson, 1990)

Desarrollo de la investigación

Justificación

La evocación de imágenes auditivas activa las mismas áreas cerebrales que aquellas que se ven activadas durante la percepción auditiva, incluyendo las cortezas auditivas primarias y secundaria y posiblemente algunos centros del sistema auditivo eferente. Las EOAE's conservan una relación directa con este sistema. Además, se tiene evidencia sobre la relación entre las EOAE's y la sensibilidad auditiva, y sobre la existencia de mayores influencias eferentes en músicos profesionales que en las personas sin experiencia musical (Perrot *et al.*, 1999). Podemos, entonces, suponer que pueda existir una relación entre la evocación de las imágenes auditivas y las EOAE's, y que esta relación sea diferente entre músicos y personas sin experiencia musical, es decir, personas que no han realizado estudios profesionales de música o que no han desarrollado una actividad musical determinada por varios años. La relevancia y la posible existencia de esta relación fueron consideradas importantes por especialistas como Martin Braun, compositor y científico de la audición de la organización "Neurociencia de la Música", ubicada cerca de Kalrstad, en Suecia, quien así lo indicó en la siguiente comunicación personal:

"...Primero, gracias por la interesante pregunta. No pude encontrar ninguna publicación sobre este tema. Esto quiere decir que la probabilidad de que existan publicaciones al respecto es extremadamente baja..." "...Sabemos que las EOAE's están relacionadas con el sistema auditivo central, aún cuando los sujetos nunca tienen conciencia de ellas. Entonces, por supuesto, puede haber una relación entre la evocación de imágenes auditivas y las EOAE's, la cual permanece sin ser notada por los sujetos..."

En una segunda comunicación, confirmó:

"...Ninguno de los miembros del Foro 1200-Plus de expertos en audición consignó conocimiento alguno sobre el tema. Por lo tanto, es seguro decir que serás probablemente la primera en lidiar con él..." "...mi colega en Australia estuvo también muy interesado en la pregunta..." "...Una vez que sepa más respecto a tu hipótesis, quizá pueda ahondar en más detalles y posiblemente enviarte más material..."

Por su parte, Warren Brodsky, del Departamento de Artes e Investigación Científica de la Música, en Ber-Sheva, Israel, comunicó:

“...presumo que pueda haber relación entre la evocación de imágenes auditivas y las EOAE’s, especialmente entre los músicos...” “...Me gustaría conocer en el futuro lo que hayas encontrado, suena emocionante...”

André Aleman, del Centro de Neuroimagenología BCN de Groningen, Holanda, mencionó:

“...Pienso que es un tema muy interesante. Me temo que no conozco ninguna investigación al respecto. Sin embargo, quisiera animarte a llevar a cabo este estudio, ¡quizá seas la primera en hacer un estudio profundo sobre el tema!...”

Estos datos parecen corroborar tres puntos importantes de esta propuesta:

- 1) Que aporta un tema original y novedoso.
- 2) Que es de interés para la ciencia auditiva y la neurociencia de la música.
- 3) Que tiene posibilidades de generar resultados importantes.

Por otro lado, es importante mencionar que este trabajo podría, de cierta manera, insertarse en la línea de investigación que trazaron el Dr. Raúl Hernández-Peón y sus colaboradores con la teoría del control central de la transmisión aferente relacionada con procesos de atención, en la que postularon que la selección de información se lleva a cabo en los primeros relevos de la vía sensorial (Hernández-Peón, 1956). Los trabajos del Dr. Hernández-Peón y la presente investigación se tocan en el punto de querer observar el papel del sistema auditivo periférico y sus conexiones (aferentes en el caso de los trabajos del Dr. Hernández-Peón y eferentes en el caso de esta investigación) en los procesos cognitivos auditivos.

Objetivos

1. Observar si existen evidencias de influencias descendentes (top-down) de la actividad cerebral, durante la evocación de imágenes auditivas hacia el oído

- interno que sean identificables sobre el comportamiento de las emisiones otoacústicas espontáneas.
2. Observar si la interacción entre la actividad cerebral durante la imaginación musical y el comportamiento de las EOAE's es diferente en músicos y en personas sin instrucción musical especializada.
 3. Observar si hay diferencias estadísticas en la presencia de emisiones otoacústicas espontáneas en los oídos de músicos y sujetos sin experiencia musical.
 4. Observar si el comportamiento de las emisiones otoacústicas espontáneas presenta algún tipo de lateralización; es decir, si hay diferencias entre las respuestas de los oídos derechos con las que se hallan en los izquierdos.

Una de las metas principales de esta investigación es determinar, dada la interacción entre estos dos supuestos componentes de la respuesta, si hay un efecto de la creación mental de imágenes auditivas y la actividad de las emisiones otoacústicas espontáneas sobre la sensibilidad auditiva de los músicos. Es decir, se podría determinar hasta qué punto el practicar la evocación de imágenes auditivas, actividad muy desarrollada en el quehacer musical, pueda tener una relación con la sensibilidad auditiva, y si, quizá, de manera más ambiciosa, se pueda pensar en su uso como herramienta para su refinamiento. Otro de los objetivos de la investigación es el de comparar la respuesta de los oídos derechos contra la de los oídos izquierdos con el propósito de obtener evidencia acerca de algún tipo de lateralización relacionada con la tarea de imaginación musical. De observarse algún tipo de respuesta lateralizada, podría obtenerse información relevante respecto a la especialización hemisférica mediante un acercamiento a procesos de información descendiente de áreas cerebrales a áreas cocleares (“*top-down*”). Por otro lado, se pretende también obtener más evidencia del papel o los papeles que puedan tener las emisiones otoacústicas espontáneas y quizá, incluso, de su utilidad en el ser humano.

Hipótesis

La actividad cerebral desencadenada durante la evocación de imágenes auditivas tiene un efecto sobre la cóclea. Este efecto puede observarse en cambios de presentación de las emisiones otoacústicas espontáneas y es diferente entre músicos y personas sin experiencia musical.

Materiales y métodos

Sujetos

En el diseño de este estudio se determinó la división de la muestra en dos grupos: El primero estaba formado por sujetos considerados como músicos y el otro por sujetos sin instrucción musical formal o que no hubieran ejercido alguna actividad musical por más de tres años¹. Para reclutar a los voluntarios, se llevaron a cabo varios procedimientos:

1.- Se desarrolló una página de internet (<http://cibernetica.fciencias.unam.mx/eoas>) donde se explicaba la naturaleza del estudio, se daba información básica sobre la investigación y se proporcionaba una hoja de registro donde los interesados debían dar, tanto datos personales y de contacto, como información requerida de acuerdo a los criterios de inclusión.

2.- Se diseñó un cartel (Fig. 5) con información básica sobre el estudio y se colocó en varios lugares de la Escuela Nacional de Música de la UNAM. En este cartel se proporcionó la liga de la página de internet donde los interesados podían dejar sus datos.

3.- Se realizaron visitas tanto a la escuela Ollin Yoliztli como a la Escuela Superior de Música para platicar sobre el proyecto con grupos que se encontraran disponibles.

4.- Con la autorización de los maestros, se realizaron pláticas sobre el proyecto con diferentes grupos de la Escuela Nacional de Música. Se visitaron grupos correspondientes principalmente al nivel licenciatura debido a la edad deseada. Los grupos visitados fueron grupos de solfeo (Nivel Propedéutico), Adiestramiento Auditivo, Historia de la Música Universal, Psicología del Arte, Enseñanza de Alemán, Armonía al Teclado y Taller de Composición.

¹ De ahora en adelante se hará referencia a este grupo como “sujetos sin experiencia musical”

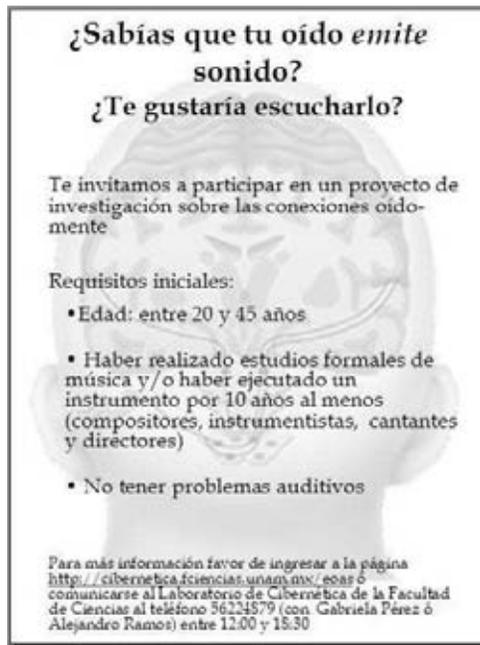


Fig. 1. Cartel de invitación al proyecto

Criterios de inclusión: grupo músicos

Se consideraron sujetos adecuados para este grupo aquellas personas que llevaran al menos 10 años de estudio formal de la música o que hubieran desarrollado actividad musical por al menos ese lapso de tiempo, que tuvieran edades entre los 20 y los 45 años y que no presentaran ningún tipo de desórdenes auditivos, visuales, motores, hápticos (táctiles), neurológicos o psiquiátricos.

Criterios de inclusión: grupo sin experiencia musical

Se consideraron sujetos adecuados para este grupo aquellas personas que no hubieran llevado más de 3 años de instrucción o práctica musical aparte de la recibida en la educación básica. Originalmente, se tenía considerado buscar para este grupo sujetos que tuvieran algún tipo de parentesco con el grupo de los músicos; sin embargo, debido a las características de los voluntarios se desechó esta posibilidad para esta muestra. En cuanto a los requisitos de edad y salud, se consideraron los mismos criterios que para el grupo de músicos.

Muestra final

Como resultado del proceso de reclutamiento y selección, se obtuvieron 45 voluntarios, en su totalidad de la Escuela Nacional de Música. Para el grupo de sujetos sin experiencia musical, se contactaron conocidos personales, y se contó también con la participación de voluntarios de la Clínica Lomas Altas, tanto médicos como enfermeras.

Una vez con la lista de voluntarios interesados en participar en la investigación, se realizó una selección al azar para conformar la muestra. Se seleccionaron 49 sujetos: 27 músicos (15 mujeres y 12 hombres) y 22 sujetos sin experiencia musical (14 mujeres y 8 hombres).

Materiales y equipo

Después de una búsqueda exhaustiva, sólo se encontró un lugar en la Ciudad de México que contara con el equipo adecuado para detectar emisiones otoacústicas espontáneas: la Clínica Lomas Altas, en la que el Dr. Gonzalo Corvera es médico en jefe del Laboratorio de Audiología y la Dra. Valeria Lopilover una de sus médicos titulares. Después de algunas pláticas se autorizó el uso, tanto del equipo como de sus instalaciones, sin costo alguno, para llevar a cabo las pruebas.

El equipo utilizado para detectar y analizar las emisiones otoacústicas de los sujetos fue un Echoport ILO292 DP USB-II del laboratorio Otodynamics Ltd. del Reino Unido.

Las pruebas se llevaron a cabo en una cabina sonoamortiguada (Electromédica y Acústica, S. A.) con las siguientes características:

- Sistema de armado:
 - Sellos: Colocados entre paneles con esquineros y canales de unión (“H”) de acero y aplicación de sellador acrílico. Puerta con doble sello de hule.
 - Sujeción: Sujetado al techo con el mismo peso del panel, tornillos laterales y sellador de acrílico. Sujetado al piso con el peso de los paneles, tornillos y sellador acrílico.
- Ventana: Constituida por 2 ó 3 cristales inastillables independientes, de 10mm de espesor, conectados al tercero intermedio oblicuo, de 5mm
 - Dimensiones nominales: (ancho x alto) 0.5m x 0.7m
 - Altura de piso a ventana: (sin ruedas) 0.85m

- Atenuación de ruido: 37 dB a 500 Hz
- Accesorios estándar:
 - Lámpara fluorescente para iluminación interior a base de luz fría
 - Juego de placas para conexión del exterior al interior entre el audiómetro, la cabina y los accesorios
 - Contacto polarizado grado médico. Alimentación 120 VAC 60Hz
 - Sistema sonoamortiguado de 2 velocidades de ventilación; con integración del panel al techo:

Velocidad	Nivel de ruido (500Hz)
Alta	33dB SPL
Baja	18dB SPL

Melodía

La melodía que se seleccionó para la tarea de creación de imágenes auditivas fue “La Marcha de Zacatecas” de G. Codina (anexo 3). Se eligió esta melodía porque se buscaba un ejemplo musical muy conocido por todos los sujetos (músicos y sujetos sin experiencia musical) sin un texto conocido por ellos. Esta decisión fue tomada para evitar la variable adicional del lenguaje. Se realizó la grabación de una versión simplificada de dicha melodía, en una sola pista, con el sonido de una flauta transversa.

Cuestionarios (anexo 2)

Al estudiar imágenes mentales nos encontramos con una dificultad muy importante: Con las técnicas de imagenología modernas [tomografía por misión de positrones (PET), resonancia magnética funcional (fMRI), electroencefalografía (EEG), magnetoencefalografía (MEG), estimulación magnética transcraneal (TMS), etc.] se tienen evidencias importantes sobre los sustratos cerebrales que se activan durante la creación de imágenes mentales. Sin embargo, hasta el presente, no existe ningún aparato o dispositivo que nos pueda dar información sobre el “contenido” de una imagen mental. Se puede saber si existe activación cerebral al momento de imaginar algo e, incluso, con

bastante precisión, las zonas cerebrales activadas, pero el único acceso que se tiene al contenido de las imágenes es el informe subjetivo de los sujetos sobre su propia imaginación. Los informes introspectivos en primera persona son recursos técnicos que bien diseñados y utilizados proveen información confiable sobre los contenidos de actividades mentales conscientes. De esta manera, se diseñaron cuatro cuestionarios para ser entregados a los sujetos en diferentes momentos de las pruebas. Tres de los cuestionarios fueron entregados a los sujetos para que los respondieran antes de los registros y el último cuestionario se les entregó al terminar la sesión de registro. El primer cuestionario (anexo 2a) consistió en una versión reducida y modificada del Cuestionario de Betts sobre imágenes mentales (1909). El objetivo de este cuestionario era determinar qué tan buenos imaginadores se consideraban los sujetos a sí mismos. En el segundo cuestionario (anexo 2b), los sujetos debían comparar la versión en flauta de la melodía seleccionada - grabada específicamente para la tarea de imaginación - con su recuerdo de la misma. El tercer cuestionario (anexo 2c) consistía de una lista de sustancias ototóxicas: los sujetos tenían que indicar si habían estado expuestos a alguna de ellas y, en caso afirmativo, qué tan recientemente. En este mismo cuestionario las mujeres tenían que dar información sobre su ciclo menstrual, debido a que se han encontrado cambios en las EOAE's relacionados a éste (Bell, 1992). El propósito del último cuestionario (anexo 2d) era obtener información sobre la viveza de la imagen en la tarea de creación mental de imágenes durante la sesión de registro y su nivel de distracción al llevarla a cabo.

Procedimientos

1ª. Etapa

Una vez seleccionada la muestra al azar, se organizaron grupos de acuerdo a la conveniencia de los sujetos para realizar las sesiones de detección de emisiones otoacústicas espontáneas. Antes de llevar a cabo la primera prueba, se dio a cada uno de los sujetos información detallada sobre el estudio y se le explicó en qué consistían las pruebas y en qué condiciones se realizarían; se mencionó, además, que no habría ni riesgo ni efectos secundarios. Después de haber recibido esta información, todos los sujetos firmaron su conformidad de participar en el estudio y dieron su consentimiento para usar toda la información recopilada tanto en las pruebas como en los diversos

cuestionarios, exclusivamente con fines de investigación. La primera sesión de registro consistió simplemente en correr la prueba de análisis de la presión sonora del canal auditivo, de ambos oídos, de los sujetos para determinar la presencia o la ausencia de emisiones otoacústicas espontáneas. Para ello, se insertó el micrófono en el canal auditivo externo del sujeto con una oliva de plástico (Fig. 6).



Fig. 2. Micrófono del sistema ILO292 con oliva de plástico

La técnica del sistema ILO292 consiste en presentar un chasquido en el oído y promediar las EOAE's sincronizadas con éste (Hall, 2000). El sistema lleva a cabo este procedimiento eliminando las muestras cuyo ruido sobrepasa un límite preestablecido hasta que se logren 260 muestras libres de ruido. El tiempo que tarda la prueba es muy cercano al minuto. El software del sistema aplica una transformada rápida de Fourier (FFT) a la señal obtenida de manera que se despliegue en la pantalla una gráfica (Fig. 7) de la señal en frecuencia contra amplitud (kHz contra dB^2). Este análisis se lleva a cabo en un ancho de banda de 0-6kHz.

² La amplitud de las EOAE's se mide en dB ó decibelios; ésta es la unidad relativa al nivel de presión sonora, en la que el 0 representa el umbral de audición y los dB negativos representan niveles por debajo del umbral de audición humana.

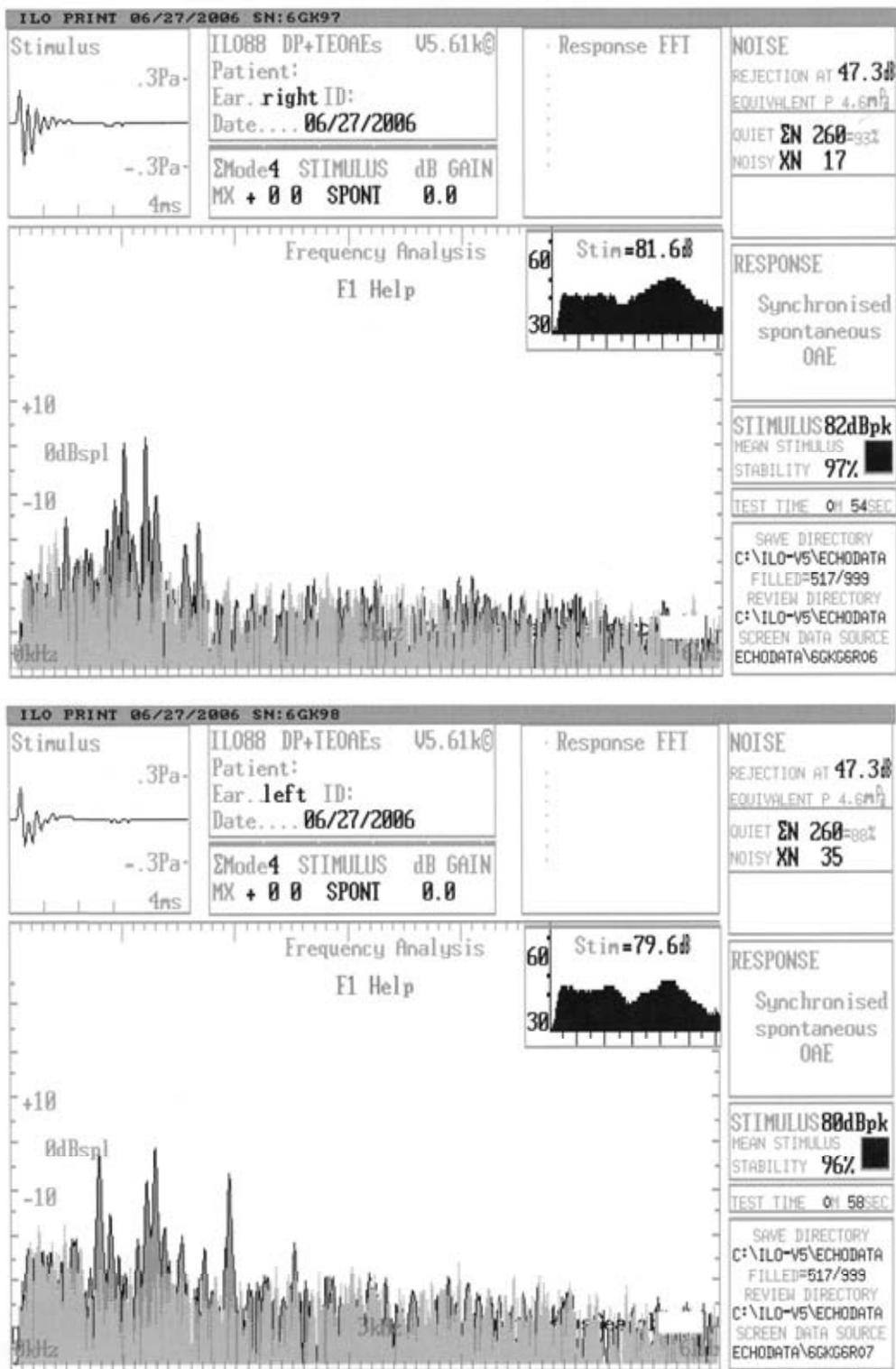


Fig. 3. Imagen derecha e izquierda del registro de EAOE's realizado por el sistema ILO292. Se observan las EAOE's detectadas en ambos oídos de un mismo sujeto (femenino)

2ª. Etapa

El siguiente paso consistió en realizar audiometrías a los sujetos que presentaron EOAE's. El objetivo de estas pruebas era corroborar que los sujetos seleccionados presentaran niveles audiométricos normales. Estas pruebas las llevaron a cabo la Dra. Carmina Arteaga y el Dr. Adrián Poblano en el Instituto Nacional de Rehabilitación de la SS. Las pruebas se realizaron con un audiómetro portátil de la marca Beltone. Los dinteles de audición se midieron a 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz. Uno de los sujetos presentó trauma acústico nivel I, alrededor de los 4 kHz en el oído derecho, aparentemente debido a exposición constante a niveles altos de ruido. Sin embargo, y ya que ninguna de sus emisiones se encontraba cercana a esta frecuencia, se consideró como viable para la muestra. El resto de los sujetos presentaron niveles audiométricos normales.

En este momento se realizó una tercera división de la muestra: se seleccionaron al azar 2 sujetos del grupo de los músicos y 2 sujetos del grupo de los sujetos sin experiencia musical y se conformó el *grupo control*.

Las dos etapas descritas se realizaron en 3 semanas.

3ra Etapa

Entrenamiento y batería de pruebas

Una vez obtenidos los datos anteriores, se procedió a la tercera etapa de la investigación, que consistiría en el entrenamiento de los sujetos en la tarea de evocación de imágenes auditivas y el registro de las emisiones durante las diferentes condiciones seleccionadas. Se entrenaron 21 sujetos de los 23 que presentaron emisiones, 2 se perdieron por cuestiones personales. Para esto, se les pidió a los sujetos que no ingirieran alcohol o cafeína (debido a su naturaleza ototóxica) al menos 12 horas antes de esta sesión. Se organizaron grupos de acuerdo a la conveniencia de los sujetos para hacer sesiones de entrenamiento. Como primera parte de esta etapa, se entregó a los sujetos un paquete con los tres primeros cuestionarios diseñados para la investigación (ver anexos 2a, 2b y 2c). Los dos primeros debían ser contestados antes de la sesión de entrenamiento; el tercero podía ser contestado en el transcurso del día, mientras los sujetos esperaban a que se les tomaran sus registros.

Una vez contestados los primeros dos cuestionarios, se procedió a la sesión de entrenamiento. Con el objetivo de preparar a los sujetos para las diferentes condiciones en las cuales se tomarían registros de sus emisiones otoacústicas espontáneas, se entrenó a los sujetos en dos tareas:

1.- Tarea de concentración en un solo evento. Con el fin de lograr enfocar la concentración de los sujetos y evitar, hasta cierto punto, que su pensamiento estuviera muy activo y disperso, se decidió incluir una tarea de concentración en un solo evento. En particular, se escogió la concentración en la respiración ya que es un tipo de concentración relativamente sencilla y bastante común. Se les pidió a los sujetos que cerraran sus ojos y que concentraran su atención en la sensación de su respiración. Se les indicó específicamente que no prestaran particular atención al “sonido” de la respiración, sino a la sensación de la entrada y salida del aire en su nariz. Esto, con el objetivo de no incluir más variables auditivas en las pruebas. El entrenamiento consistió en una práctica de esta concentración, para lo cual se les pidió a los sujetos que cerraran sus ojos, al cabo de lo cual se realizó la práctica en dos ocasiones, en periodos de 5 minutos de concentración contra periodos de 5 minutos de recuperación.

2.- Tarea de evocación de imágenes auditivas. Esta tarea constituyó la parte medular de la batería de pruebas. El entrenamiento consistió en que los sujetos escucharan la grabación con la melodía seleccionada tantas veces como fuera necesario hasta que indicaran que se sentían capaces de recordarla perfectamente. Para monitorear si su recuerdo había sido lo suficientemente exacto, se midió el tiempo total de la melodía (1:03 min) y se comparó el tiempo que tomaba a cada sujeto recordarla, esperando que éste fuera muy parecido a la duración de la melodía grabada. En unos experimentos consignados por Halpern *et al.* (2001), se observó que había una alta correlación entre el *tempo* de una melodía percibida y la misma melodía imaginada. De esta manera, si los sujetos imaginaban la melodía de manera muy precisa en comparación con la representada en la grabación, la duración debía ser similar. Así, una vez que los sujetos indicaban que se sentían capaces de imaginar la melodía sin problemas, se les pedía que volvieran a imaginarla, y se medía el tiempo. De acuerdo a los resultados, y de ser necesario, se les volvía a reproducir la

grabación para que afinaran el tiempo del recuerdo. Este procedimiento se repitió hasta que se obtuvo una variación máxima de ± 03 seg. Los sujetos con entrenamiento musical previo lograron realizar la tarea en menor tiempo que los sujetos del grupo sin experiencia musical; sin embargo, en el resultado final, los sujetos de ambos grupos lograron casi la misma precisión, por lo menos en cuanto al tiempo se refiere. A los sujetos del grupo control se les entrenó exclusivamente en la tarea de concentración en un solo evento, sin estar expuestos en ningún momento a la melodía seleccionada.

Una vez terminadas estas dos sesiones de entrenamiento, se procedió a tomar los registros de las EOAE's en las 9 diferentes condiciones que se determinaron para el estudio, todas ellas dentro de la cabina sonoamortiguada y con el equipo descrito anteriormente:

- Condición A, Registro basal: Esta condición consistió en un registro de las EOAE's sin tarea específica asociada. Simplemente se les pidió a los sujetos que permanecieran sentados, sin moverse ni hacer ruido, y con los ojos abiertos.
- Condición B, Concentración 1: Para este registro, se les colocó a los sujetos un antifaz con el fin de que mantuvieran sus ojos cerrados y se les indicó que realizaran la tarea de concentración para la que habían sido entrenados: enfocar su atención en la sensación de su respiración. Una vez que el sujeto iniciaba la concentración, se dio un margen de 15 segundos para correr la prueba.
- Condiciones C y D, Imaginación con ojos cerrados 1 y 2: En estas dos condiciones se tomaron los registros mientras los sujetos llevaban a cabo la tarea de evocación de imágenes auditivas. Se les dejó colocado el antifaz y se les pidió que imaginaran la melodía y que indicaran el momento de inicio del proceso de imaginación. Se les informó que probablemente la prueba duraría más tiempo que la melodía y se les indicó que repitieran en su mente la melodía tantas veces como les diera tiempo hasta que se les pidiera que se detuvieran. Se cronometró el inicio y el fin de este proceso para hacer un cálculo aproximado de las veces que les hubiera dado tiempo a los sujetos de repetir la imaginación de la melodía y comparar lo informado por ellos. Una vez indicado el inicio de la tarea, se dio un margen de 15 segundos para correr la prueba.

- Condiciones E y F, Imaginación con ojos abiertos 1 y 2: Estas condiciones consistieron en lo mismo que las condiciones C y D, con la excepción de que se quitó el antifaz a los sujetos y se les indicó que mantuvieran los ojos abiertos.
- Condición G, Concentración 2: Igual a la condición B.
- Condición H, Basal 2: Esta condición consistió en otro registro sin tarea asociada. Simplemente, se les indicó a los sujetos que se mantuvieran sentados, sin moverse ni hacer ruido, y con los ojos abiertos.
- Condición I, Final: Estos registros se tomaron aproximadamente 2 horas después de la condición anterior. Condición similar a la A y H.

Con los sujetos del grupo control se realizaron los mismos registros, en el mismo orden y mismos lapsos de tiempo, con la excepción de que en las condiciones C, D, E y F (condiciones que implicaban la variable de la imaginación) se les indicaba que se sentaran, con ojos abiertos o cerrados según correspondiera, sin moverse y que podían pensar en lo que ellos quisieran, exceptuando el recuerdo de cosas relacionadas con música. Entre la realización de la condición H y la condición I, se les entregó a todos los sujetos el último cuestionario. Al considerar que tenían muy claro en la mente el desarrollo de las pruebas y su desempeño en las mismas; era importante que en este momento indicaran su experiencia al respecto. A los sujetos del grupo control se les indicó que describieran detalladamente lo que habían pensado durante las pruebas. Ninguno de ellos consignó haber pensado en eventos musicales.

Resultados

Características de las EOAE's encontradas en la muestra

Los resultados obtenidos de las pruebas de detección de sujetos con emisiones otoacústicas espontáneas fueron los siguientes:

- De los 49 seleccionados, sólo 23 sujetos (aproximadamente un 47%) presentaron EOAE's: 14 músicos (10 mujeres y 4 hombres) y 9 sujetos sin experiencia musical (7 mujeres y 2 hombres). En total, los porcentajes en cuanto al sexo fueron los siguientes:
 - 34.75% mujeres
 - 12.25% hombres

Se encontró un total de 144 EOAE's, 107 en el grupo de músicos y 37 en el grupo de sujetos sin experiencia musical:

- Un 74.4% de las emisiones se encontró en el grupo de los músicos y el 25.6% en el grupo de sujetos sin experiencia musical.
- Un 63.2% de las emisiones se encontró en oídos derechos y el 36.8% en oídos izquierdos.
- Un 85.5% de las emisiones se encontró en los oídos de las mujeres y el 14.5% en los oídos de los hombres.
- Siete de las mujeres del grupo de los músicos presentaron emisiones en ambos oídos, y 3 de éstas sólo en el oído derecho. Dos de los hombres de este grupo presentaron emisiones en ambos oídos, y 2 de éstos sólo en el derecho.
- Tres de las mujeres del grupo de los sujetos sin experiencia musical presentaron emisiones en ambos oídos, 3 de éstas sólo en el derecho y una sólo en el izquierdo. Uno de los hombres de este grupo presentó emisiones en ambos oídos, y el otro sujeto sólo en el oído izquierdo.

Tabla I. Número de emisiones otoacústicas espontáneas encontradas en los sujetos

MÚSICOS				SUJETOS SIN EXPERIENCIA MUSICAL			
Mujeres		Hombres		Mujeres		Hombres	
10		4		7		2	
Total de emisiones				Total de emisiones			
oído der.	oído izq.	oído der.	oído izq.	oído der.	oído izq.	oído der.	oído izq.
49	43	13	2	25	6	4	2
Total = 107				Total = 37			

- Las frecuencias de la mayoría de las emisiones cayeron entre 1 y 2 kHz, en ambos grupos. Sin embargo, se encontraron emisiones en una gran gama de frecuencias: en oídos derechos, el límite inferior en el que se encontró alguna emisión fue 281 Hz; el límite superior se encontró en 5750 Hz. En oídos izquierdos, estos límites se encontraron en 244 Hz y 5420 Hz, respectivamente.
- Las amplitudes de las emisiones encontradas fueron extremadamente diversas, y fluctuaban entre -28.7 y 9.9 dB
- De los 23 sujetos que presentaron EOAE's, sólo los datos de 19 sujetos se consideraron adecuados para el análisis.

Análisis de los datos

Uno de los problemas principales que se encontraron al observar los datos obtenidos fue que, para cada sujeto, las frecuencias de cada una de sus emisiones eran completamente diferentes y únicas. Es decir, para cada emisión de la muestra había una serie de datos propios e individuales. Sólo se vio de manera excepcional la repetición de 3 frecuencias: 1050, 1184 y 1270 Hz, en diferentes sujetos. Por otro lado, en algunas frecuencias, el comportamiento de las emisiones era muy inestable e incluso llegaban a desaparecer completamente a lo largo de las pruebas; y en algunos casos, aparecían en el transcurso de ellas. Se observó que las emisiones con comportamiento más estable se encontraban en la banda de 1 a 2 kHz y, debido a esto, se decidió realizar el análisis estadístico de los

datos encontrados en este ancho de banda. De esta manera, se consideraron sólo 40 emisiones de la muestra, 23 del grupo de los músicos, 7 del grupo de los sujetos sin experiencia musical, 3 del grupo control de los músicos y 7 del grupo control de los sujetos sin experiencia musical. Estas 40 emisiones correspondieron a 19 sujetos de la muestra: 10 músicos con un promedio de 12.3 años de práctica musical [2 cantantes, 1 educador musical, 4 pianistas, 1 guitarrista, 1 acordeonista, 1 bajista (bajo eléctrico)] y 9 sujetos sin experiencia musical. Sin embargo, debido a que cada emisión observó un comportamiento totalmente individual, incluso entre las emisiones pertenecientes al mismo oído de un mismo sujeto, se consideró cada emisión como independiente para fines del análisis estadístico y, por lo tanto, la muestra se consideró como consistente de 40 sujetos (1 emisión = 1 sujeto). Por otro lado, se realizó el análisis inicial sólo con los datos obtenidos de los oídos derechos. Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el software SPSS 13.0 para Windows. Se realizaron pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) a cada uno de los grupos, y se determinó que la distribución de las amplitudes de la muestra, en la gama de frecuencias seleccionada, era normal. En las tablas que se encuentran a continuación (II a V), se pueden observar los resultados respecto a la media, la mediana y la desviación estándar de cada una de las condiciones de registro para cada grupo:

Tabla II. Grupo de músicos: media, mediana y desviación estándar de las amplitudes de las emisiones (dB) para cada una de las condiciones de registro (oídos derechos)

Músicos			
Condición de registro	Media	Mediana	DS
A. Inicial basal	-14.96	-17.80	±8.26
B. Concentración 1	-12.00	-14.05	±8.12
C. Imaginación ojos cerrados 1	-13.97	-15.55	±8.72
D. Imaginación ojos cerrados 2	-14.24	-15.20	±8.98
E. Imaginación ojos abiertos 1	-12.93	-13.60	±8.36
F. Imaginación ojos abiertos 2	-12.47	-13.90	±8.19
G. Concentración 2	-11.97	-13.55	±8.43
H. Basal 2	-12.68	-14.60	±8.78
I. Final	-13.61	-15.15	±8.17

Tabla III. Grupo de sujetos sin experiencia musical: media, mediana y desviación estándar de las amplitudes de las emisiones (dB) para cada una de las condiciones de registro (oídos derechos)

Sujetos sin experiencia musical			
Condición de registro	Media	Mediana	DS
A. Inicial basal	-12.66	-14.40	±4.20
B. Concentración 1	-12.04	-14.00	±5.22
C. Imaginación ojos cerrados 1	-10.04	-11.70	±5.48
D. Imaginación ojos cerrados 2	-9.64	-11.10	±5.39
E. Imaginación ojos abiertos 1	-8.77	-9.90	±4.51
F. Imaginación ojos abiertos 2	-9.60	-10.70	±4.70
G. Concentración 2	-9.96	-11.10	±5.11
H. Basal 2	-10.44	-11.60	±5.60
I. Final	-11.24	-12.30	±5.94

Tabla IV. Grupo control de músicos: media, mediana y desviación estándar de las amplitudes de las emisiones (dB) para cada una de las condiciones de registro (oídos derechos)

Control músicos			
Condición de registro	Media	Mediana	DS
A. Inicial basal	-12.23	-8.10	±10.06
B. Concentración 1	-8.60	-5.40	±6.61
C. Imaginación ojos cerrados 1	-8.80	-5.70	±6.08
D. Imaginación ojos cerrados 2	-8.77	-6.30	±5.35
E. Imaginación ojos abiertos 1	-8.83	-6.40	±5.38
F. Imaginación ojos abiertos 2	-8.07	-6.10	±4.76
G. Concentración 2	-8.40	-5.70	±5.38
H. Basal 2	-7.57	-5.00	±4.89
I. Final	-11.17	-8.40	±5.68

Tabla V. Grupo control de sujetos sin experiencia musical: media, mediana y desviación estándar de las amplitudes de las emisiones (dB) para cada una de las condiciones de registro (oídos derechos)

Control sujetos sin experiencia musical			
Condición de registro	Media	Mediana	DS
A. Inicial basal	-11.20	-16.60	±10.14
B. Concentración 1	-14.45	-17.20	±8.79
C. Imaginación ojos cerrados 1	-11.79	-15.90	±10.18
D. Imaginación ojos cerrados 2	-10.89	-14.90	±9.53
E. Imaginación ojos abiertos 1	-11.60	-14.20	±10.15
F. Imaginación ojos abiertos 2	-9.24	-12.10	±8.43
G. Concentración 2	-10.09	-13.20	±9.19
H. Basal 2	-12.35	-18.05	±11.86
I. Final	-13.04	-17.70	±10.11

Debido a que se trató de una investigación de tipo observacional, se consideró un valor de alfa del 10% ($p < 0.1$) como valor de referencia significativa para las pruebas¹. El hecho de llevar a cabo pruebas con una señal fisiológica con características tan particulares presentó ciertas dificultades para realizar el análisis estadístico. Por ejemplo, a pesar de que la mayoría de las emisiones más estables observadas en todos los sujetos se encontraban en la banda de 1 a 2 kHz, algunos de los sujetos presentaron emisiones tanto en frecuencias mucho más bajas (281 y 244 Hz, en oídos derechos e izquierdos respectivamente), como en frecuencias más altas (5750 y 5430 Hz, en oídos derechos e izquierdos respectivamente). Esto podría verse reflejado en los resultados respecto a las desviaciones estándar presentados en las tablas anteriores. En general, se encontró una dispersión más extensa de los datos en el grupo de los músicos y el grupo control de músicos. Sin embargo, debido a los resultados positivos obtenidos con las pruebas de normalidad, fue posible realizar pruebas paramétricas descriptivas con los resultados de cada grupo, para buscar diferencias significativas en los cambios de amplitud de las emisiones otoacústicas espontáneas de los sujetos. La prueba seleccionada para el efecto fue *ANOVA* (análisis de varianza) de medidas repetidas, se buscaron las diferencias tanto entre los resultados de las condiciones de registro de cada grupo observacional (pruebas “intra-grupos”) como dentro de los resultados de la misma condición de registro entre diferentes grupos observacionales (pruebas “inter-grupos”). Las Tablas VI y VII presentan los resultados obtenidos respecto a la comparación entre cada par de condiciones de registro, dentro de los grupos observacionales: músicos y sujetos sin experiencia musical. En el grupo de los músicos, se pueden observar diferencias que tienden a ser significativas entre los siguientes pares de condiciones de registro:

- A y G (Inicial y concentración 2)
- D y F (imaginación con ojos cerrados 2 e imaginación con ojos abiertos 2)
- D y G (imaginación con ojos cerrados 2 y concentración 2)

¹El nivel de alfa es el valor de la probabilidad que los investigadores deciden aceptar antes de tener la confianza suficiente de que los resultados obtenidos son lo suficientemente confiables como para ser hechos públicos. Este es el nivel predeterminado de aceptación. El nivel de alfa no se calcula, sino que es elegido por el(los) investigador(es). En las ciencias sociales, un nivel de alfa de 0.05 es considerado “aceptable”. Muchos investigadores no aceptarán un valor de p (probabilidad) mayor de 0.10. Esto significa que sólo si el investigador tiene una seguridad de 90 (valor de $p = 0.10$) a 95% (valor de $p = 0.05$) de que sus hallazgos son válidos podrá someter los mismos a una revista científica o abrir al público la información derivada de ellos en un periódico. Bennet RM (1995) To the editor. *J Rheumatol* 22(2):273-274.

En el grupo de sujetos sin experiencia musical se encontraron diferencias significativas entre los siguientes pares de condiciones de registro:

- A y E (Inicial e imaginación con ojos abiertos 1)
- B y E (concentración 1 e imaginación con ojos abiertos 1)

No se encontraron diferencias significativas en las comparaciones realizadas en los grupos control. De la misma manera, no se encontraron diferencias significativas en la comparación entre músicos y sujetos sin experiencia musical.

Las Figuras 8 a 11 muestran ejemplos gráficos del nivel de simetría y dispersión de los datos obtenidos en cada tarea para cada grupo (ver el Apéndice 1 para la descripción de los diagramas de caja, de acuerdo al Manual del SPSS 12.0)

Tabla VI. Resultados encontrados de la comparación de los promedios de amplitud en el grupo de los músicos entre cada condición de registro, en los oídos derechos. Las diferencias que tienden a ser significativas $*(p < 0.1)$ se pueden observar entre las siguientes condiciones de registro: A y G (Inicial y concentración 2), entre las condiciones D y F (imaginación con ojos cerrados 2 e imaginación con ojos abiertos 2) y entre las condiciones D y G (imaginación con ojos cerrados 2 y concentración 2)

Músicos 1-2kHz					
Cond 1	Cond 2	Diferencia promedio	Error Std.	<i>p</i>	
A.	B.	-1.968	.880	1.000	
	C.	-.991	.882	1.000	
	D.	-.729	.885	1.000	
	E.	-2.038	.768	.524	
	F.	-2.498	.791	.163	
	G.	-2.991	.825	.054*	
	H.	-2.287	.693	.117	
	I.	-1.355	.658	1.000	
	B.	C.	.997	.766	1.000
D.		1.239	.826	1.000	
E.		-.069	.670	1.000	
F.		-.530	.567	1.000	
G.		-1.023	.824	1.000	
H.		-.319	.673	1.000	
I.		.614	.607	1.000	
C.		D.	.262	.596	1.000
		E.	-1.047	.640	1.000
	F.	-1.508	.565	.508	
	G.	-2.000	.906	1.000	
	H.	-1.297	.735	1.000	
	I.	-.364	.888	1.000	
D.	E.	-1.309	.409	.149	
	F.	-1.770	.516	.086*	
	G.	-2.262	.628	.057*	
	H.	-1.559	.596	.567	
	I.	-.626	.835	1.000	
E.	F.	-.461	.335	1.000	
	G.	-.953	.505	1.000	
	H.	-.250	.488	1.000	
	I.	.683	.686	1.000	
F.	G.	-.492	.560	1.000	
	H.	.211	.433	1.000	
	I.	1.144	.627	1.000	
G.	H.	.703	.649	1.000	
	I.	1.639	.684	.923	
H.	I.	.933	.610	1.000	

Tabla VII. Resultados encontrados de la comparación de los promedios de amplitud en el grupo de los sujetos sin experiencia musical entre cada condición de registro, en los oídos derechos. Las diferencias significativas $*(p < 0.1)$ se pueden observar entre las siguientes condiciones de registro: A y E (Inicial e imaginación con ojos abiertos 1) y B y E (concentración 1 e imaginación con ojos abiertos 1)

Sujetos sin experiencia musical 1-2 kHz					
Cond 1	Cond 2	Diferencia promedio	Error Std.	<i>p</i>	
A.	B.	-.614	.599	1.000	
	C.	-2.614	.901	.983	
	D.	-3.014	.929	.633	
	E.	-3.886	.615	.026*	←
	F.	-3.057	.662	.131	
	G.	-2.700	.599	.146	
	H.	-2.214	.762	.975	
	I.	-1.414	.946	1.000	
	B.	C.	-2.000	.872	1.000
D.		-2.400	.852	1.000	
E.		-3.271	.482	.018*	←
F.		-2.443	.657	.356	
G.		-2.086	.540	.299	
H.		-1.600	.799	1.000	
I.		-.800	.527	1.000	
C.		D.	-.400	.434	1.000
	E.	-1.271	.643	1.000	
	F.	-.443	.469	1.000	
	G.	-.086	.397	1.000	
	H.	.400	.356	1.000	
	I.	1.200	.947	1.000	
	D.	E.	-.871	.643	1.000
F.		-.043	.700	1.000	
G.		.314	.578	1.000	
H.		.800	.500	1.000	
I.		1.600	.974	1.000	
E.	F.	.829	.360	1.000	
	G.	1.186	.388	.806	
	H.	1.671	.726	1.000	
	I.	2.471	.726	.518	
F.	G.	.357	.293	1.000	
	H.	.843	.619	1.000	
	I.	1.643	.835	1.000	
G.	H.	.486	.405	1.000	
	I.	1.286	.692	1.000	
H.	I.	.800	.870	1.000	

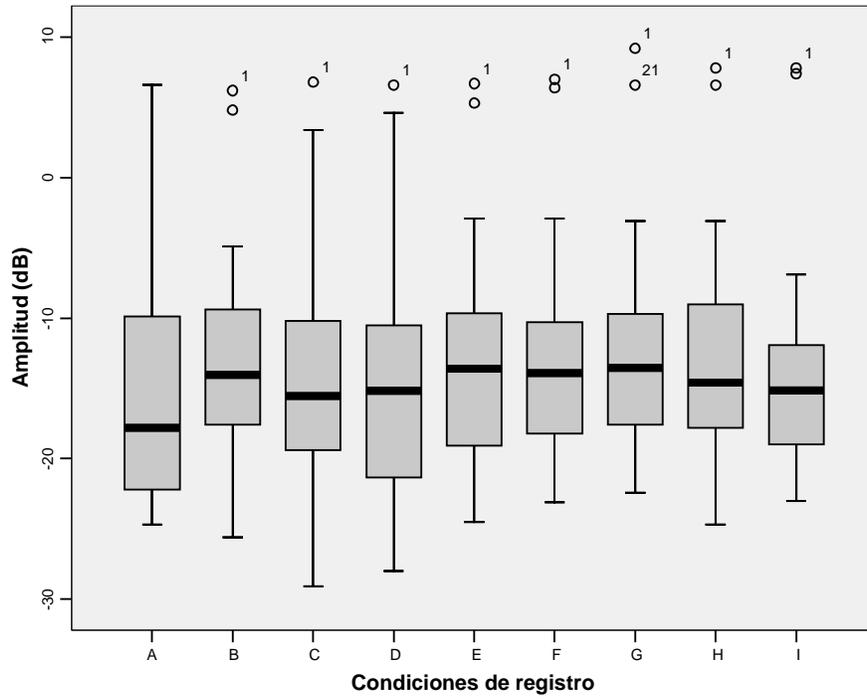


Fig. 1. Gráfica de simetría y dispersión en el grupo de músicos (oídos derechos)

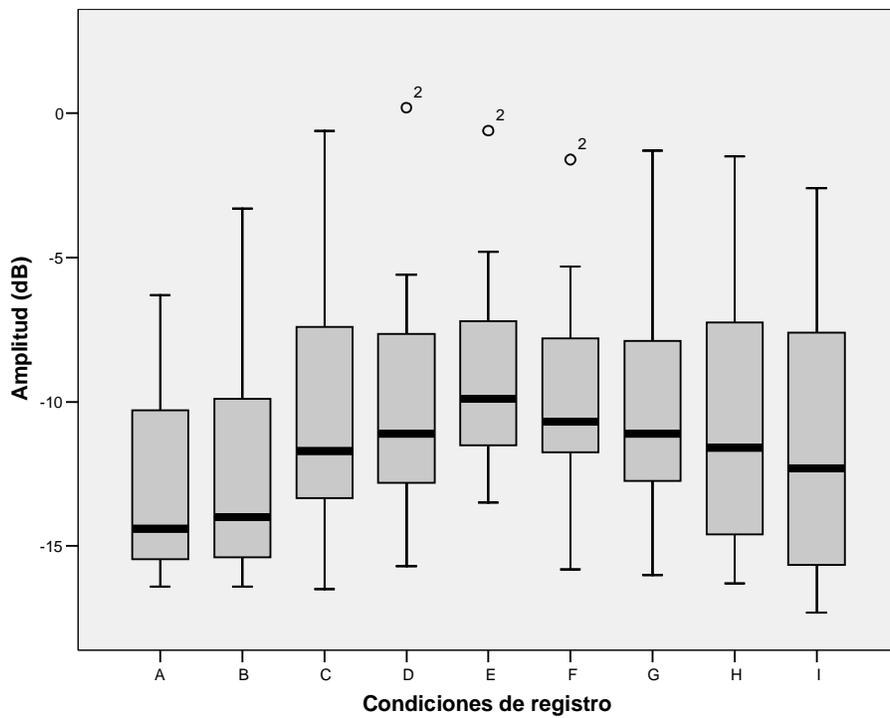


Fig. 2. Gráfica de simetría y dispersión en el grupo de sujetos sin experiencia musical (oídos derechos)

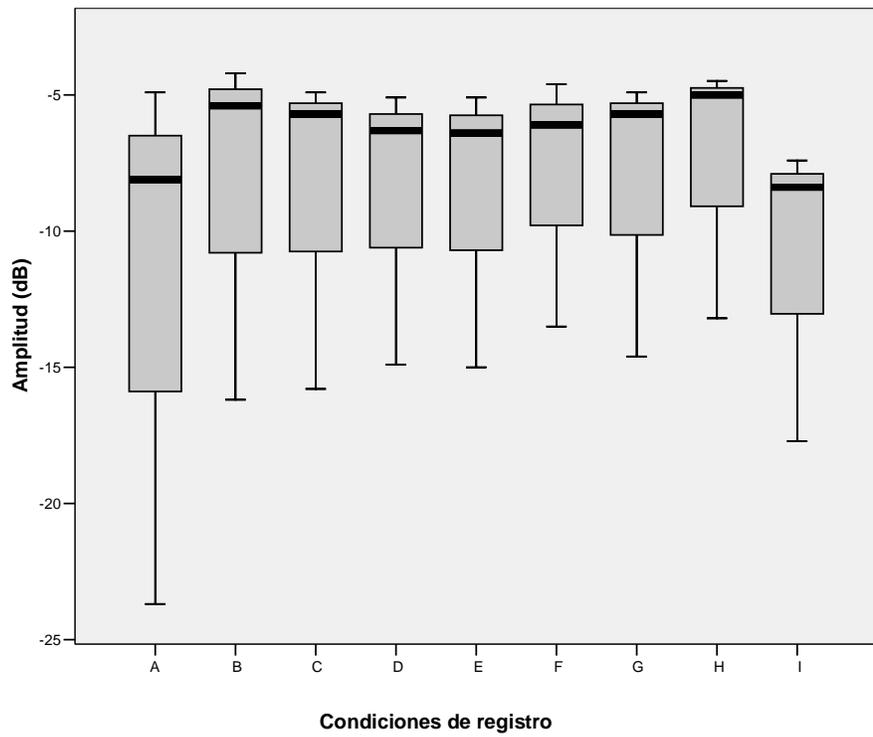


Fig. 3. Gráfica de simetría y dispersión en el grupo control de músicos (oídos derechos)

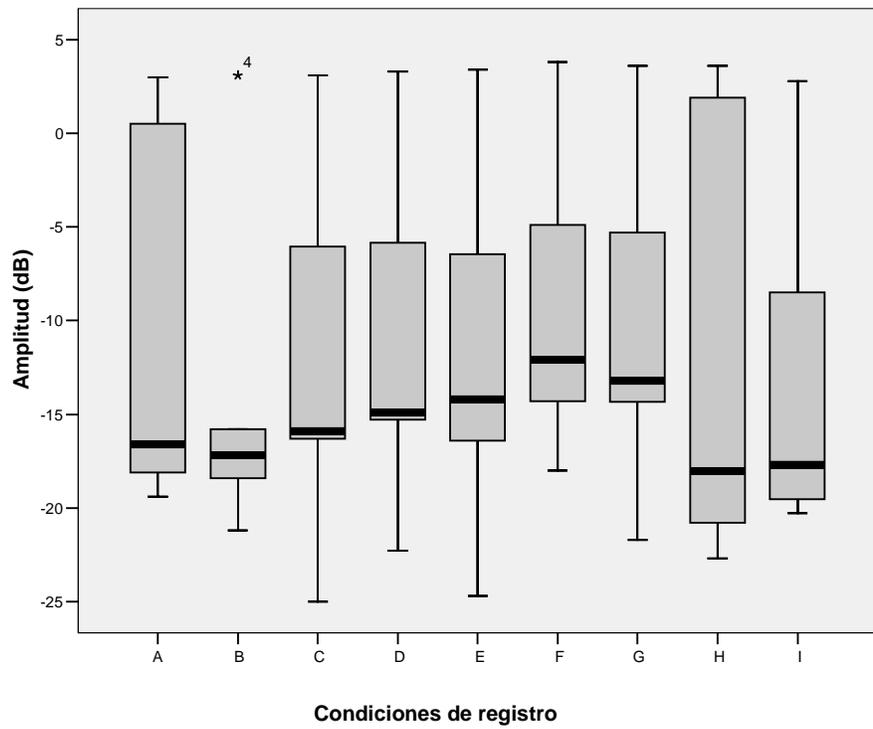


Fig. 4. Gráfica de simetría y dispersión del grupo control de sujetos sin experiencia musical (oídos derechos)

La Tabla VIII presenta el grado polinómico de la curva que se adecua mejor al promedio de las amplitudes por tarea de cada grupo. La misma curva se presenta en las Figuras 12 a 15.

Tabla VIII. Grado polinómico de la curva de los promedios de amplitudes por tarea de cada grupo (oídos derechos)

Prueba de contraste dentro de cada grupo		
Grupo		<i>p</i>
Músicos	Linear	.004
No Músicos	Cuadrático	.003
Control Músicos	4to. Orden	.055
Control No Músicos	Cúbico	.035

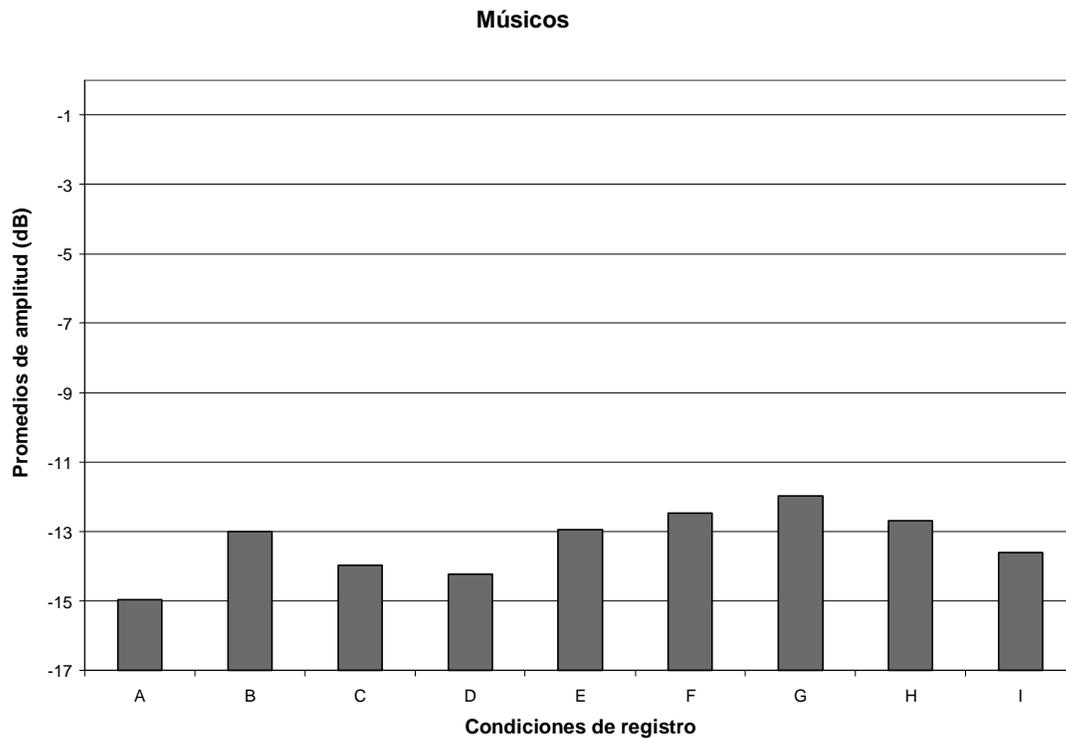


Fig. 5. Curva de los promedios de amplitudes en el grupo de músicos (oídos derechos)

Sujetos sin experiencia musical

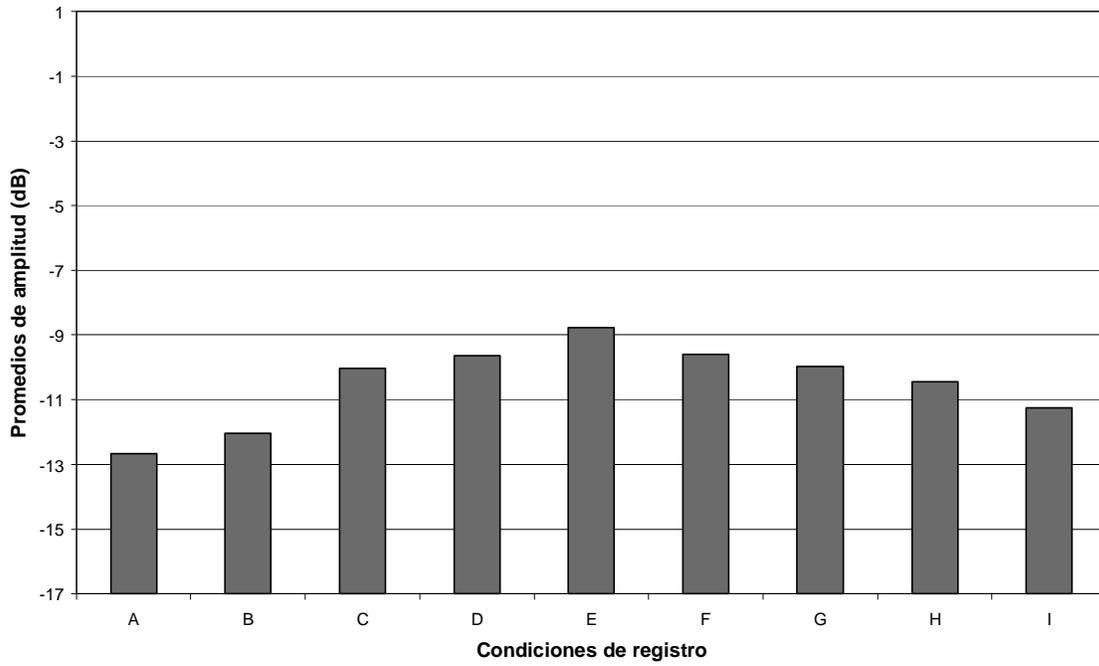


Fig. 6. Curva de los promedios de amplitudes en el grupo de sujetos sin experiencia musical (oídos derechos)

Control músicos

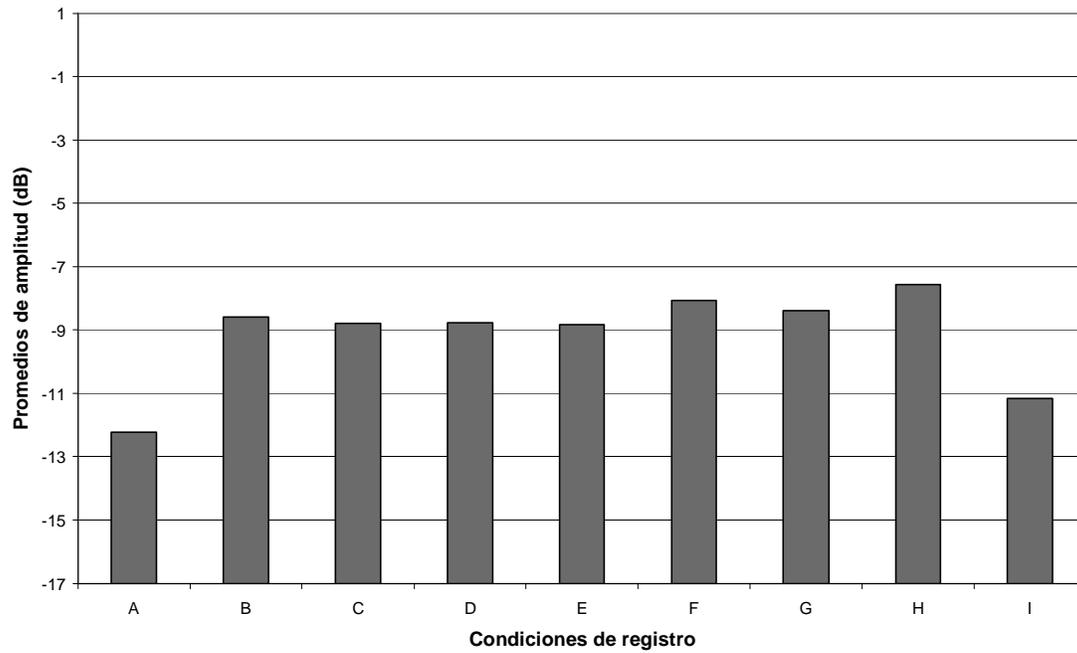


Fig. 7. Curva de los promedios de amplitudes en el grupo de control de músicos (oídos derechos)

Control sujetos sin experiencia musical

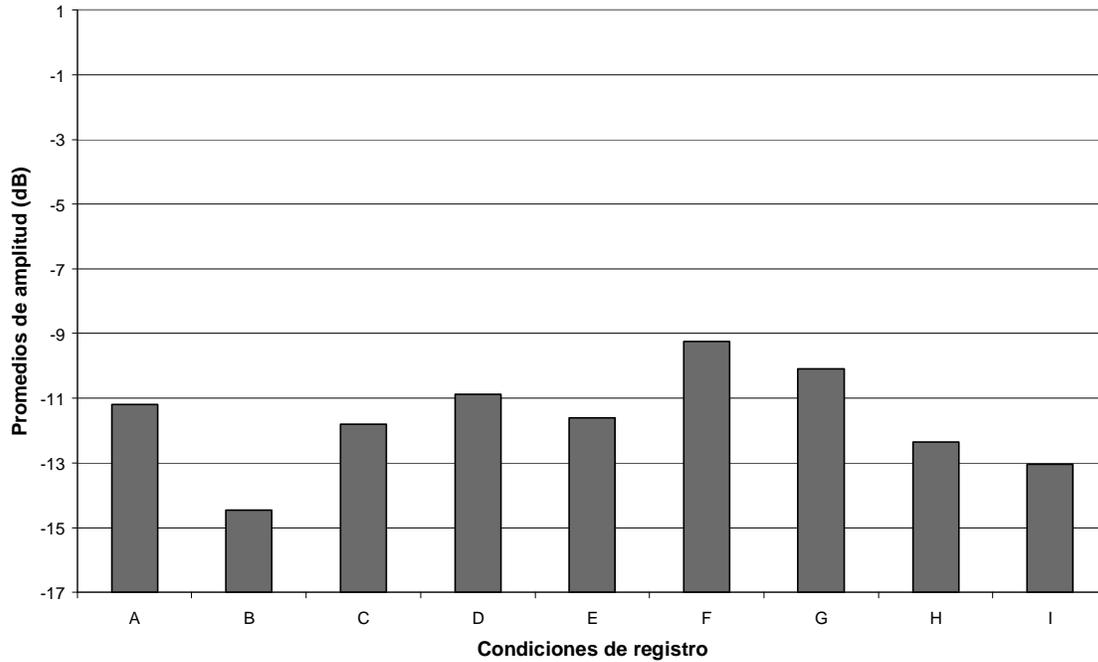


Fig. 8. Curva de los promedios de amplitudes en el grupo de control de sujetos sin experiencia musical (oídos derechos)

Los promedios estimados en la evaluación de habilidad de imaginación mental (Cuestionario 1) fueron:

Promedios	
Hombres = 1.5	Mujeres = 2.03
Total = 1.9	

Nota: En una escala de 7, donde 1 representaba mayor habilidad imaginativa y 7 menor habilidad

Los promedios estimados para la evaluación de qué tan vívida era la imagen en la tarea de imaginación musical durante las sesiones de registro (cuestionario 4) fueron:

Promedios	
Músicos = 2.0	Sujetos sin experiencia musical = 2.25
Total = 1.9	

Nota: En una escala de 7, donde 1 representaba la imagen más vívida y 7 la menos vívida

Resultados de lateralización

Como se mencionó anteriormente, uno de los objetivos de esta investigación era el de comparar la respuesta de los oídos derechos contra la de los oídos izquierdos para observar la posibilidad de algún tipo de lateralización relacionada a la tarea de creación de imágenes musicales. En este análisis, era de particular interés el contenido musical del experimento. Por esto, se consideraron exclusivamente los datos obtenidos del grupo de los músicos: aún cuando los sujetos del grupo sin experiencia musical lograron realizar la tarea de recreación mental de la melodía seleccionada en el mismo tiempo que los músicos, se ha consignado evidencia de “recuerdos” más precisos respecto al *tempo* y a la altura tonal en músicos profesionales (Halpern, 2001).

Los resultados respecto a la respuesta de los oídos derechos del grupo de los músicos a la estimulación por la imaginación se pueden encontrar en la sección anterior, particularmente en la Tabla VI y en las Figuras 8 y 12.

Sin embargo, la respuesta de los oídos izquierdos fue más ambigua. Se encontró una diferencia significativa en el promedio de las amplitudes de las EOAE's entre las registradas en la medición basal (condición A) y las determinadas en las 4 subsecuentes condiciones (B, C, D y E), pero no se encontró ninguna otra diferencia significativa entre otras condiciones de registro (Tabla IX). Se realizaron pruebas independientes de t (t – “*test independent sample*”) para comparar, entre oídos derechos e izquierdos, los cambios de amplitud de las EOAE's que existieran en cada par de condición de registro. Los resultados se muestran en la Tabla X. Los pares de condiciones entre las que se encontraron diferencias significativas fueron: A-B, A-C, A-D, A-E, D-E, D-F, D-G y D-H. Se observó una respuesta, claramente asimétrica, a la tarea de imaginación auditiva entre oídos derechos e izquierdos. Aún cuando se encontraron, en ambos oídos, diferencias significativas en los cambios de amplitud de las EOAE's, sólo en los oídos derechos se observaron diferencias significativas relacionadas a las tareas de creación de imágenes musicales.

Tabla IX. Resultados encontrados de la comparación de los promedios de amplitud en el grupo de los músicos entre cada condición de registro, en los oídos izquierdos. Las diferencias significativas $*(p < 0.1)$ se observan en las siguientes condiciones de registro: A y B (inicial y concentración 1), A y C (inicial e imaginación con ojos cerrados 1), A y D (inicial e imaginación con ojos cerrados 2), A y E (inicial e imaginación con ojos abiertos 1).

Nota: todas las diferencias significativas observadas están relacionadas a la condición basal. No se puede atribuir alguna diferencia significativa a las tareas de creación mental de imágenes auditivas

Músicos, oídos izquierdos (1-2 kHz)					
Cond 1	Cond 2	Diferencia promedio	Error Est.	p	
A.	B.	-4.525	.266	.016*	←
	C.	-4.550	.263	.015*	←
	D.	-4.300	.418	.071*	←
	E.	-4.275	.350	.042*	←
	F.	-4.350	.798	.437	
	G.	-3.650	.661	.422	
	H.	-4.050	.718	.397	
	I.	-3.750	1.005	1.000	
	B.	C.	-.025	.118	1.000
D.		.225	.482	1.000	
E.		.250	.425	1.000	
F.		.175	.767	1.000	
G.		.875	.405	1.000	
H.		.475	.691	1.000	
I.		.775	.841	1.000	
C.	D.	.250	.563	1.000	
	E.	.275	.511	1.000	
	F.	.200	.878	1.000	
	G.	.900	.478	1.000	
	H.	.500	.796	1.000	
	I.	.800	.949	1.000	
D.	E.	.025	.189	1.000	
	F.	-.050	.425	1.000	
	G.	.650	.684	1.000	
	H.	.250	.328	1.000	
	I.	.550	.742	1.000	
E.	F.	-.075	.477	1.000	
	G.	.625	.666	1.000	
	H.	.225	.429	1.000	
	I.	.525	.794	1.000	
F.	G.	.700	.763	1.000	
	H.	.300	.147	1.000	
	I.	.600	.492	1.000	
G.	H.	-.400	.708	1.000	
	I.	-.100	.587	1.000	
H.	I.	.300	.497	1.000	

Tabla X. Resultados encontrados entre la diferencia promedio de amplitud para cada tarea, entre oídos izquierdos y oídos derechos. Las diferencias significativas $*(p < 0.1)$ se observan entre aquellos pares de tareas donde se encontraron diferencias significativas en un oído y no en el otro.

Pruebas independientes de t (t- test independent sample)						
Músicos, oídos izquierdos vs. oídos derechos (1-2kHz)						
Cond 1	Cond 2	t	Diferencia promedio	Error Est.	p	
A.	B.	-2.780	-2.556	.919	.010*	←
	C.	-3.870	-3.558	.919	.001*	←
	D.	-3.647	-3.569	.978	.001*	←
	E.	-2.649	-2.235	.843	.014*	←
	F.	-.949	-1.850	1.949	.352	
	G.	-.325	-.658	2.025	.748	
	H.	-1.767	-1.763	.997	.108	
	I.	-1.453	-2.393	1.646	.159	
	B.	C.	-.538	-1.003	1.865	.596
D.		-.502	-1.014	2.019	.620	
E.		.195	.319	1.639	.847	
F.		.500	.705	1.410	.621	
G.		.943	1.896	2.011	.355	
H.		.478	.792	1.658	.637	
I.		.107	.161	1.512	.916	
C.	D.	-.007	-.010	1.466	.994	
	E.	.842	1.322	1.570	.408	
	F.	1.208	1.708	1.414	.239	
	G.	1.311	2.900	2.212	.202	
	H.	.990	1.795	1.814	.332	
	I.	.532	1.165	2.191	.600	
D.	E.	2.961	1.333	.450	.007*	←
	F.	2.573	1.719	.668	.022*	←
	G.	1.877	2.910	1.550	.072*	←
	H.	2.658	1.806	.679	.014*	←
	I.	.572	1.176	2.055	.572	
E.	F.	.461	.385	.836	.649	
	G.	1.258	1.577	1.253	.220	
	H.	.728	.472	.649	.480	
	I.	-.093	-.157	1.698	.927	
F.	G.	.856	1.191	1.391	.400	
	H.	.190	.086	.456	.851	
	I.	-.353	-.543	1.539	.727	
G.	H.	-.690	-1.104	1.600	.497	
	I.	-1.033	-1.734	1.679	.312	
H.	I.	-.802	-.630	.786	.436	

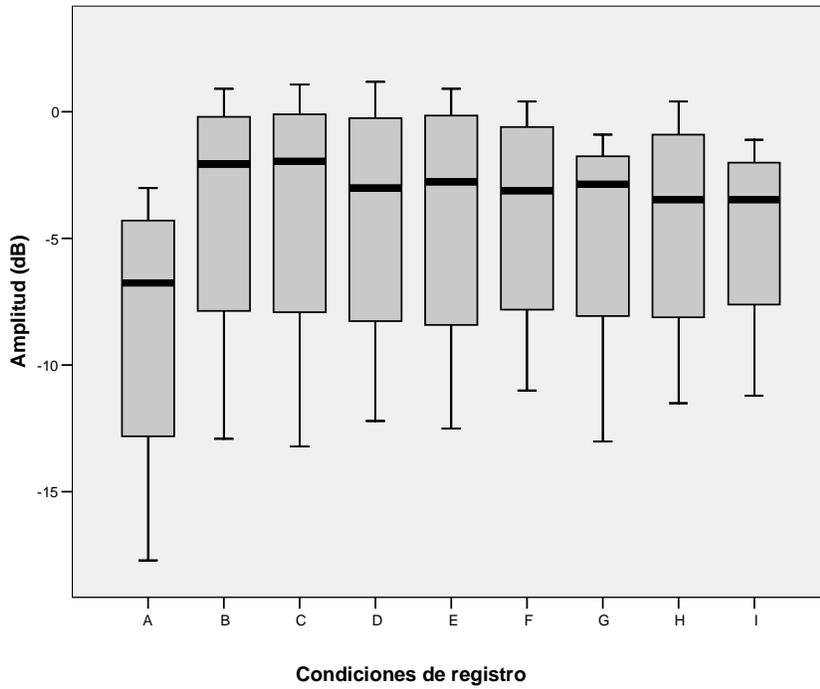


Fig. 9. Gráfica de simetría y dispersión de los oídos izquierdos de los sujetos del grupo de los músicos

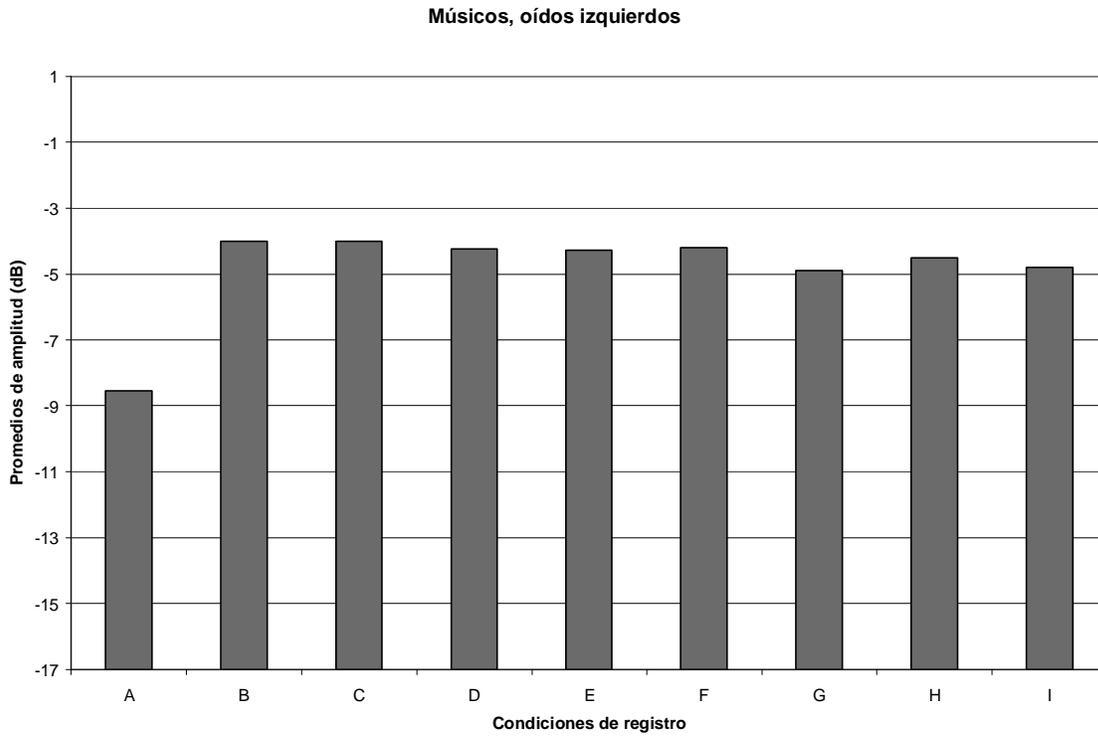


Fig. 10. Curva de los promedios de amplitudes de los oídos izquierdos de los músicos

Conclusiones y discusión

Los resultados obtenidos sugieren que la evidencia presente puede corroborar la hipótesis acerca del efecto eferente de la actividad cortical durante la creación mental de imágenes auditivas sobre el comportamiento de las emisiones otoacústicas espontáneas. Las diferencias significativas encontradas en las condiciones de registro que involucraban a la variable independiente, la imaginación auditiva, en los grupos experimentales, apoyan esta suposición. El hecho de no haber encontrado diferencias significativas en los grupos de control puede apoyar, también, esta evidencia.

Un aspecto importante de los resultados obtenidos en esta investigación es que el intervalo de confianza considerado para determinar diferencias significativas fue mayor a 6dB, lo que es el doble de la diferencia consignada por Whitehead (1991), en su estudio sobre las variaciones lentas de amplitud de las EOAE's.

Las diferencias significativas determinadas entre las condiciones de registro A (Inicial) y G (Concentración 2) y entre las condiciones D (imaginación con ojos cerrados 2) y G (concentración 2), y el hecho de que la amplitud promedio de la condición G fuera mayor que la amplitud promedio de la condición D, en el grupo de los músicos, pueden reflejar un proceso de "sintonización" del oído como apoyo a un requerimiento repetido. Es decir, el hecho de que el promedio de amplitud de las EOAE's de los sujetos de este grupo continuara elevándose, aún después de haber realizado las tareas de imaginación auditiva, podría significar que el entrenamiento previo de los músicos en el acto de escuchar y analizar musicalmente, influye al sistema auditivo central de estos especialistas. Así, de alguna manera estarían dadas las condiciones adecuadas para solventar, de manera pronta y continua, cualquier tarea relacionada con algún contenido musical, ya sea, para identificarlo o, como en este caso, para recrearlo en la imaginación. Los oídos de estos sujetos, debido a una activación eferente, quedarían entonces preparados para realizar mejor la tarea requerida. Lo anterior, podría estar apoyado por los resultados obtenidos por Jääskeläinen *et al.* (2007) sobre la plasticidad a corto plazo en la cognición auditiva. Estos investigadores consideran que los cambios originados a nivel de la corteza cerebral por la estimulación auditiva, la atención auditiva selectiva y los efectos de modalidad cruzada durante la estimulación visual pueden servir para

“sintonizar” adaptativamente los mapas que contienen las características de los sonidos organizados jerárquicamente (tonotopía), y así filtrar los sonidos relevantes de acuerdo a las demandas ambientales o a las que estén relacionadas a alguna tarea específica. Dichos autores consideran que este proceso puede facilitar la memoria sensorial auditiva, los procesos de pre-atención a sonidos noveles, la percepción durante la atención selectiva, la influencia del procesamiento visual en la percepción auditiva y los cambios de plasticidad a largo plazo asociados al aprendizaje perceptual. Así, Jääskeläinen *et al.* se refieren a la plasticidad a corto plazo como a cualquier proceso de retroalimentación relacionado a los “ingresos de información” (*bottom-up* y *top-down*), tanto excitatorios como inhibitorios, que modulan temporalmente la capacidad de respuesta de las neuronas que sirven de objetivo, una vez que se ha presentado la estimulación, y mencionan que esta influencia relacionada a un estímulo específico que afecta el procesamiento, tanto a niveles altos como bajos en las vías auditivas, puede llegar hasta el nivel de las células ciliadas externas. Por otro lado, consideran que, en dicho circuito de retroalimentación, los “ingresos de información” *top-down*, pueden corresponder a búsquedas de memoria de atención no específica en ausencia del estímulo auditivo, es decir, a la imaginación auditiva. Entonces, podríamos decir que el hecho de que en los resultados de esta investigación se observara que el promedio de las amplitudes de las EOAE’s en el grupo de los músicos continuara elevándose aún después de las tareas de imaginación, puede estar relacionado con la plasticidad a corto plazo vinculada a la cognición auditiva citada por Jääskeläinen *et al.*, en particular, respecto a procesos de memoria sensorial auditiva y de pre-atención que están relacionados directamente con la imaginación musical.

En la tabla VII, se muestran las diferencias significativas encontradas en las pruebas del grupo de los sujetos sin experiencia musical. En dicha tabla se observan diferencias entre la condición E (imaginación con ojos abiertos 1) y las condiciones A (registro inicial) y B (concentración 1), pero no se encuentran diferencias significativas entre las condiciones de imaginación y la concentración 2. Por otro lado, como puede observarse en la figura 13, la amplitud promedio en los registros finales disminuye, en vez de elevarse (como sucedió en la figura 12). Esto parece significar que la falta de entrenamiento musical en el grupo de sujetos sin experiencia musical hizo que la amplitud de sus EOAE’s no se elevara tanto como sucedió en el grupo de los músicos. Sin embargo, es importante notar

que también se observó una diferencia significativa entre los registros iniciales y en las tareas de imaginación musical, lo que parece concordar con la hipótesis de la activación eferente durante la creación de imágenes auditivas.

Se encontraron, también, en ambos grupos, diferencias significativas entre las tareas de imaginación con ojos cerrados y aquellas con ojos abiertos. Al respecto se pueden mencionar dos aspectos: si se considera la cualidad de “resonadores” de las emisiones otoacústicas espontáneas, que pueden servir como amplificadores del sonido recibido como apoyo para su mejor percepción, el hecho de haber encontrado diferencias entre la presencia y ausencia de estímulos sensoriales de otras modalidades, en este caso, de la presencia de estímulos visuales durante una tarea eminentemente auditiva, sugeriría que una posible función de las emisiones otoacústicas espontáneas sea la de proporcionar apoyo al escuchar o al imaginar un sonido mientras se procesa información de otra modalidad simultáneamente. A este respecto, se han encontrado evidencias (Delano *et al.*, 2007), por ejemplo, de cambios temporales de la sensibilidad coclear durante la atención selectiva a estímulos visuales. Los autores mencionan que esto puede ser debido a la activación de las fibras olivococleares eferentes. Debido a esto, es importante mencionar que la mayor diferencia significativa ($p = .018$) encontrada en el presente trabajo, fue la observada en el grupo de los sujetos sin experiencia musical en la tarea de imaginación con ojos abiertos (Tabla VII). Esto parece proveer más datos acerca del apoyo de la activación eferente sobre el sistema auditivo periférico al requerirse mayor concentración (en particular de los sujetos menos adiestrados en la materia) en presencia de estímulos de diferentes modalidades sensoriales.

Por otro lado, se observa un interesante fenómeno en ambos grupos. Parece existir un efecto de histéresis¹ en los cambios de amplitud de las EOAE's. La amplitud inicial registrada y el registro final, ambos realizados sin ninguna tarea asociada, no coinciden. De acuerdo con una tendencia general, los registros finales mostraban EOAE's de mayor amplitud.

Los resultados de esta investigación parecen proporcionar evidencia que favorece la hipótesis de que hay una relación entre la actividad de las emisiones otoacústicas espontáneas y las tareas auditivas que se llevan a cabo en centros superiores del sistema

¹ Efecto retardado que se produce aún en ausencia del estímulo.

auditivo central, en este caso, una tarea de creación de imágenes auditivas, que conlleva, además, cierto grado de atención auditiva. Sin embargo, la validez de este argumento debe aún ser sustentada debido a varios factores: dadas las características inherentes a las EOAE's (las emisiones otoacústicas espontáneas de cada sujeto presentan características individuales en cuanto a frecuencia y amplitud) y a los equipos que se utilizan para su detección, sigue siendo bastante difícil ubicar una muestra de sujetos con EOAE's lo suficientemente grande para eliminar los problemas de dispersión de los datos. La muestra que se utilizó en la presente investigación cumplió con los niveles de normalidad requeridos para realizar pruebas de estadística paramétrica; sin embargo, fue una muestra relativamente pequeña y por lo tanto sí presentó una dispersión de los datos considerable. Es importante notar, también, que se observó una clara respuesta asimétrica de las EOAE's a las tareas de creación de imágenes auditivas entre oídos derechos e izquierdos. A pesar de que se encontraron cambios significativos de amplitud de las EOAE's en ambos oídos, sólo se encontraron diferencias significativas relacionadas a las tareas de imaginación auditiva en los oídos derechos. En múltiples estudios se ha obtenido evidencia de que las circunvoluciones temporal superior izquierda y media están involucradas en la percepción del lenguaje (Geschwind *et al.*, 1968). Por otra parte, se ha observado asimetría en los hemisferios derecho e izquierdo y diferencia en el grado de lateralización entre hombres y mujeres a nivel central respecto al reconocimiento del lenguaje y la percepción de sonido (Lauter *et al.*, 1988). En contraste, el hemisferio derecho ha sido generalmente considerado como más enfocado al análisis de las relaciones holísticas. Este fenómeno puede ser explicado al considerar dos modos operacionales existentes en el cerebro: uno que involucra un análisis secuencial de partes, y otro que involucra la integración espacial de patrones momentáneos de actividad neuronal (Roederer, 1975). De acuerdo con esto, se ha sugerido que las regiones auditivas presentan una especialización lateralizada del procesamiento de los sonidos de acuerdo a las propiedades acústicas de éstos: en el hemisferio izquierdo son analizadas, preferentemente, las señales acústicas que cambian rápidamente (mejor resolución temporal) y, por el contrario, los estímulos tonales más lentos son procesados, principalmente, por las áreas auditivas del hemisferio derecho (mejor resolución espectral) (Sininger *et al.*, 2004). Debido a todo lo anterior, se ha sugerido que el

hemisferio derecho es el responsable del procesamiento de la información musical, mientras que el hemisferio izquierdo se encarga del procesamiento del lenguaje. No obstante, observaciones recientes sobre la respuesta hemisférica sugieren que los sujetos especializados en alguna faceta de la música, muestran, como respuesta a estímulos musicales, actividad cerebral en el hemisferio izquierdo, quizá como resultado de algún tipo de proceso analítico por la evolución de un análisis musical de contorno a un análisis musical interválico de las secuencias musicales en estos sujetos (Lafarga, 2000).

Por otro lado, es importante mencionar que en varios estudios sobre EOAE's se ha encontrado prevalencia de estas emisiones en mujeres y en oídos derechos (Hall, 2000). Esos informes concuerdan con lo obtenido en el presente trabajo (4 EOAE's en los oídos izquierdos vs. 20 EOAE's en los oídos derechos). Las varianzas resultaron iguales; aún así, la escasez de EOAE's de oídos izquierdos pudo haber tenido un efecto en los resultados presentados. Esto podría explicar, en particular, el salto en el incremento de amplitud del registro basal respecto a las subsecuentes condiciones observado en los oídos izquierdos. El no haberse observado diferencias significativas entre otras condiciones de registro sugiere la posibilidad de que el efecto eferente, de haberse presentado alguno, sobre las EOAE's de los oídos izquierdos como respuesta a las tareas de creación de imágenes auditivas, fue mucho menor que el observado en los oídos derechos. Existen datos sobre una mayor activación eferente del complejo olivococlear medial sobre oídos derechos (Khalfa *et al.*, 1996), en particular, en sujetos con emisiones otoacústicas espontáneas. Una de las funciones sugeridas de este complejo es la del mejoramiento de la percepción del sonido embebido en ruido (Micheyl *et al.*, 1995). No obstante, y en contraposición con las condiciones del presente estudio, esos informes se obtuvieron con algún tipo de estimulación acústica. El efecto lateralizado hacia oídos derechos, observado en la presente investigación, se produjo en ausencia de estimulación auditiva externa, lo que puede sugerir que la activación eferente efectivamente tuvo origen en niveles más superiores del sistema auditivo central, quizá, la corteza auditiva contralateral. Ha sido ya establecido que las vías centrales auditivas, ascendentes y descendentes, se cruzan en los núcleos de la oliva superiores en el tallo cerebral, y de esta manera se envía la información al lado contralateral (Sininger *et al.*, 2004). Si se considera lo anterior, podría sugerirse, de acuerdo con los resultados obtenidos, que el

efecto eferente de la corteza auditiva sobre el sistema auditivo periférico, desencadenado por la tarea de creación de imágenes auditivas, mostró una lateralización hacia los oídos derechos. Este resultado pudo deberse a una actividad predominante del hemisferio izquierdo. Como se mencionó anteriormente, parece posible que el análisis musical llevado a cabo por los sujetos entrenados en la materia esté lateralizado al hemisferio izquierdo: el hemisferio “dominante” (Lafarga, 2000). Sin embargo, la validez de esta afirmación deberá ser sustentada con investigaciones más exhaustivas.

Como siguiente paso, se podría considerar llevar a cabo estudios con distintas modalidades de medición de la actividad cerebral, como EEG, fMRI o PET, durante la realización de tareas de creación mental de imágenes auditivas, con el fin de monitorear dicha actividad cerebral en ese momento. De igual forma, sería conveniente realizar las mediciones de las EOAE's con otro micrófono, en particular con el ER10B+ del laboratorio americano Etymotic Research, Inc., equipo diseñado específicamente con fines de investigación, que es además totalmente portátil y se podría usar en una cámara anecóica. Otra de las ventajas que ofrece el uso de este equipo es que se podría diseñar un programa para el análisis de la señal con las características específicas deseadas para la investigación y no tener que usar el predeterminado por el equipo ILO-292 que se usó para este estudio. Por otro lado, quizá sea conveniente entrenar a los sujetos por periodos de tiempo más largos, para así poder analizar a mayor profundidad los cambios de amplitud de las EOAE's relacionados a un posible proceso de aprendizaje. Otra importante consideración es la de cambiar el orden de las condiciones de registro, con la meta de excluir la dependencia de los cambios de amplitud relacionados al tiempo y asegurarse de que los mismos estuvieron relacionados a las tareas de imaginación musical. De igual manera, se ha considerado la pertinencia de seleccionar, o incluso diseñar, un estímulo musical menos complejo (unas cuantas notas o una simple escala musical) que conlleve una menor posibilidad de favorecer algún tipo de asociación mental diferente para los sujetos y que tenga menor complejidad musical.

Referencias

1. Aleman A (2005) Comunicación personal. Mayo 20.
2. Aleman A, Nieuwenstein MR, Böcher KBE, de Haan EHF (2000) Music training and mental imagery ability. *Neuropsychologia* 38:1664-1668.
3. Bailes F (2004) A sampling study of the prevalence and nature of 'tune on the brain' phenomena. En: 8th ICMPC Proceedings, Lipscomb SD, Ashley R, Gjerdingen RO, Webster P, eds, pp 462-465. Adelaide, Australia: Causal Productions.
4. Bailes F, Bigand E (2004) A tracking study of mental imagery for popular classical music. En: 8th ICMPC Proceedings, Lipscomb SD, Ashley R, Gjerdingen RO, Webster P, eds, pp 462-465. Adelaide, Australia: Causal Productions.
5. Barr ML, Kierman JA (1986) El sistema nervioso humano. Un punto de vista anatómico, pp. 15-35. México: Editorial Harla.
6. Bell A (1992) Circadian and menstrual rhythms in frequency variations of spontaneous otoacoustic emissions from human ears. *Hear Res* 58:91-100.
7. Besson M, Schön D (2004) Comparison between language and music. En: *The cognitive neuroscience of music*, Peretz I, Zatorre R, eds, pp 269-293. Oxford: Oxford University Press, Inc.
8. Betts GH (1909) The distributions and functions of mental imagery. *Contributions to education*, No. 26. New York, NY: Columbia University, Teachers College.
9. Brännström J, Lantz J (2001) On the physiological location of otoacoustic emissions. Lund University, Dept of Linguistics Working papers 49:18-21.
10. Braun M (1997) Frequency spacing of multiple spontaneous otoacoustic emissions shows relation to critical bands: A large-scale cumulative study. *Hear Res* 114:197-203.
11. Braun M (2000) Inferior colliculus as candidate for pitch extraction: Multiple support from statistics of bilateral spontaneous otoacoustic emissions. *Hear Res* 145:130-140.
12. Braun M (1998) Accurate binaural mirroring of spontaneous otoacoustic emissions suggests influence of time-locking in medial efferents. *Hear Res* 118:129-138.

13. Braun M (1999) Auditory midbrain laminar structure appears adapted to f_0 extraction: further evidence and indications of the double critical bandwidth. *Hear Res* 129:71-82.
14. Braun M (2005) Comunicación personal. Mayo 27 y 31.
15. Brodsky W (2005) Comunicación personal. Mayo 23.
16. Brownell WE (1990) Outer hair cell electromotility and otoacoustic emissions. *Ear Hear* 11:89-92.
17. Castro-Sierra E (1995) Conceptos anatómicos y fisiológicos. Aspectos neurológicos del desarrollo normal y patológico del lenguaje, pp. 3-10. México, D.F.: Ediciones médicas del Hospital Infantil de México.
18. Castro-Sierra E (1996) Actividad auditiva cortical cerebral medida por técnicas de magnetoencefalografía. *Ciencia y Desarrollo* 21(127):42-51.
19. Cooper NP, Guinan JJ (2006) Efferent-mediated control of basilar membrane motion. *J Physiol* 576(1):49-54.
20. Chen W, Kato T, Zhu X-H, Adrian G, Uğurbil K (1996) Functional mapping of human brain during music imagery processing. *NeuroImage* 3:S205.
21. Delano PH, Elgueda D, Hamame CM, Robles L (2007) Selective attention to visual stimuli reduces cochlear sensitivity in chinchillas. *J Neurosci* 27(15):4146-4153.
22. Desain P (2004) What rhythm do I have in mind? Detection of imagined temporal patterns from single trial ERP. En: 8th ICMPC Proceedings, Lipscomb SD, Ashley R, Gjerdingen RO, Webster P, eds, pp 462-465. Adelaide, Australia: Causal Productions.
23. Deutsch D, Pierce JR (1992) The climate of auditory imagery and music. En: *Auditory imagery*, Reisberg D, ed, pp 237-260. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
24. Feliciano M, Saldaña E, Mugnaini E (1995) Direct projections from the rat primary auditory neocortex to nucleus sagulum, paralemniscal regions, superior olivary complex and cochlear nuclei. *Aud Neurosci* 1:287-308.
25. Fernald MR (1912) The diagnosis of mental imagery. *Psychol Rev Mono Sup* 14 No. 58.
26. Fox C (1914) The conditions which arouse mental images in thought. *British J of Psychol* 6:420-431.

27. Galton F (1880) Statistics of mental imagery. *Mind* (5):301-318.
28. Geschwind N, Levitsky W (1968) Human brain: left-right asymmetries in temporal speech region. *Science* 161:186-187.
29. Gold T (1948) Hearing II: The physical basis of the action of the cochlea. *Proc Royal Soc London, Series B* 135:492-498.
30. Griffiths TD, Büchel C, Frackowiak RSJ, Patterson RD (1998) Analysis of temporal structure in sound by the human brain. *Nature Neurosci* 1(5):422-427.
31. Hall JW (2000) Handbook of otoacoustic emissions, pp 67-92. San Diego, CA: Singular Publishing Group.
32. Halpern AR (1992) Musical aspects of auditory imagery. En: *Auditory imagery*, Reisberg D, ed, pp 1-27. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
33. Halpern AR (2001) Cerebral substrates of music imagery. *Ann NY Acad Sci* 930:179-92.
34. Halpern AR, Zatorre RJ (1999) When that tune runs through your head: a PET investigation of auditory imagery for familiar melodies. *Cerebral Cortex* 9:697-704.
35. Helfert RH, Aschoff A (1997) Superior olivary complex and nuclei of the lateral lemniscus. En: *The central auditory system*, Ehert G, Romand R, eds, pp 193-258. New York, NY: Oxford University Press, Inc.
36. Hernández-Peón R, Scherrer H, Jouvet M (1956) Modification of electric activity in cochlear nucleus during attention in unanesthetized cats. *Science* 123:331-332.
37. Holt RR (1972) On the nature and generality of mental imagery. En: *The function and nature of imagery*, Sheenan PW, ed, pp 6-33. New York, NY: Academic Press, Inc.
38. Huffman RF, Henson OW (1990) The descending auditory pathway and acousticomotor systems: connexions with inferior colliculus. *Brain Res* 15:295-323.
39. Intons-Peterson MJ (1992) Components of auditory imagery. En: *Auditory imagery*, Reisberg D, ed, pp 45-71. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
40. Jääskeläinen JP, Ahveninen J, Belliveau JW, Raji T (2007) Short-term plasticity in auditory cognition. *Trends Neurosci* 30(12):653-661.
41. Kemp DT (1978) Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *J Acoust Soc Am* 64:1386-1391.

42. Khalfa S, Collet L (1996) Functional asymmetry of medial olivocochlear system in humans. Towards a peripheral auditory lateralization. *NeuroReport* 7:993-996.
43. Kleber B, Birbaumer N, Veit R, Trevorrow T, Lotze M (2007) Overt and imagined singing of an Italian aria. *Neuroimage* 36(3):889-900.
44. Köhler W, Fritze W (1994) Pitch is influenced by spontaneous otoacoustic emissions. *Acta Otolaryngol* 114:110-112.
45. Kraemer DJM, Macrae CN, Green AE, Kelley WM (2005) Sound of silence activates auditory cortex. *Nature* 434:158.
46. Lafarga MM (2000) Desarrollo musical y desarrollo neurológico. Trabajo presentado en: Congreso Mundial de Lecto-escritura. Valencia, España.
47. Lauter JL, Loomis RL (1988) Individual differences in auditory electric responses: comparisons of between-subject and within-subject variability. II. Amplitude of brainstem vertex-positive peaks. *Scand Audiol* 17:87-92.
48. Liégeois-Chauvel C, Peretz I, Babai M, Laguitton V, Chauvel P (1998) Contribution of different cortical areas in the temporal lobes to music processing. *Brain* 121:1853-1867.
49. Long GR, Talmadge CL (1997) Spontaneous otoacoustic emission frequency is modulated by heart beat. *J Acoust Soc Am* 102(5):2831-2848.
50. Long GR, Tubis A (1988) Investigations into the nature of the association between threshold microstructure and otoacoustic emissions. *Hear Res* 36:125-138.
51. Long GR, Tubis A (1988) Modification of spontaneous and evoked otoacoustic emissions and associated psychoacoustic microstructure by aspirin consumption. *J Acoust Soc Am* 84(4):1343-1353.
52. Maison SF, Micheyl C, Collet L (2001) Influence of focused auditory attention on cochlear activity in humans. *Psychophys* 38:35-40.
53. Maison SF, Rosahl TW, Homanics GE, Liberman MC (2006) Functional role of GABAergic innervation of the cochlea: phenotypic analysis of mice lacking GABA_A receptor subunits $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 5$, $\alpha 6$, $\beta 2$, $\beta 3$, or δ . *J Neurosci* 26(40):10315-10326.
54. Martin GK, Villasuso EI, Stagner BB, Lonsbury-Martin BL (2003) Suppression and enhancement of distortion-product otoacoustic emissions by interference tones above f_2 . II. Findings in humans. *Hear Res* 177:111-122.

55. McAdams S, Cunible JC (1992) Perception of timbral analogies. *Phil Trans R Soc Lond B Biol Sci* 336(1278):383-9.
56. McFadden D (1993) A speculation about the parallel ear asymmetries and sex differences in hearing sensitivity and otoacoustic emissions. *Hear Res* 68:143-151.
57. McFadden D, Mishra R (1993) On the relation between hearing sensitivity and otoacoustic emissions. *Hear Res* 97:208-213.
58. Meister IG, Krings T, Foltys H, Boroojerdi B, Muller M, Topper R, Thron A (2004) Playing piano in the mind—an fMRI study on music imagery and performance in pianists. *Cogn Brain Res* 19(3):219-28.
59. Méndez MS (1990) Las aportaciones científicas, la creación y las imágenes mentales. *Arte, Individuo y Sociedad* 3:205-213.
60. Metzger RR, Greene NT, Porter KK, Groh JM (2006) Effects of reward and behavioral context on neural activity in the primate inferior colliculus. *J Neurosci* 26(28):7468-7476.
61. Micheyl C, Morlet T, Giraud AL, Collet L, Morgon A (1995) Contralateral suppression of evoked otoacoustic emissions and detection of a multi-tone complex in noise. *Acta Otolaryngol* 115(2):178-82.
62. Micheyl C, Collet L (1996) Involvement of the olivocochlear bundle in the detection of tones in noise. *J Acoust Soc Am* 99(3):1604-1610.
63. Micheyl C, Khalfa S, Perrot X, Collet L (1997) Difference in cochlear efferent activity between musicians and non-musicians. *NeuroReport* 8:1047-1050.
64. Micheyl C, Perrot X, Collet L (1997) Relationship between auditory intensity discrimination in noise and olivocochlear efferent system activity in humans. *Behav Neurosci* 111(4):801-807.
65. Morand N, Khalfa S, Ravazzani P, Tognola G, Grandori F, Durrant JD, Collet L, Vuillet E (2000) Frequency and temporal analysis of contralateral acoustic stimulation on evoked otoacoustic emissions in humans. *Hear Res* 145:52-58.
66. Mott JB, Norton SJ, Neely ST, Warr WB (1989) Changes in spontaneous otoacoustic emissions produced by acoustic stimulation of the contralateral ear. *Hear Res* 38:229-242.

67. Mulders WH, Robertson D (2000) Evidence for direct cortical innervation of medial olivocochlear neurones in rats. *Hear Res* 144:65-72.
68. Neisser U (1972) Changing conceptions of imagery. En: *The function and nature of imagery*, Sheenan PW, ed, pp 234-251. New York, NY: Academic Press, Inc.
69. Norena A, Micheyl C, Durrant JD, Chéry-Croze S, Collet L (2002) Perceptual correlates of neural plasticity related to spontaneous otoacoustic emissions. *Hear Res* 171:66-71.
70. Norton SJ, Mott JB, Champlin CA (1988) Behavior of spontaneous otoacoustic emissions following intense ipsilateral acoustic stimulation. *Hear Res* 38:243-258.
71. O'Craven KM, Kanwisher N (2000) Mental imagery of faces and places activates corresponding stimulus-specific brain regions. *J Cogn Neurosci* 12(6):1013-23.
72. Pascual-Leone A, Nguyet AD, Cohen LG *et al.* (1995) Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *J Neurophysiol* 74:1037-45.
73. Pascual-Leone A, Tarazona AF, Català MD (1999) Applications of transcranial magnetic stimulation in studies on motor learning. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl* 51:157-161.
74. Pascual-Leone A (2004) The brain that makes music and is changed by it. En: *The cognitive neuroscience of music*, Peretz I, Zatorre R, eds, pp 396-409. Oxford: Oxford University Press.
75. Penner MJ, Glotzbach L, Huang T (1993) Spontaneous otoacoustic emissions: Measurement and data. *Hear Res* 68:229-37.
76. Penner MJ, Zhang T (1997) Prevalence of spontaneous otoacoustic emissions in adults revisited. *Hear Res* 103:28-34.
77. Peretz I, Gagnon L, Hébert S, Macoir J (2004) Singing in the brain: insights from cognitive neuropsychology. *Mus Percep* 21(3):373-390.
78. Perky CW (1910) An experimental study of imagination. *Am J Psychol* 21:422-452.
79. Perrot X, Micheyl C, Khalfa S, Collet L (1999) Stronger bilateral efferent influences on cochlear biomechanical activity in musicians than in non-musicians. *Neurosci Lett* 262: 167-70.

80. Poblano A, Flores-Avalos B (2003) La utilidad clínica de las emisiones otoacústicas. En: *Temas Básicos de Audiología* (Poblano A, ed), pp 129-143. Cd. de México: Trillas.
81. Probst R, Lonsbury-Martin BL, Martin GK (1991) A review of otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am* 89(5):2027
82. Rabinowitz WM, Widin GP (1984) Interaction of spontaneous oto-acoustic emissions and external sounds. *J Acoust Soc Am* 76(6):1713-1720.
83. Richardson A (1983) Imagery: definition and types. En: *Imagery. Current theory, research and application*, Sheikh AA, ed, pp 3-42. New York, NY: A Wiley-interscience publication. John Wiley & Sons, Inc.
84. Richardson JTE (2005) *Imágenes mentales*. Madrid, España: A. Machado Libros, S. A.
85. Roederer J (1975) Introduction to the physics and psychophysics of music, pp 165-170. Denver: Springer-Verlag.
86. Schaub AV (1912) On the intensity of images. *Am J Psychol Bull* 22:346-368.
87. Schlaug G, Jäncke L, Huang Y, Steinmetz H (1995) In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science* 267:699-701.
88. Schlaug G (2004) The brain of musicians. En: *The cognitive neuroscience of music*, Peretz I, Zatorre R, eds, pp 366-381. Oxford: Oxford University Press, Inc.
89. Schubert ED (1980) Anatomy and physiology of the auditory system. *Hearing: its function and dysfunction*, pp 17-26 y 33-37. New York, NY: Springer-Verlag, Inc.
90. Schürmann M, Raji T, Fujiki N, Hari R (2002) Mind's ear in a musician: where and when in the brain. *NeuroImage* 16(2):434-40.
91. Sininger YS, Cone-Wesson B (2004) Asymmetric cochlear processing mimics hemispheric specialization. *Science* 305:1581.
92. Talmadge CL, Long GR, Murphy WJ, Tubis A (1993) New off-line method for detecting spontaneous otoacoustic emissions in human subjects. *Hear Res* 71:170-182.
93. Talmadge CL, Tubis A, Wit HP, Long GR (1991) Are spontaneous otoacoustic emissions generated by self-sustained cochlear oscillators?. *J Acoust Soc Am* 89(5):2391-2399.

94. Van Dijk P, Wit HP (1990) Synchronization of spontaneous otoacoustic emissions to a $2f-f/2$ distortion product. *J Acoust Soc Am* 88(2):850-856.
95. Veuillet E, Georgieff N, Philibert B, Dalery J, Marie-Cardine M, Collet L (2001) Abnormal peripheral auditory asymmetry in schizophrenia. *J Neurol Neurosurg Psychiat* 70:88-94.
96. Von Békésy GV (1970) Traveling wave as frequency analysers in the cochlea. *Nature* 225:1207-1209.
97. Warr WB, Guinan JJ (1979) Efferent innervation of the organ of Corti: two separate systems. *Brain Res* 173:152-155.
98. Werner AF (2001) Introducción, Nuevos conocimientos en fisiología coclear y otoemisiones acústicas espontáneas. En: *Teoría y práctica de las otoemisiones acústicas*, Werner AF, ed, pp 17-92. Buenos Aires, Argentina.
99. Whitehead ML (1991) Slow variations of the amplitude and frequency of spontaneous otoacoustic emissions. *Hear Res* 53:269-280.
100. Wit HP, Langevoort JC, Ritsma RJ (1981) Frequency spectra of cochlear acoustic emissions ("Kemp-echoes"). *J Acoust Soc Am* 70(2):437-445.
101. Yoo S, Lee ChU, Choi BG (2001) Human brain mapping of auditory imagery: Event-related functional MRI study. *NeuroReport* 12:3045-3049.
102. Zatorre RJ, Halpern AR (1993) Effect of unilateral temporal lobe excision on perception and imagery of songs. *Neuropsychologia* 31:221-232.
103. Zatorre RJ, Halpern A, Perry DW et al. (1996) Hearing in the mind's ear: a PET investigation of musical imagery and perception. *J Cogn Neurosci* 8:29-46.
104. Zatorre RJ, Halpern AR, Bouffard M, Johnson JA (2004) Behavioral and neural correlates of perceived and imagined musical timbre. *Neuropsychologia* 42(9):1281-92.
105. Zhang T, Penner MJ (1998) A new method for the automated detection of spontaneous otoacoustic emissions embedded in noisy data. *Hear Res* 117:107-113.
106. Zurek PM (1981) Spontaneous narrowband acoustic signals emitted by human ears. *J Acoust Soc Am* 69(2):514-523.

Tabla de figuras

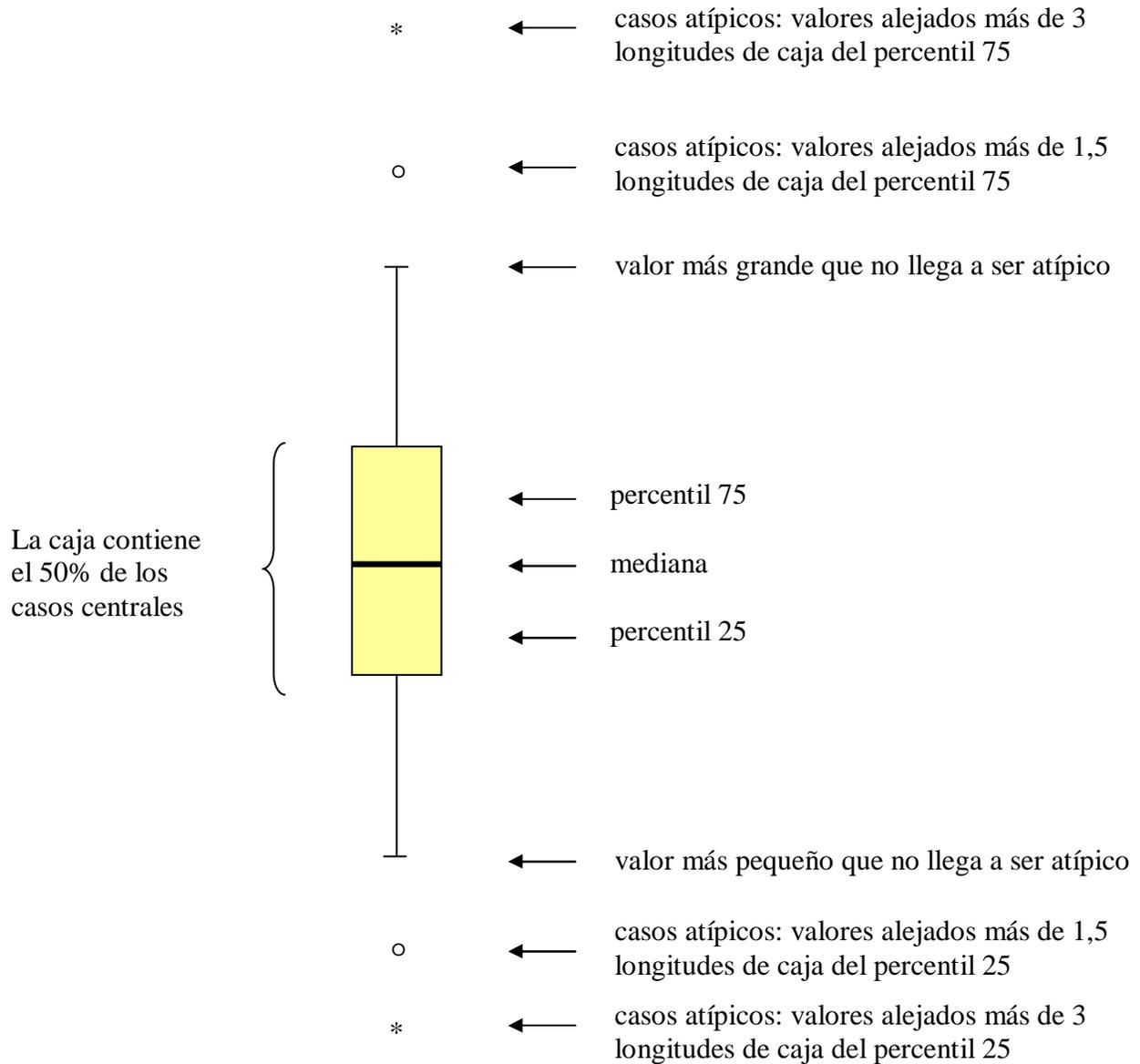
Fig. 1. Inervación aferente de las células ciliadas (Werner, 2001)	17
Fig. 2. Representación esquemática de los centros del sistema auditivo central (Werner, 2001)	19
Fig. 3. Esquema de las vías aferentes y eferentes del sistema auditivo (Hall, 2000)	20
Fig. 4. Vía trisináptica descendente entre la corteza auditiva (CA) y la cóclea (Huffman & Henson, 1990)	22
Fig. 5. Cartel de invitación al proyecto	27
Fig. 6. Micrófono del sistema ILO292 con oliva de plástico	31
Fig. 7. Imagen derecha e izquierda del registro de EOAE´s realizado por el sistema ILO292	32
Fig. 8. Gráfica de simetría y dispersión en el grupo de músicos (oídos derechos)	45
Fig. 9. Gráfica de simetría y dispersión en el grupo de sujetos sin experiencia musical (oídos derechos)	45
Fig. 10. Gráfica de simetría y dispersión en el grupo control de músicos (oídos derechos)	46
Fig. 11. Gráfica de simetría y dispersión del grupo control de sujetos sin experiencia musical (oídos derechos)	46
Fig. 12. Curva de los promedios de amplitudes en el grupo de músicos (oídos derechos)	47
Fig. 13. Curva de los promedios de amplitudes en el grupo de sujetos sin experiencia musical (oídos derechos)	48
Fig. 14. Curva de los promedios de amplitudes en el grupo de control de músicos (oídos derechos)	48
Fig. 15. Curva de los promedios de amplitudes en el grupo de control de sujetos sin experiencia musical (oídos derechos)	49
Fig. 17. Curva de los promedios de amplitudes de los oídos izquierdos de los músicos..	53

Índice de tablas

Tabla I. Número de emisiones otoacústicas espontáneas encontradas en los sujetos	37
Tabla II. Grupo de músicos: media, mediana y desviación estándar de las amplitudes de las emisiones (dB) para cada una de las condiciones de registro (oídos derechos)	39
Tabla III. Grupo de sujetos sin experiencia musical: media, mediana y desviación estándar de las amplitudes de las emisiones (dB) para cada una de las condiciones de registro (oídos derechos)	40
Tabla IV. Grupo control de músicos: media, mediana y desviación estándar de las amplitudes de las emisiones (dB) para cada una de las condiciones de registro (oídos derechos)	40
Tabla V. Grupo control de sujetos sin experiencia musical: media, mediana y desviación estándar de las amplitudes de las emisiones (dB) para cada una de las condiciones de registro (oídos derechos)	41
Tabla VI. Resultados encontrados de la comparación de los promedios de amplitud en el grupo de los músicos entre cada condición de registro, en los oídos derechos	43
Tabla VII. Resultados encontrados de la comparación de los promedios de amplitud en el grupo de los sujetos sin experiencia musical entre cada condición de registro, en los oídos derechos	44
Tabla VIII. Grado polinómico de la curva de los promedios de amplitudes por tarea de cada grupo (oídos derechos)	47
Tabla IX. Resultados encontrados de la comparación de los promedios de amplitud en el grupo de los músicos entre cada condición de registro, en los oídos izquierdos	51
Tabla X. Resultados encontrados entre la diferencia promedio de amplitud, para cada tarea, entre oídos izquierdos y oídos derechos	52

Apéndice 1

Descripción de los diagramas de caja



Anexos

Anexo 1 Protocolo de tarea de imagen auditiva

Protocolo de tarea de imagen auditiva

Gabriela Pérez Acosta, Alejandro Ramos Amézquita

Introducción

Esta prueba ha sido diseñada para observar la posible conexión entre la corteza auditiva y las emisiones otoacústicas espontáneas (de las cuales eres portador). Durante esta prueba se te pedirá que realices una tarea de evocación de imágenes auditivas mentales. Una imagen mental es, como indica su nombre, una representación imaginaria de un evento cuando no sucede en el plano de lo material. El acto de “evocar una imagen auditiva” describe el fenómeno de “generar” la música en la mente; esto es justamente lo que se te pedirá realices en esta prueba.

La tarea consiste en recordar el fragmento más popular de la “Marcha de Zacatecas”. Para ello, es necesario llevar a cabo una sesión de preparación, en la cual se pretende entrenar a los participantes en escuchar, memorizar y recordar una versión simplificada de dicha melodía. La estructura de esta versión incluye solamente la parte más conocida de la “Marcha de Zacatecas”. Es importante que podamos tener una forma de evaluación de la correcta evocación de las imágenes; para ello, tras el entrenamiento, compararemos la duración de la tarea (cronometrándola) y la duración de la grabación real. Asimismo, será importante que nos informes del número de veces que recordaste esta versión, o si recordaste alguna combinación de esta versión en tu recuerdo anterior (si lo tuviste) de la melodía. Una vez que se observe una correlación adecuada entre la temporalidad de las dos versiones se dará por concluida la fase de entrenamiento.

Una vez concluida la fase de entrenamiento, se procederá a medir las emisiones otoacústicas de la misma forma y en el mismo lugar que la primera vez; en esta ocasión, las emisiones se medirán en tres momentos distintos:

1. Previo a la evocación de imágenes mentales, medición que se llevará a cabo mientras los sujetos realizan una tarea de concentración uni-puntual.
2. Durante la tarea de evocación. En esta sección es importante mencionar que los investigadores podrán echar a andar el mecanismo de medición tantas veces como sea necesario para cubrir el tiempo estipulado de la prueba. Tú deberás continuar con la evocación hasta que se te indique lo contrario.
3. Posterior a la evocación de imágenes mentales en las mismas condiciones en las que se llevó a cabo la primera prueba.

Como es de suponerse, la tarea de concentrarse en un solo pensamiento y controlar la divagación mental requiere de un entrenamiento especial. No es nuestra intención lograr un control absoluto, sin embargo, es importante realizar un pequeño entrenamiento para lograr que, en caso de presentarse imágenes que no correspondan a la tarea en cuestión, se pueda dar cuenta de ellas y volver la atención a donde es requerida. Tal entrenamiento, será revisado durante la sesión de preparación.

Anexo 2 Cuestionarios

Cuestionarios

A continuación, se te presentan varios cuestionarios que tienen la intención de observar diversas áreas que nos son indispensables conocer para el buen desarrollo de esta investigación. Te recordamos que la evaluación objetiva y correcta de este tipo de trabajo está aún en desarrollo, por ello nos es de suma importancia contar con tu absoluta sinceridad. Te recordamos que toda la información obtenida tendrá carácter confidencial y anónimo. **Recuerda que esto no es un examen, por lo que no hay motivo alguno para ponerse nervioso(a).**

Anexo 2a

Cuestionario No. 1 (Betts, reducido y modificado)

Imagina las siguientes experiencias y utiliza la escala que se te proporciona a continuación para estimar la viveza de las imágenes mentales evocadas:

1. Perfectamente clara y tan vívida como la experiencia real
 2. Muy clara y comparable en viveza a la experiencia real
 3. Moderadamente clara y vívida
 4. No clara o vívida pero reconocible
 5. Vaga y débil
 6. Tan vaga y débil que a penas resulta perceptible
 7. Ninguna imagen presente, tan sólo *sabes* que estás pensando en el objeto
- La vista del sol a medida que se pone en el horizonte ()
 - Imagina el color morado de las nubes que dividen la zona de luz de la zona de oscuridad ()
 - Imagina cómo va cambiando la intensidad del color conforme se va acercando al horizonte ()
 - Imagina que puedes acercarte al sol y que la escena se vuelve más luminosa conforme te vas acercando ()
 - El sonido del maullido de un gato ()

- Imagina el maullido de un gato en celo ()
- Imagina que la intensidad del maullido se incrementa hasta que se vuelva molesto ()
- Imagina el maullido de un gatito y después el maullido de un gato adulto ()

- Imagina una canción que te guste mucho cantada por un hombre ()
- Realiza la misma tarea pero ahora con una canción interpretada por una mujer ()
- Imagina que te acercas y te alejas de la bocina ()

- La sensación del pinchazo de un alfiler ()
 - Imagina el pinchazo en tu dedo índice de la mano derecha ()
 - Imagina el pinchazo tan profundo que logra sacar una gota de sangre ()
 - Imagina que recorres el alfiler por tu antebrazo izquierdo ()

- La sensación de subir corriendo una escalera ()
 - Imagina que vas subiendo una escalera de caracol ()
 - Imagina que vas subiendo muy rápido ()
 - Imagina que vas bajando la escalera ()

- El sabor de la sal ()
- El sabor del azúcar ()
- El sabor de un limón ()
- El sabor del café ()

- El olor a pintura fresca ()
- El olor a un queso muy fuerte ()
- El olor del café ()
- El olor de un bebé ()

- La sensación de fatiga después de realizar ejercicio extenuante ()
- La sensación de fatiga por falta de sueño ()
- La sensación de fatiga después de cargar algo muy pesado ()

Anexo 2b

Cuestionario No. 2

Conforme a tu recuerdo de la “Marcha de Zacatecas” describe las similitudes y diferencias con la versión que acabas de escuchar:

1. De acuerdo a la velocidad. Si es más rápida o más lenta.
2. De acuerdo al instrumento. Si la recuerdas con un instrumento diferente.
3. Alguna otra observación que quieras hacer al respecto

Anexo 2c

Cuestionario No. 3

Para tener mejores resultados en este trabajo es importante tener un seguimiento farmacológico de toda sustancia que los sujetos hayan ingerido recientemente o por tiempos prolongados, debido a que existe una amplia gama de sustancias que al ser ingeridas durante largos periodos o en grandes dosis pueden tener efectos ototóxicos. Lee con atención la siguiente lista e identifica cualquier sustancia que hayas ingerido. Indica por favor el motivo de su uso y las fechas en las que las hayas tomado. Es indispensable que contestes con toda sinceridad, **recuerda que toda la información obtenida tendrá carácter absolutamente confidencial y anónimo y será utilizada exclusivamente con fines de esta investigación.**

En caso de ser mujer, responde el Apartado No.3 que se encuentra al final de este documento.

Medicamento	Fecha de última ingesta	Dosis	Motivo	Comentarios (Ej. Si lo tomas o has tomado por largos periodos)
Salicilatos				
Aspirina (ácido acetilsalicílico)				
Antinflamatorios sin esteroides				
Voltarén (Diclofenaco)				
Lodine (Etocolato)				
Nalfon (Fenprofen)				
Motrin, Advil, Nuprin (Ibuprofeno)				
Indocin (Indometasina)				
Naprosin, Anaprox, Alleve, Naxen (Naproxeno)				

Feldene (Piroxicam)				
Clinoril (Sulindac)				
Antibióticos				
1. Aminoglicósidos				
Amikin (Amikacina)				
Medicamento	Fecha de última ingesta	Dosis	Motivo	Comentarios (Ej. Si lo tomas o has tomado por largos periodos)
Garamicina (Gentamicina)				
Kantrex (Kanamicina)				
Pomadas antibióticas (Neomicina)				
Netromicin (Netilmicina)				
Estreptomicina				
Tobrex (Tobramicina)				
2. Eritromicina				
EES				
E-micina				
Ilosona				
Eryc				
Pediazole				
Biaxin				
Zitromax				
Pantomicina				
3. Vancocin (Vancomicina)				
4. Minocin (Minociclina)				
5. Polimixina B y Amfotericina B				
6. Medicamentos anti-tuberculosis: Capestat (Capreomicina)				

Diuréticos				
Corzide (bendroflumetacida)				
Miccil (bumetadina)				
Tenoretic (clor- talidona)				
Edecrim (ácido etacrinicido)				
Lasix (Furosemida)				
Medicamento	Fecha de última ingesta	Dosis	Motivo	Comentarios (Ej. Si lo tomas o has tomado por largos periodos)
Diamox (acetazolamida)				
Bendrofluacida				
Diapamida				
Co-Diovan, Co- Renitec (hidroclortiacida)				
Enduron (metilclortiacida)				
Medicamentos para el Corazón				
Celiprolol				
Tambocar (flecainida)				
Lidocaína				
Pronestil (procainamida)				
Inderalici (propanolol)				
Quinaglute, Quinidex (quinidina)				
Seloken (metoprolol)				
Agentes Psicofarmacológicos				
Elavil (amitriptilina)				

Clase benzodiazepina				
Xanax (alprazolam)				
Tranxene (cloracepato)				
Librium (clordiazepoxida)				
Valium (diazepam)				
Dalmane (flurazepam)				
Ativam (lorazepam)				
Dormicum (midazolam)				
Serax (oxasepam)				
Centrax (procepam)				
Doral (quazepam)				
Medicamento	Fecha de última ingesta	Dosis	Motivo	Comentarios (Ej. Si lo tomas o has tomado por largos periodos)
Restoril (temazepam)				
Halcion (triazolam)				
Welbutrin (bupropion)				
Tegretol (carbamcepina)				
Diclofencina				
Sinequin (doexpin)				
Norpramin (deciprimina)				
Prozac (fluoxentina)				
Tofranil (imipramina)				
Litio				
Melitracem				
Moban (molindon)				
Paroxentina				
Nardil (fenelcina)				
Vivactil (protriptilina)				
Desyrel (trazodona)				
Zimeldin				
Agentes				

Quimioterapéuticos				
Blenoxan (bleomicina)				
Carboplatin (carboplatino)				
Parlodel (bromocriptina)				
Platinol (cisplatina)				
Reumatrex (metotrexato)				
Mustargen (mostaza nitrogenada)				
Velban (vinblastina)				
Oncovin (vincristina)				
Quinina				
Aralen (fosfato cloroquininico)				
Atabrine				
Medicamento	Fecha de última ingesta	Dosis	Motivo	Comentarios (Ej. Si lo tomas o has tomado por largos periodos)
Quinam (sulfato quininico)				
Protectores de mucosas				
Artrotec (misoprostol)				
Solventes y vapores				
Ciclohexano				
Diclorometano				
Gasolina				
Kwell (lindano)				
Metil-cloridio				
Metil-n-butyl-cetona				
Percloretieno				
Estireno				
Tetracloretano				

Toluol				
Tricloroetileno				
Antibióticos				
Amfocil, Amfotec (amfotericina B)				
Cloromicetina (cloranfenicol)				
Minocin (minociclina)				
Politrim (polimixina B)				
Septra, Bactrim (sulfonamidas)				
Glucocorticoesteroides				
Meticorten (prednisolona)				
Acthar (hormona adenocorticotropica)				
Anestésicos				
Bupivacain				
Medicamento	Fecha de última ingesta	Dosis	Motivo	Comentarios (Ej. Si lo tomas o has tomado por largos periodos)
Tetracain				
Lidocaína (Novacaína)				
Antimalaria				
Aralen (cloroquina)				
Plaquinil (hydrixicloroquina)				
Sustancias tóxicas misceláneas				
Alcohol				

Arsénico				
Cafeína				
Plomo				
Marihuana				
Nicotina				
Oro				
Mercurio				

¿Tienes conocimiento sobre la condición habitual de tu presión arterial, es decir, si normalmente es “baja” o “alta”? Indícalo por favor _____

¿Te has enfermado recientemente de gripe o algún tipo de condición que afecte al oído o las vías respiratorias? En caso afirmativo indica por favor qué y cuándo _____

Eres diestro o zurdo? _____

Apartado No. 2

Apartado para músicos

En escala de 0 a 5 evalúa tu desempeño respecto a los siguientes puntos, considerando la siguiente tabla:

- 0 – respuestas incorrectas en un 100%
- 1 – de 0 a 20% de respuestas correctas
- 2 – de 20 a 40% de respuestas correctas
- 3 – de 40 a 60% de respuestas correctas
- 4 – de 60 a 80% de respuestas correctas
- 5 – de 80 a 100% de respuestas correctas

- a) Dictados armónicos ()
- b) Dictados melódicos ()
- c) Dictados rítmicos ()
- d) Reconocimiento de timbres ()
- e) Extracción de una “voz” dentro de un conjunto de ellas ()

¿Tienes oído absoluto? _____

En caso de respuesta afirmativa:

¿Siempre lo has tenido? _____

¿Consideras que lo entrenaste? _____

¿Cómo? _____

Apartado para no músicos

En escala 0 a 5 evalúa tu desempeño respecto a los siguientes puntos, considerando la siguiente tabla:

- 0 – respuestas incorrectas en un 100%
- 1 – de 10 a 20% de respuestas correctas
- 2 – de 20 a 40% de respuestas correctas
- 3 – de 40 a 60% de respuestas correctas
- 4 – de 60 a 80% de respuestas correctas
- 5 – de 80 a 100% de respuestas correctas

¿Puedes seguir una tonada silbando o cantando de manera afinada? ()

¿Puedes identificar en una canción las diferentes voces cuando llevan alguna melodía diferente a la principal? ()

¿Puedes llevar con las palmas algún ritmo sin salirte de tiempo? ()

¿Puedes distinguir los diferentes instrumentos de una canción? ()

¿Puedes, al estar en una situación ruidosa (ej. Un restaurante), aislar a voluntad conversaciones o sonidos específicos (ej. Conversaciones en otra mesa)? ()

¿Sabes qué es oído absoluto? _____

En caso de respuesta afirmativa ¿consideras tenerlo? _____

Apartado No. 3

Actualmente existen evidencias de que los cambios hormonales relacionados al ciclo menstrual (Bell, 1992) pueden provocar ciertas fluctuaciones en las características de las emisiones otoacústicas espontáneas. Es por esto que nos es importante tener un registro al respecto.

Fecha de tu última menstruación _____

¿Cada cuántos días se presenta? _____

¿Qué tan regular es tu ciclo? _____

¿Cuánto tiempo dura? _____

¿Presentas alguna condición que consideres importante reportar? _____

Anexo 2d

Cuestionario No. 4

a) Al realizar la tarea me sentí distraído en algún momento

1. En ningún momento ()
2. Un una ocasión pero pude recobrar la concentración ()
3. En pocas ocasiones pero pude recobrar la concentración ()
4. En varias ocasiones pero pude recobrar la concentración ()
5. De manera intermitente pero durante toda la tarea ()
6. La mayor parte del tiempo ()
7. Completamente distraído ()

b) ¿Qué instrumento imaginaste? _____

c) La imagen del timbre del instrumento que imaginaste fue:

8. Perfectamente clara y tan vívida como la experiencia real
9. Muy clara y comparable en viveza a la experiencia real
10. Moderadamente clara y vívida
11. No clara o vívida pero reconocible
12. Vaga y débil
13. Tan vaga y débil que a penas resulta perceptible
14. Ninguna imagen presente, tan sólo *sabes* que estás pensando en el objeto

d) La evocación de la *versión* para la que fuiste entrenado fue:

1. Perfectamente clara y tan vívida como la experiencia real
2. Muy clara y comparable en viveza a la experiencia real
3. Moderadamente clara y vívida
4. No clara o vívida pero reconocible
5. Vaga y débil
6. Tan vaga y débil que a penas resulta perceptible
7. Ninguna imagen presente, tan sólo *sabes* que estás pensando en el objeto

e) ¿Cuántas veces repetiste en tu mente la *versión* de la melodía para la que fuiste entrenado?

f) ¿Repetiste sólo alguna de las dos secciones de la melodía?

g) ¿Alguna otra observación o descripción que consideres conveniente realizar?

Anexo 3 *Marcha de Zacatecas*

Marcha de Zacatecas

G. Codina

Flute

p

8

16

f

25

p

30

p

1. 2.

Anexo 4 Publicaciones

Pérez-Acosta G (2006) Relación entre las emisiones otoacústicas espontáneas y la evocación de imágenes auditivas. Estudio comparativo entre músicos y no-músicos. *Perspectiva Interdisciplinaria de Música PIM* 1(1): 57-60

Ramos-Amézquita A, Pérez-Acosta G, Castro Sierra E (2007) A study on the lateralization of the effect of musical imagery on spontaneous otoacoustic emissions. *Ictus Especial-III SIMCAM*: 65-75

Relación entre las emisiones otoacústicas espontáneas y la evocación de imágenes auditivas.

Estudio comparativo entre músicos y no-músicos

Gabriela Pérez Acosta

Sinopsis

Existen múltiples evidencias de que los sustratos cerebrales que se ven activados durante la evocación de imágenes auditivas son, en gran parte, los mismos involucrados en la percepción de los estímulos acústicos. Sin embargo, aún no se tienen evidencias respecto de las influencias eferentes que esa actividad cognitiva pueda llegar a tener en el nivel coclear. La observación del comportamiento de las emisiones otoacústicas espontáneas durante la evocación de imágenes auditivas puede ofrecer datos importantes a este respecto. De observarse una interacción entre estos dos elementos se podrían aportar algunos fundamentos neurofisiológicos de la utilidad de la práctica de la evocación de imágenes auditivas en el desarrollo de la sensibilidad auditiva y en la práctica musical misma.

Emisiones otoacústicas

Las *emisiones otoacústicas* son sonidos de muy baja intensidad que produce la cóclea debido al movimiento de las células pilosas externas. Fueron registradas por primera vez en 1978 por el físico británico Kemp.¹ Existen dos tipos de emisiones otoacústicas, las provocadas por un estímulo externo y las espontáneas, producidas sin estímulo externo alguno. En el grupo de las emisiones otoacústicas provocadas encontramos dos tipos principalmente: las emisiones provocadas transitorias (EOAT) y las emisiones otoacústicas productos de la distorsión (EOAD). Estos dos tipos de emisiones otoacústicas constituyen una herramienta clínica importante para el monitoreo del funcionamiento de la cóclea. Sin embargo, el origen y la función de las emisiones otoacústicas espontáneas (EOAE) permanecen aún poco claros.

Actualmente ya es conocido que de la población con oídos sanos no todos presentan EOAE, y se sabe que el hecho de que esta población no las presente es absolutamente normal; su ausencia no es signo de disfunción auditiva o de algún tipo de problema clínico.² Anteriormente, se hablaba de que sólo 50% de la población las presentaba, con predominancia en las

mujeres y en los oídos derechos. Con el desarrollo de equipos más sensibles, en especial de micrófonos de ruido más bajo, el hallazgo de porcentajes positivos ha aumentado hasta 70% de la población [Penner y col., 1993].³ Sin embargo, se han mantenido las predominancias mencionadas en cuanto al sexo y a la lateralización. En promedio, en oídos humanos, la posibilidad de encontrar EOAE es mayor en las regiones de mayor sensibilidad auditiva (1 a 2 kHz), con amplitudes de -5 hasta 15dB, aproximadamente.

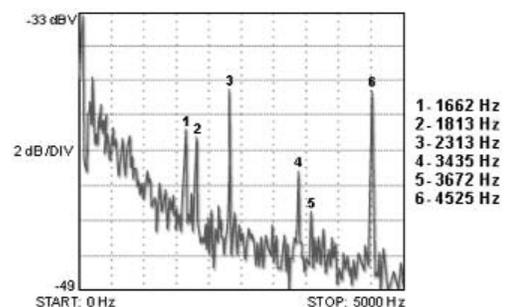


Imagen 1: Registro de varias emisiones otoacústicas espontáneas en un mismo oído.

(Imagen de Blatrix, S., registros hechos por Puel, J.L., Bonfils, P., Piron, J.P. "Promenade around the cochlea" <www.cochlea.org> EDU website de Pujol, R. y col., INSERM y la Universidad de Montpellier 1)

¹ Kemp, D.T., 1978.

² Hall, J. W., 2000.

³ Penner, M. J., Glotzbach, L., Huang, T., 1993.

Las frecuencias de las EOAE de un individuo pueden permanecer estables por largos periodos, sin embargo, las EOAE de altas frecuencias pueden desaparecer en el transcurso de los años y, por el contrario, pueden aparecer algunas emisiones de frecuencias más bajas. Se pueden registrar varias EOAE en cada oído y es altamente probable que si un individuo las presenta, se encuentren en ambos oídos.

Actualmente se reconoce su relación con el sistema auditivo eferente⁴ y existen evidencias de que aquellos oídos con EOAE poseen mayor sensibilidad auditiva.⁵ Por su parte, Braun⁶ ha realizado importantes hallazgos respecto de la relación de las frecuencias de las EOAE con las bandas críticas⁷ y posiblemente con la discriminación de la altura tonal.⁸ Estos datos abren nuevas perspectivas para llevar a cabo investigaciones sobre el papel que pueda desempeñar este tipo de emisiones otoacústicas en la percepción y producción musical y en sus procesos de cognición.

Imágenes auditivas

El estudio de la evocación de imágenes auditivas ha provocado gran interés en los últimos años. El acto de "evocar una imagen auditiva" describe el fenómeno de "crear" la música en la mente. Anteriormente se había realizado ya mucha investigación respecto de la evocación de imágenes visuales y motoras, y se encontró que el hecho de "simplemente imaginar" un objeto, un paisaje o un rostro activaba algunas áreas cerebrales en común con las que se activan al efectivamente verlos.⁹ Lo mismo sucedió con respecto a la imaginación de movimientos: el imaginar ejecutar un instrumento activaba áreas cerebrales motoras involucradas en la ejecución misma del movimiento.¹⁰ Es decir, se observó que los procesos de imaginación visual y motora y sus procesos correspondientes de percepción comparten algunos sustratos cerebrales. Todo esto llevó directamente a que se presentaran incógnitas con respecto a cómo se evocan las imágenes auditivas y a las diferencias que pudiera haber entre músicos profesionales y sujetos sin instrucción musical especializada. En varios estudios se demostró que la evocación de imágenes auditivas y la

percepción del estímulo acústico comparten áreas de activación cerebral en común, como ciertas áreas del sistema auditivo central¹¹ (núcleos geniculados mediales, colículos inferiores y lemnisco lateral)¹² y las cortezas auditivas primaria y secundaria,¹³ por ejemplo. Sin embargo, muchas incógnitas siguen sin responderse en relación con la manera según la cual funciona este proceso cognitivo, sobre todo respecto de la repercusión que pudiera tener en la práctica musical.

Halpern¹⁴ realizó estudios con diferentes técnicas respecto de la evocación de imágenes auditivas con lo que, además de corroborar lo dicho anteriormente, observaron que elementos musicales como la altura tonal y el tempo son recreados en esas imágenes con gran exactitud, sobre todo, por los músicos profesionales. Por otro lado, en otras investigaciones¹⁵ se ha encontrado evidencia de que el timbre, cualidad compleja del sonido cuyos elementos más determinantes son el ataque y el espectro¹⁶ también puede ser imaginado.

Schürmann,¹⁷ en su estudio de magnetoencefalografía (MEG)¹⁸ con el objetivo de observar el patrón temporoespacial de la actividad cerebral durante la evocación de imágenes auditivas que seguían a un estímulo visual, obtuvieron hallazgos similares y observaron que la activación neural específica a la evocación de la imagen auditiva de un solo sonido aprendido con anterioridad, desencadenada visualmente, seguía una secuencia temporal definida en los músicos profesionales.

Kraemer, et. al.,¹⁹ usaron la resonancia magnética funcional (fMRI)²⁰ para identificar y caracterizar los sustratos neurales relacionados con la evocación de imágenes auditivas espontáneas. Estos autores extrajeron fragmentos de melodías conocidas y los reemplazaron con lapsos de silencio. Observaron que esta acción provocaba espontáneamente la evocación de la imagen auditiva que completaba la frase musical incompleta y que activaba la corteza auditiva primaria y áreas de asociación auditiva.

⁴ Vías descendentes del sistema auditivo que transmiten información desde centros superiores del sistema auditivo central hacia estructuras más inferiores, entre ellas, las células pilosas externas.

⁵ McFadden, D., Mishra, R. 1993.

⁶ Braun, M., 1997.

⁷ Banda de frecuencias que excita cada terminación nerviosa. El ancho de banda crítica es en función de la frecuencia.

⁸ Braun, M., 2000.

⁹ O'Craven, K. M., Kanwisher, N., 2000.

¹⁰ Meister, I. G., Krings, T., Foltys, H., Borojerdi, B., Muller, M., Topper, R., Thron, A., 2004.

¹¹ Chen, W., Kato, T., Zhu, X. -H., Adriany, G., Ugurbil, K., 1996.

¹² Estructuras que se encuentran en orden descendente entre la corteza auditiva y los complejos olivarios.

¹³ Kraemer, D.J.M., Macrae, C.N., Green, A.E., Kelley, W.M., 2005.

¹⁴ Halpern, A. R., 2001.

¹⁵ Zatorre, R.J., Halpern, A.R., Bouffard, M., Johnson, J.A., 2004.

¹⁶ McAdams, S., Cunible, J.C., 1992.

¹⁷ Schürmann, M., Raji, T., Fujiki, N., Hari, R., 2002.

¹⁸ Técnica de imagenología que se emplea para estudiar el funcionamiento del cerebro humano a través de la medición de la actividad magnética de las neuronas. [Castro-Sierra, 1996.]

¹⁹ Kraemer, *Ibid.*

²⁰ Técnica de imagenología que mide los cambios que se llevan a cabo en una zona activa del cerebro mediante el uso de ondas de radio que crean un campo magnético en cada neurona.

Desarrollo

La evocación de imágenes auditivas activa las mismas áreas cerebrales que las que activa la percepción auditiva, incluyendo posiblemente centros del sistema auditivo eferente. Las EOAE conservan una relación directa con este sistema. Además, se tiene evidencia sobre la relación entre las EOAE y la sensibilidad auditiva y sobre la existencia de mayores influencias eferentes en músicos profesionales que en no-músicos.²¹ Podemos entonces deducir que puede existir una relación entre la evocación de las imágenes auditivas y las EOAE y que esta relación puede ser diferente entre músicos y no-músicos.

Algunos de los objetivos de esta investigación consisten en observar si el comportamiento de las emisiones otoacústicas espontáneas tiene relación, efecto o influencia en la actividad cerebral desencadenada por la evocación de imágenes auditivas, es decir, si existe una influencia ascendente desde el sistema auditivo periférico hacia áreas superiores de procesamiento auditivo-cognitivo. Observar si, de manera inversa, existen influencias descendentes de la actividad cerebral durante la evocación de imágenes auditivas en el comportamiento de las emisiones otoacústicas espontáneas. Por otro lado, se pretende observar si esta interacción es diferente entre músicos y personas sin instrucción musical especializada y si hay diferencia estadística en la presencia de emisiones otoacústicas espontáneas entre los oídos de músicos y no-músicos.

Metodología

La primera etapa de este estudio es decisiva debido a la dificultad conocida para localizar una población representativa con EOAE. Sin embargo, la gran población de la Ciudad de México representa una ventaja importante y permite una postura optimista al respecto.

La primera fase del estudio consiste en el análisis de las poblaciones y en la obtención de los registros de una cantidad considerablemente estable y estadísticamente significativa de las EOAE necesarias para poder llevar a cabo las comparaciones propuestas.

1) Con este objetivo, se realizarán audiometrías a un número determinado de personas para encontrar las dos poblaciones deseadas, una con experiencia musical y otra sin ella, que manifiesten audición normal, condición necesaria para que

se presenten las EOAE. Se espera obtener dentro de esta etapa, por lo menos 55 mujeres y 55 hombres que presenten audición normal (± 5 , para tomar en cuenta defecciones u otras pérdidas de sujetos de estudio) con edades de 25 a 35 años (± 5 para no restringir tajantemente los límites y descartar sujetos que puedan ser buenos candidatos a estudio).

2) Una vez delimitada la población deseada con audición normal se procederá al análisis de las EOAE en cada individuo para determinar su existencia, los promedios de presentación, las frecuencias y las amplitudes de estas emisiones. Esto se lleva a cabo mediante la inserción de un micrófono de alta sensibilidad en el canal auditivo, posteriormente se realiza el registro de la actividad coclear mediante un analizador de audio. Para poder determinar cualquier cambio en el comportamiento de las EOAE al incluir la tarea de evocación de imágenes auditivas será importante tener una base de datos con información definida de las características de las EOAE encontradas en ausencia de actividad cognitiva específica. Se piensa obtener un promedio aproximado de 35 personas con EOAE en cada grupo, número que resulta estadísticamente significativo y que permite la aplicación de técnicas estadísticas paramétricas con resultados más confiables.

3) Debido a que se llevará a cabo un estudio comparativo entre músicos e individuos sin instrucción musical especializada, se establecerán:

a.- como candidatos al grupo de sujetos con experiencia musical formal aquellas personas que hayan comenzado estudios de música entre los seis y once años de edad y hayan tocado su instrumento alrededor de cuatro horas al día por al menos diez años;

b.- como candidatos al grupo de sujetos sin experiencia musical profesional aquellas personas que no hayan tenido instrucción musical formal, es decir, adicional a la recibida en la educación básica, por más de tres años.

4) Se buscará, de preferencia, que el grupo sin educación musical tenga alguna relación de parentesco (hermanos, primos) con los reclutados en el grupo con educación musical profesional: el contar con características genéticas parecidas elimina variables dadas por factores ambientales que son indeseables en este tipo de investigaciones. Además, los sujetos no deberán tener antecedentes de desórdenes auditivos, visuales, hápticos,²² neurológicos o psiquiátricos de ningún tipo.

²² "El término "háptico" se refiere a la percepción táctil, en la cual, la sensación cutánea y cinestésica transmiten información significativa respecto de eventos y objetos distales. La mayor parte de nuestra percepción táctil cotidiana y desempeño controlado por el tacto cae dentro de esta categoría". Loomis, J. M., Lederman, S. J. Tactual perception en *Handbook of Perception and Human Performance*, Boff, K., Kaufman, L., & Thomas, J. (Eds.), 1986, Volumen II, Capítulo 31.

²¹ Perrot, X., Micheyl, C., Khalfa, S., Collet, L., 1999.

Posteriormente, y ya con los datos anteriores en mano, se procederá a realizar las mediciones de las EOAe conforme a los mismos parámetros que en la etapa anterior, durante la tarea de evocación de imágenes auditivas, con el objetivo de poder recabar la información deseada y realizar las comparaciones propuestas:

- 1) Entre individuos de ambos grupos.
- 2) Entre ambos sexos.
- 3) Entre los dos oídos de cada individuo.
- 4) En el grupo de los músicos, entre las diferentes disciplinas (instrumentistas, cantantes y compositores).

Discusión

Una de las metas principales de esta investigación es determinar, dada la interacción entre las emisiones otoacústicas espontáneas y la evocación de imágenes auditivas, una explicación más sobre el origen de la gran sensibilidad auditiva de los músicos. Es decir, se podría determinar que el practicar la evocación de imágenes auditivas, actividad muy desarrollada en el quehacer musical, pueda tener una relación directa con la sensibilidad auditiva, y que quizá, de manera más ambiciosa, se pueda pensar en usarla como herramienta para el refinamiento de esta última. De igual manera, se pretende obtener más evidencia del papel o los papeles que pueda tener la existencia de las emisiones otoacústicas espontáneas y quizá incluso, de su utilidad.

Referencias bibliográficas

Braun, M. "Frequency spacing of multiple spontaneous otoacoustic emissions shows relation to critical bands: A large-scale cumulative study", *Hear Res*; 114:197-203; 1997.

Braun, M. "Inferior colliculus as candidate for pitch extraction: Multiple support from statistics of bilateral spontaneous otoacoustic emissions", *Hear Res*; 145:130-140; 2000.

Castro-Sierra, E. "Actividad auditiva cortical cerebral medida por técnicas de magnetoencefalografía", *Ciencia y Desarrollo*; 21(127):42-5; 1996.

Chen, W., Kato, T., Zhu, X.-H., Adriany, G., Ugurbil, K. "Functional mapping of human brain during music imagery processing", *NeuroImage*; 3:S205; 1996.

Hall, J.W. Spontaneous otoacoustic emissions (SOAEs) en *Handbook of Otoacoustic Emissions*, San Diego, CA: Singular Publishing Group, pp. 67-92, 2000.

Halpern, A.R. "Cerebral substrates of music imagery", *Ann NY Acad Sci*; 930:179-92; 2001.

Kemp, D.T. "Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system", *JASA*; 64:1386-1391; 1978.

Kraemer, D.J.M., Macrae, C.N., Green, A.E., Kelley, W.M. "Sound of silence activates auditory cortex", *Nature*; 434:158; 2005.

Loomis, J. M., Lederman, S. J. Tactual perception en *Handbook of Perception and Human Performance*, Boff, K., Kaufman, L., & Thomas, J. (Eds.), Volumen II, Capítulo 31, 1986.

McAdams, S., Cunible, J.C. "Perception of timbral analogies", *Phil Trans R Soc Lond B Biol Sci*; 336(1278):383-9; 1992.

McFadden, D., Mishra, R. "On the relation between hearing sensitivity and otoacoustic emissions", *Hear Res*; 97:208-13; 1993.

Meister, I.G., Krings, T., Foltys, H., Boroojerdi, B., Muller, M., Topper, R., Thron, A. "Playing piano in the mind-an fMRI study on music imagery and performance in pianists", *Cogn Brain Res*; 19(3):219-28; 2004.

O'Craven, K.M., Kanwisher, N. "Mental imagery of faces and places activates corresponding stimulus-specific brain regions", *J Cogn Neurosci*; 12(6):1013-23; 2000.

Penner, M.J., Glotzbach, L., Huang, T. "Spontaneous otoacoustic emissions: Measurement and data", *Hear Res*; 68:229-37; 1993.

Perrot, X., Micheyl, C., Khalfa, S., Collet, L. "Stronger bilateral efferent influences on cochlear biomechanical activity in musicians than in non-musicians", *Neurosci Lett*; 262:167-70; 1999.

Schürmann, M., Raij, T., Fujiki, N., Hari, R. "Mind's ear in a musician: where and when in the brain", *NeuroImage*; 16(2):434-40; 2002.

Talmdage, C.L., Long, G.R., Murphy, W.J., Tubis, A. "New off-line method for detecting spontaneous otoacoustic emissions in human subjects", *Hear Res*; 71:170-182; 1993.

Yoo, S., Lee, Ch.U., Choi, B.G. "Human brain mapping of auditory imagery: Event-related functional MRI study", *NeuroReport*; 12:3045-3049; 2001.

Zatorre, R.J., Halpern, A.R., Bouffard, M., Johnson, J.A. "Behavioral and neural correlates of perceived and imagined musical timbre", *Neuropsychologia*; 42(9):1281-92; 2004.

A study on the lateralization of the effect of musical imagery on spontaneous otoacoustic emissions

*A. Ramos-Amézquita*¹

*G. Pérez-Acosta*²

*E. Castro-Sierra*³

Abstract: It has been suggested that different pathways through the brain are followed depending on the type of information that is being processed. Although it is now known that there is a continuous exchange of information through both hemispheres, language is considered to be processed by the left hemisphere, where Broca's and Wernicke's areas are located. On the other hand, music is thought to be processed mainly by the right hemisphere. According to Sininger Y.S. & Cone-Wesson, B. (2004), there is a similar but contralateral specialization of the human ears; due to the fact that auditory pathways cross-over at the brainstem. A previous study showed an effect of musical imagery on spontaneous otoacoustic emissions (SOAEs) (Perez-Acosta and Ramos-Amezquita, 2006), providing evidence of an efferent influence from the auditory cortex on the basilar membrane. Based on these results, the present work is a comparative study between left and right ears of a population of eight musicians that presented SOAEs. A familiar musical tune was chosen, and the subjects were trained in the task of evoking it after having heard it. Samples of ear-canal signals were obtained and processed in order to extract frequency and amplitude data on the SOAEs. This procedure was carried out before, during and after the musical image creation task. Results were then analyzed to compare the difference between SOAE responses of left and right ears. A clear asymmetrical SOAEs response to musical imagery tasks between left and right ears was obtained. Significant changes of SOAE amplitude related to musical imagery tasks were only observed on the right ear of the subjects. These results may suggest a predominant left hemisphere activity related to a melodic image creation task.

¹Laboratorio de Cibernética, Facultad de Ciencias, UNAM.

²Programa de Maestría y Doctorado en Música, Escuela Nacional de Música, UNAM.

³Laboratorio de Psicoacústica y Fisiología Auditiva, HIMFG. Mexico City, Mexico.

1. Background

Hemispheric specialization

An opinion commonly shared is that the analytic sequential functions of language became, through the development of verbal communication, the target of the left hemisphere. On the other hand, the right hemisphere has emerged as being more suited for the analysis of synthetic, holistic relations. This phenomenon could be explained by taking under consideration two different operational modes coexisting in the brain. The first involves a sequential analysis of subparts while the other involves the spatial integration of momentaneous patterns of neural activity (Roederer, J., 1975). In accordance to this, it has been suggested that left and right auditory regions may be individually specialized for processing sounds based on acoustic properties. The left hemisphere process preferentially rapidly changing signals (temporal resolution), and tonal stimuli are best processed by the right hemisphere auditory areas (spectral resolution) (Sininger, Y. S. & Cone-Wesson, B., 2004). For all that stated above, it has been commonly suggested that it is the right hemisphere the one responsible for the processing of musical information, while the left hemisphere takes care of the processing of language.

However, recent observations of the hemispheric responses of people specialized in some facet of musical art, have shown left hemisphere activity providing evidence of the existence of some analytical process happening.

Otoacoustic emissions

Otoacoustic emissions are acoustic signals that can be registered in the external ear canal.

In 1978, Kemp submitted an extraordinary report in which he presented his findings on acoustic signals originated in the cochlea; otoacoustic emissions (OAEs) (Kemp, 1978, 1979). He later found that OAEs emerged either as a result of external stimulation or in a spontaneous manner (spontaneous otoacoustic emissions, SOAEs).

The existence of spontaneous otoacoustic emissions (SOAEs) still poses major questions. One of the most common hypotheses regarding their existence is that OAEs function as amplifiers to stress acoustic input or to aid attention tasks where isolation of a specific sound is needed (Maison, S., Micheyl, C. & Collet, L., 2001). Considered first as “echoes”, their source, so far, had been traced to the superior olivary complex (SOC) which, through the efferent pathway activates outer hair cells (OHC). A previous study showed an effect of musical imagery on spontaneous otoacoustic emissions

(SOAEs) (Perez-Acosta and Ramos-Amezquita, 2006), providing evidence of an efferent influence from the auditory cortex on the basilar membrane. It is also widely presumed that there might be a close relation between hearing sensitivity and SOAEs (Norton et al., 1988; McFadden and Mishra, 1993). In the music domain, Braun has reported interesting observations regarding the relation of SOAE frequencies to critical bands (1997) and their possible relation to pitch extraction (2000).

Mental Imagery

Thanks to the use of different imaging techniques [positron emission tomography (PET), functional magnetic resonance imaging (fMRI), magnetoencephalography (MEG) and transcranial magnetic stimulation (TMS)], it is now widely known that brain activity triggered by the creation of a mental image appears to be almost the same as that triggered by perception of the actual stimulus. That is, when you imagine a face or a place, the visual cortex is activated almost in the same way as if you were actually seeing that face or place (O'Craver et al., 2000). The same occurs with images of movement. These findings have been of particular interest in the music domain aiming to enhance the importance of mental practice (Meister et al., 2004; Pascual-Leone et al., 1995 and 1999), as it has been found that to imagine oneself playing an instrument activates the motor cortex in a very similar way than during practice itself.

Several studies have shown that auditory imagery activates most of the cerebral substrates activated when listening to sound (Halpern, 2001; Yoo et al., 2001; Schürmann et al., 2002; Zatorre et al., 2004; Kraemer et al., 2005). These substrates include bilateral primary and secondary auditory cortices, supplementary motor area (SMA) and right dorsolateral frontal cortex. There are some differences between some activated substrates depending mainly on the experimental design; nonetheless, they all coincide on the primary and secondary auditory cortex in the temporal lobes being activated.

2. Aims

The aim of this study was to elucidate whether the efferent auditory cortex effect on the cochlea, due to a musical imagery task, showed any lateralization preference.

The results gathered from these observations could provide relevant information to the hemispheric specialization research by considering a top-down process as opposed to the more common bottom-up approach.

3. Materials and Method

Subjects

The study involved 8 subjects (aged 20–36 years; mean age 27.4), of which, 3 were male and 5 female, with no history of auditory pathology and with normal audiometric measurements (only one subject manifested acoustic trauma, level I, apparently due to constant loud sound exposure, around the 4000-Hz band. However, since no SOAEs were present near this band, he was considered eligible for the study). The subjects were either professional musicians or music students with over 10 years of training in music listening (mean 12.3) (3 singers, 2 pianists, 1 guitarist, 1 accordionist, 1 electrical bassist). Audiometric analyses were conducted using a portable Beltone clinical audiometer. Hearing thresholds were measured at 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 and 8000 Hz.

Subjects were volunteers recruited from Escuela Nacional de Música of the National Autonomous University of Mexico (UNAM).

In each recording session, subjects were seated in a double-walled, soundproof chamber (Cabina Sonoamortiguada, Electromédica y Acústica, S. A.), located at Clínica Lomas Altas in Mexico City. Each subject was instructed to sit quietly throughout the test period.

All participants gave written informed consent.

Apparatus

For SOAE recordings, the ear canal sound pressure was measured with an ILO-292 Otodynamics microphone system, developed by Kemp. The probe was fitted into the external ear canal via an adaptable plastic ear plug. A Fast Fourier Transform (FFT) of the signal was performed, and a frequency and amplitude analysis was carried out using the ILO system. The FFT of the acoustic signal was calculated over a frequency span of 0-6 kHz. The SOAEs were recorded using the synchronized technique, in which a click is presented to the ear and SOAEs time-locked to the click are averaged (Hall, 1999). This procedure was carried out after a training session.

Training

a) Concentration task: subjects were briefly trained in focusing their attention strictly on one event, namely the sensation of their own breathing for the time span that the recording lasted. Subjects were specifically asked not to focus on the sound of their breathing but on the temperature shift as air flows into the nose.

b) Musical image creation task: a familiar musical tune was chosen. The selected melody was a traditional Mexican tune, “Marcha de Zacatecas”. This tune (a simple melodic line) was recorded with a flute on a single track. Training consisted of listening to the tune until all subjects reported that they were able to evoke it. They were asked to indicate the beginning and the end of the task of evoking in order to measure how long it lasted (which should be very similar to the actual duration of the melody). The tune lasted 1min 03sec. The entire average duration measured was 1min 03sec \pm 03sec.

Recording Sessions

All the subjects were asked not to take any caffeine or alcohol for at least 12 hour previous to testing. Subjects were trained for an hour, ca. 2 hours before the recording session. The recording session consisted of 9 different conditions, and SOAEs were measured during each one of them. The first condition (condition A) consisted of a baseline recording with no task associated to it; subjects were asked only to sit quietly during this recording with their eyes open. For condition B, subjects were asked to concentrate on their breathing with their eyes closed. For conditions C and D, subjects were asked to perform the imagery task with their eyes closed. Conditions E and F consisted of the same imagery task with eyes open. For condition G, subjects were asked to concentrate again on their breathing with their eyes closed. Condition H consisted of a second baseline recording with no task (eyes open). The last recording (Final condition) was made 2 hours after the second baseline recording.

4. Results

The vast majority of SOAE recordings obtained lay in the frequency range of 1 to 2 kHz. This is the frequency range reported in the present work. Each SOAE of each subject was considered as independent. Since this study is observational in nature, a 10% significance value was considered for the tests ($p < 0.1$).

A significant difference was found between mean SOAE amplitudes in right ears for tasks that involved musical imagery and those that didn't (Table 1); providing evidence of an efferent effect from the auditory cortex to the right peripheral auditory system. However, the response of the left ears is somehow more ambiguous. A significant difference was found on the SOAE mean amplitude between the basal measurement (condition A) and the subsequent 4 conditions (conditions B, C, D and E), but no significant

difference was found between any other (Table 2). Independent sample t -tests were performed to compare the change in SOAE amplitude between right and left ear for each possible pair of conditions; results are shown in Table 3. The pairs of conditions for which a significant difference was found are: A-B, A-C, A-D, A-E, D-E, D-F, D-G, D-H.

5. Conclusions

A clear asymmetrical SOAEs response to auditory imagery tasks between left and right ears was found. Although significant SOAE amplitude changes were found for both ears, significant differences related to the musical imagery tasks performed were found only for right ears.

It should be noted that in numerous studies regarding SOAEs, a noticeable right ear and female prevalence has been found (Hall, 2000). These reports are consistent with the data obtained in the present work (4 left ear SOAEs vs. 20 right ear SOAEs). The variances of both groups proved to be equal, however, the scarcity of left ear SOAEs might have an effect on the results presented; this could explain in particular the unexpected mean amplitude leap from the baseline measurement to the subsequent conditions for the left ear data. On the other hand, no other significant difference was found between any other task. In particular, no significant difference was found between any of the musical imagery conditions against any condition other than the baseline measurement. This gives rise to the possibility that no real effect was produced on the left ear SOAEs.

It is a well known fact that ascending and descending central auditory pathways cross-over at the superior olivary nucleus in the brainstem, sending most of the information to the contralateral side. Considering the above stated, it might be suggested that the efferent effect from the auditory cortex on the peripheral auditory system, triggered by a melodic image creation task, shows a right ear lateralization that could be due to a predominant left hemisphere activity. As stated in section 1, it seems possible that the musical analysis performed by musically trained subjects is lateralized to their “dominant” (left) hemisphere (Lafarga, 2000). Nevertheless, the validity of this statement must still to be further substantiated.

Results reported here should be considered as applicable only to the subjects of the present study, representing a particular population.

Undertaking either EEG or fMRI studies of the subjects as they perform the imagery tasks is suggested to insure that brain activation related to the tasks is actually observed. It may also be advisable to train the subjects for

Table 1. Right ears significant differences ($p < 0.1$)

Right ears (1-2kHz)				95% Confidence Interval for Difference		
Condition 1	Condition 2	Mean difference	SE	p	Lower Bound	Upper Bound
A.	G.	-2.287	.693	.054	-6.008	.026
D.	F.	-1.770	.516	.086	-3.654	.115
D.	G.	-2.262	.628	.057	-4.559	.034

Table 2. Left ears significant differences ($p < 0.1$).

Left ears (1-2kHz)				95% Confidence Interval for Difference		
Condition 1	Condition 2	Mean difference	SE	p	Lower Bound	Upper Bound
A*.	B.	-4.525	.266	.016	-7.598	-1.452
A*.	C.	-4.550	.263	.015	-7.591	-1.509
A*.	D.	-4.300	.418	.071	-9.137	.537
A*.	E.	-4.275	.350	.042	-8.319	-.231

*Note: All significant differences observed are related to the basal measurement. No significant difference can be attributable to the musical imagery tasks.

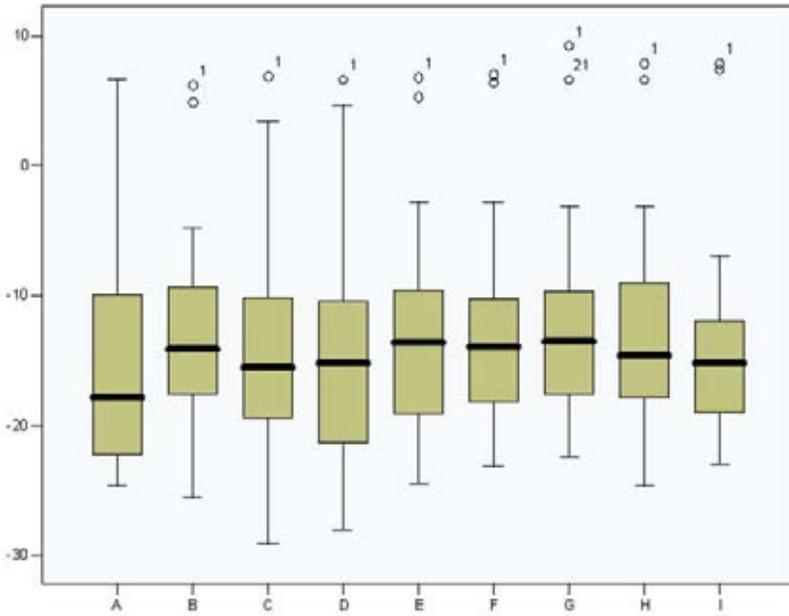


Fig. 1. Right ears. Estimated Marginal Means (dB) vs. Recording conditions.

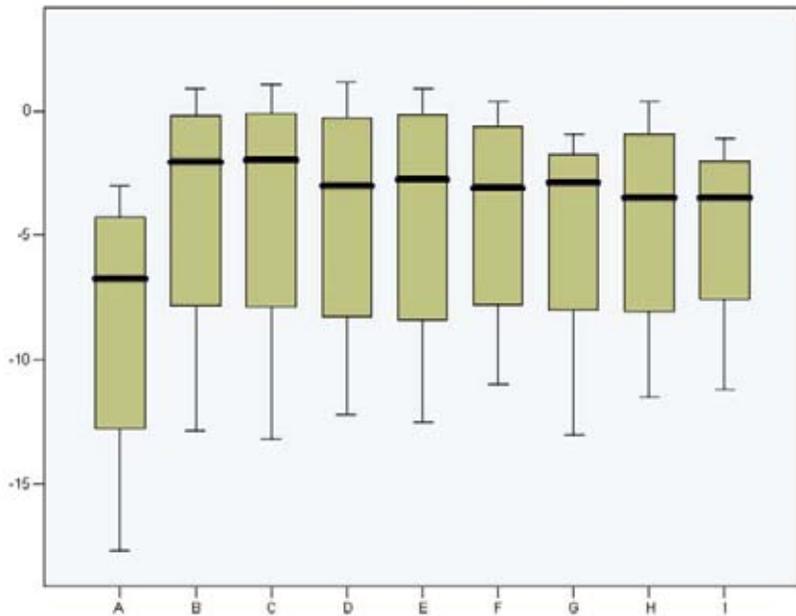


Fig. 2. Left ears. Estimated Marginal Means (dB) vs. Recording conditions.

Table 3. Significant differences between left and right ears ($p < 0.1$)

Independent sample T-Test Left vs. Right ears (1-2kHz)						95% Confidence Interval for Difference	
Condition 1	Condition 2	t	Mean difference	SE difference	p	Lower Bound	Upper Bound
A.	B.	-2.780	-2.555	.919	.010	-4.449	-.661
A.	C.	-3.870	-3.558	.919	.001	-5.454	-1.663
A.	D.	-3.647	-3.569	.978	.001	-5.589	-1.549
A.	E.	-2.649	-2.235	.843	.014	-.3976	-.495
D.	E.	2.961	1.333	.450	.007	.404	2.262
D.	F.	2.573	1.719	.668	.022	.287	3.151
D.	G.	1.877	2.910	1.550	.072	-.282	6.104
D.	H.	2.658	1.806	.679	.014	.398	3.215

*Note: t -tests were performed considering the mean difference of SOAE amplitudes between the tasks.

longer periods and to analyze the changes in SOAE behavior related to a possible learning process. Another important suggestion is to change the order of the tasks to see if the changes are in fact related to the tasks and do not depend on the time elapsed.

6. Acknowledgements

Thanks are due to Valeria Lapilover, M.S., and Gonzalo Corvera, M.D., from Clínica Lomas Altas, for their providing the means and assistance to carry out measurements of SOAEs, to Adrián Poblano, M.D., Ph.D., and Carmina Arteaga, M.D., from Instituto Nacional de Rehabilitación de Mexico, for providing means and assistance to undertake audiometric analyses, to Alfonso Reyes, M.S., from Hospital Infantil de México Federico Gómez, for aid in carrying out statistical analyses and to Pablo Padilla from Facultad de Ciencias UNAM for all his comments and guidance on different matters.

REFERENCES

- Besson, M. & Schön, D. (2004). Comparison between language and music. In I. Peretz & R. Zatorre (Org.). *The cognitive neuroscience of music* (pgs. 269-293). Oxford: Oxford University Press.
- Castro-Sierra, E. (1996). Actividad auditiva cortical cerebral medida por técnicas de magnetoencefalografía. *Ciencia y Desarrollo*, 21(127), 42-51.
- Chen, W., Kato, T., Zhu, X-H., Adriany, G. & Uđurbil, K. (1996). Functional mapping of human brain during music imagery processing. *NeuroImage*, 3, S205.
- Hall, J.W. (2000). Spontaneous otoacoustic emissions (SOAEs). In *Handbook of Otoacoustic Emissions* (pgs. 67-92). San Diego: Singular Publishing Group.
- Halpern, A.R. (2001). Cerebral substrates of music imagery. *Ann NY Acad Sci*, 930, 179-92.
- Kemp, D.T. (1978) Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. *JASA*, 64, 1386-1391.
- Kraemer, D.J.M., Macrae, C.N., Green, A.E. & Kelley, W.M. (2005). Sound of silence activates auditory cortex. *Nature*, 434, 158.
- Lafarga, M.M. (2000, December). Desarrollo musical y desarrollo neurológico. Paper presented in Congreso Mundial de Lecto-escritura. Valencia, España.
- Maison, S., Micheyl, C. & Collet, L. (2001). Influence of focused attention on cochlear activity in humans. *Psychophys*, 38, 35-40.
- McFadden, D. & Mishra, R. (1993). On the relation between hearing sensitivity and otoacoustic emissions. *Hear Res*, 97, 208-13.
- Meister, I.G., Krings, T., Foltys, H., Boroojerdi, B., Muller, M., Topper, R. & Thron, A. (2004). Playing piano in the mind—an fMRI study on music imagery and performance in pianists. *Cogn Brain Res*, 19(3), 219-28.

- O'Craven, K.M. & Kanwisher, N. (2000). Mental imagery of faces and places activates corresponding stimulus-specific brain regions. *J Cogn Neurosci*, 12(6), 1013-23.
- Pascual-Leone, A., Nguyet, A.D. & Cohen, L., G. *et al.* (1995). Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *J Neurophysiol*, 74, 1037-45.
- Pascual-Leone, A., Tarazona, A.F. & Catala, M.D. (1999). Applications of transcranial magnetic stimulation in studies on motor learning. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl*, 51, 157-161.
- Penner, M.J., Glotzbach, L. & Huang, T. (1993). Spontaneous otoacoustic emissions: Measurement and data. *Hear Res*, 68, 229-37.
- Perrot, X., Micheyl, C., Khalfa, S. & Collet, L. (1999). Stronger bilateral efferent influences on cochlear biomechanical activity in musicians than in non-musicians. *Neurosci Lett*, 262, 167-70.
- Roederer, J. (1975). Superposition and successions of complex tones and the perception of music. In *Introduction to the physics and psychophysics of music* (pgs. 165-170). Denver: Springer-Verlag.
- Schürmann, M., Raij, T., Fujiki, N. & Hari, R. (2002). Mind's ear in a musician: where and when in the brain. *NeuroImage*, 16(2), 434-40.
- Sininger, Y.S. & Cone-Wesson, B. (2004). Asymmetric cochlear processing mimics hemispheric specialization. *Science*, 305, 1581.
- Whitehead, M.L. (1991). Slow variations of the amplitude and frequency of spontaneous otoacoustic emissions. *Hear Res*, 53, 269-280.
- Yoo, S., Lee, Ch.U. & Choi, B.G. (2001). Human brain mapping of auditory imagery: Event-related functional MRI study. *NeuroReport*, 12, 3045-3049.
- Zatorre, R.J., Halpern, A., Perry, D.W. *et al.* (1996). Hearing in the mind's ear: A PET investigation of musical imagery and perception. *J Cogn Neurosci*, 8, 29-46.