

ESCUELA DE POSTGRADO
FACULTAD DE MEDICINA
UNIVERSIDAD DE CHILE



**“OSCILACIONES TIMPANICAS RELACIONADAS CON MOVIMIENTOS
OCULARES EN TAREAS VOLITIVAS Y REFLEJAS”**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGISTER EN NEUROCIENCIAS

Alumno: Jose Luis Escalona Muñoz

Directores de Tesis

Dr. Pedro Maldonado A.

Dr. Paul Delano R.

Santiago, 27 de Abril de 2022

Resumen

Antecedentes: La integración sensorial propone que aquellas señales que provienen de los distintos órganos de los sentidos se suelen integrar en el sistema nervioso central (SNC). En el caso de la integración visual y auditiva, se ha estudiado que ambas señales suelen interactuar a nivel de la corteza auditiva primaria y secundaria, donde las señales visuales suelen modular los impulsos auditivos. Sin embargo, poco se ha estudiado sobre esta relación a nivel de los marcadores periféricos de ambos sentidos. Recientemente Gruters et al., (2018) mostraron en humanos y en primates que los movimientos del globo ocular y del tímpano interactúan durante tareas de sacadas horizontales. Sin embargo, este hallazgo no es suficiente para determinar si esta relación es propia de procesos volitivos o reflejos, así como tampoco permite determinar si esta relación se da en una tarea que no sea de sacadas horizontales.

Hipótesis: Las oscilaciones timpánicas relacionadas con movimientos oculares (OTREMOs) se generan durante procesos volitivos de forma distinta a los evocados por reflejos.

Método: Se usará una muestra de 3 sujetos entre 18 y 45 años sin daño neurológico, que no posean problemas auditivos ni ópticos. Esta muestra pasará por tres experimentos: el primero consistirá en detectar esta relación mientras los sujetos realizan una tarea visual con estímulos horizontales que se moverán entre los rangos de -18° a 18° desde el centro de una pantalla LED. El segundo experimento consiste en detectar los OTREMOs de los sujetos frente a estímulos optocinéticos, los cuales buscarán generar nistagmus para luego comparar los OTREMOs obtenidos de ambas tareas.

Introducción

La integración sensorial es un concepto correspondiente a un modelo neuropsicológico que permite el apropiado procesamiento e integración de la información proveniente de los sentidos con implicaciones en la funcionalidad cognitiva, aprendizaje, afectividad y conducta (Erazo, 2018). Esta integración sensorial ocurre a nivel de Sistema Nervioso Central (SNC) y permite los procesos de identificación, modulación y planeación del comportamiento (Pollock, 2011).

Esta integración, por lo tanto, ocurre en el sistema nervioso central donde los procesamientos visual y auditivos suelen tener conexiones modulatorias entre cortezas primarias y secundarias tanto visual como auditiva, permitiendo la integración sensorial de estímulos tanto visuales como auditivos o de ubicación espacial (Atilgan, Town, Wood, Jones, Maddox, Lee y Bizley, 2018; Hasan, Kra, Yarin, Wagner y Gutfreund 2015; Shrem, Murray y Deouell, 2017)

Si bien existe amplia literatura que habla de la integración sensorial a nivel de sistema nervioso central existe poca evidencia que asocie ésta misma integración a nivel periférico, la cual se podría estudiar al revisar los marcadores periféricos existentes como lo es en el caso de los movimientos oculares para la visión y las oscilaciones timpánicas para los procesos auditivos, marcadores que se anteceden a los procesos de transducción sensorial.

En este contexto, Gruters, Murphy, Jenson, Smith, Shera y Groh (2018) descubrieron que existe un patrón que relaciona movimientos oculares con movimientos timpánicos en tareas de visión horizontal, patrón que podría darse también en otro tipo de tareas cognitivas y voluntarias.

Con el fin de entender como esta relación puede verse afectada con la ejecución de distintas tareas es que se hace necesario estudiarla en tareas de estímulos visuales, midiendo los marcadores periféricos correspondientes y descartando la posibilidad de que esta relación responda a procesos reflejos.

Movimientos oculares

Dentro de los marcadores periféricos existentes, los movimientos oculares están relacionados con procesos cognitivos internos que ocurren de forma tanto voluntaria como involuntaria.

De estos movimientos, las sacadas corresponden a movimientos voluntarios, rápidos y preprogramados (Carmona, Zalazar y Zuma-Maia, 2018) que ocurren entre dos puntos de fijación (Gila, Villanueva y Cabeza, 2009). Las sacadas, al ser movimientos preprogramados y voluntarios suelen estar relacionados con procesos volitivos, por lo que han sido estudiados como marcadores de atención (Wolfe y Horowitz, 2017) y procesamiento emocional (Schurgin, Nelson, Iida, Ohira, Chiao y Franconeri, 2014). Los movimientos sacádicos se destacan por tener una amplitud máxima de 30° sin necesidad de mover la cabeza y poseer una duración de entre 30 y 120 ms (Gila, 2009). Estos movimientos buscan generar un rastreo de la imagen, enfocando el estímulo lúminico externo en diversas zonas de la retina (Kandel, 2018)

Los movimientos oculares son controlados por el circuito formado por cerebelo, núcleo caudado, corteza prefrontal dorsolateral, formación reticular, colículo superior, sustancia nigra y tálamo (Munoz, 2002), donde los movimientos sacádicos horizontales son controlados por la sustancia reticular mesencefálica, mientras que los movimientos sacádicos verticales son controlados desde la sustancia reticular pontina (Kandel, 2018)

Dentro de los movimientos oculares involuntarios existe el movimiento ocular optoquinético que corresponden a movimientos que permiten la estabilización de la imagen de la retina, aunque los campos visuales periféricos estén en movimiento (Gila, Villanueva y Cabeza, 2009). Estos movimientos son reflejos, por lo que no forman parte de un relato cognitivo ni de funciones volitivas, sino que tienen como principal función el compensar el movimiento optomotor para dirigir la imagen periférica a la fovea. (Kretchmer, Tariq, Chatila, Wu y Badea, 2017)

Oscilaciones timpánicas

El tímpano es una membrana que separa al conducto auditivo externo del oído medio, la cual vibra al ser estimulada por ondas sonoras y permite la conducción de estas vibraciones a través de la cadena osicular hacia el oído interno donde estas vibraciones serán transducidas a potenciales eléctricos (Kandel, Schwartz y Jessell, 2018).

El movimiento timpánico produce oscilaciones en la presión del oído medio al generar diferencias en el movimiento de partículas de aire adyacentes. Además, puede haber cambios de presión sonora relacionados con las emisiones otoacústicas, estas corresponden a sonidos generados por las células ciliadas externas de la cóclea y pueden ser espontáneas (sin presencia de sonidos externos) o evocadas por sonidos como clics u otros.

Las emisiones otoacústicas pueden ser detectadas en el conducto auditivo externo a través de un micrófono y pueden ser cuantificadas en decibeles de presión sonora. Las emisiones otoacústicas por producto de distorsión (DPAOE) son generadas en el oído interno y pueden

ser moduladas durante procesos atencionales tipo top-down (Marian, Lam, Hayakawa y Dhar, 2018; Dragicevic et al., 2019)

Oscilaciones timpánicas relacionadas con movimientos oculares

Un estudio llevado a cabo por Gruters, Murphy, Jenson, Smith, Shera y Groh (2018) en primates y en humanos, muestra que los movimientos oculares tienen relación con movimientos timpánicos de baja frecuencia, específicamente en señales de 30 Hz. En este estudio que ha sido el único en su tipo hasta el momento se refleja que existe una actividad oscilatoria del movimiento timpánico que se relaciona directamente con los movimientos oculares. Los autores llamaron a esta relación ‘eye movement-related eardrum oscillations (EMREO)’ o por su traducción literal ‘oscilaciones timpánicas relacionadas con movimientos oculares (OTREMOs)’.

El estudio realizado por este grupo de investigadores consistió en relacionar movimientos oculares (sacadas) y timpánicos en tarea de visión horizontal, llegando a la conclusión de que esta relación se produce en la presencia o ausencia de sonidos externos, es decir, en el momento en que los ojos se mueven, las oscilaciones de presión producidas en el oído medio reflejan una actividad timpánica.

Esta relación además demuestra ser contralateral, ya que cuando los sujetos fijaron la mirada hacia la izquierda, era el oído derecho el que reflejaba una diferencia de presión debido al movimiento de la membrana timpánica.

Cabe destacar que éste estudio se realizó tanto en primates como con personas en condiciones similares reflejando resultados similares en ambas especies, mostrando un patrón predecible

en la relación de los OTREMOS. Cuando los ojos se mueven hacia un lado, los tímpanos se mueven hacia el otro y suelen oscilar por tres o cuatro ciclos más dos ciclos después de que el movimiento ocular haya finalizado.

Por otro lado, se ha probado este mecanismo para movimientos oculares verticales (Murphy, King, Schlebusch, Shera y Groh; 2020), lo cual ha mostrado oscilaciones de similares características para movimientos oculares verticales de 2 a 4 ciclos después de 30 ms de ocurrido el onsett de la prueba. Estas oscilaciones son más acentuadas cuando ocurren en el oído contrario de la dirección a la que los ojos miran, es decir, mantendrían la contralateralidad del OTREMO observado en el experimento de Gruters.

Otro mecanismo de modulación auditiva del oído medio: enmascaramiento de señales auditivas de baja frecuencia

En materia de investigación sobre señales auditivas de baja frecuencia, Mrowinski, Gerull, Nubel y Scholz (1995) dieron cuenta de un ‘enmascaramiento’ que ocurre de parte de señales auditivas de 30 Hz sobre otras señales auditivas de mayor frecuencia.

Esto se descubrió al sobreponer señales auditivas aleatorias con clicks de 30 Hz, donde las emisiones otoacústicas generadas por éstos clicks generan una disminución de decibeles del estímulo inicial al llegar a los 270° de fase de la onda, impidiendo que ésta misma sea recibida plenamente por el sistema auditivo.

Este enmascaramiento ejecutado por señales auditivas menores de 30 Hz puede permitir la discusión sobre un mecanismo de modulación de ondas auditivas desde el sistema nervioso al momento mismo de recibir el estímulo, lo cual pareciera estar muy relacionado al mecanismo de OTREMOS, ya que las oscilaciones timpánicas relacionadas con movimientos

oculares tienen una función más bien moduladora y ocurren en bajas frecuencias de 30 Hz, por lo tanto se podría inferir que la modulación de señales de 30 Hz están relacionadas con la percepción auditiva y posiblemente con la ubicación visoespacial.

Dentro de los aspectos que no se han podido resolver el estudio de Gruters (2018) se encuentran los mecanismos internos que producen esta relación, así como también las consecuencias que pueden producir los movimientos oculares en el procesamiento auditivo.

Por otro lado, es discutible si este proceso responde exclusivamente a los movimientos oculares voluntarios o puede obedecer a un acto reflejo, ya que el paradigma del estudio presentado se limitó a observar los movimientos horizontales sacádicos del ojo, lo cual no garantiza que en otros contextos se presenten éstas mismas características de reacción.

Por esta razón el siguiente estudio pretende comprobar que la relación de los OTREMOS es con mecanismos volitivos de visión, descartando la posibilidad de que este mecanismo corresponda a un acto reflejo, como por ejemplo durante los movimientos oculares optoquinéticos.

Hipótesis

Las oscilaciones timpánicas relacionadas con movimientos oculares (OTREMOs) se generan durante procesos volitivos de forma distinta a los evocados por reflejos.

Objetivos

General

Establecer relaciones entre los OTREMOs y mecanismos de procesamiento sensorial visuo-auditivo tanto en procesos volitivos como reflejos.

Específicos

- 1) Armar un sistema de registro simultáneo de movimientos oculares y presión del conducto auditivo externo.
- 2) Determinar la relación entre movimientos oculares y oscilaciones timpánicas.
- 3) Describir amplitud y componentes frecuenciales de los OTREMOs en tareas reflejas.
- 4) Comparar oscilaciones timpánicas ocurridas en tareas oculares volitivas y reflejas.

Diseño Experimental

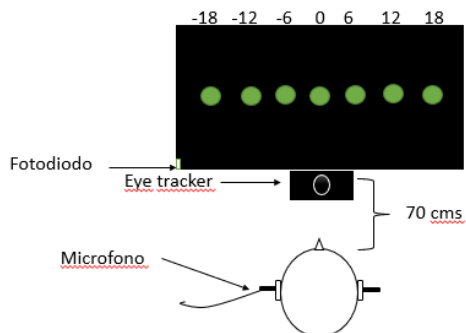
Equipo: La presente investigación deberá, con el fin de comprobar la existencia del mecanismo OTREMOs, replicar las condiciones en las que se encontraron los sujetos del experimento de Gruters, Murphy, Jenson, Smith, Shera y Groh (2018) donde se registrarán los movimientos oculares con sistema de rastreo ocular (eye-tracker) infrarrojo Eyelink 1000 Plus y las oscilaciones timpánicas serán registradas con equipo para medir emisiones otoacústicas (ER10C, Etymotic Research) que posee micrófono con dos parlantes que se colocarán en el canal auditivo de ambos oídos de los sujetos (como en el caso de las emisiones otoacústicas). Los estímulos serán presentados en una pantalla LED de 21” ubicado a 2 mts de los sujetos evitando el movimiento de la cabeza de los sujetos con un sujetador de barbilla. Cada onsett será medido a partir de un fotodiodo ubicado en la esquina inferior izquierda de la pantalla, la cual detectará un pixel que cambia de color (de blanco a negro) cada vez que comience una nueva tarea.

Muestra: La muestra consistirá en 3 personas adultas (18 a 45 años) que no posean problemas ópticos ni auditivos.

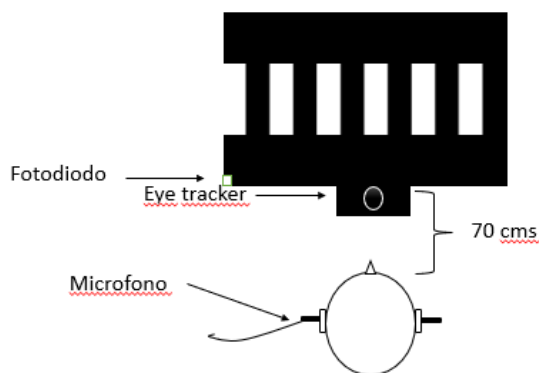
Paradigma experimental: El paradigma experimental consistirá en dos etapas, las cuales serán llevadas a cabo en una sola sesión.

Experimento 1: Los sujetos experimentales deberán fijar su mirada en un punto central a 0° en la pantalla. A los 250ms ese punto central se extinguirá y aparecerá otro punto 6° a la derecha del punto central. 250ms después se extinguirá el punto anterior y aparecerá otro punto -6° a la izquierda y así sucesivamente hasta llegar al rango horizontal entre -18° y 18° en intervalos de 6°. En caso de que el sujeto no dirija su mirada hacia el punto, este

permanecerá durante 200 ms más para extinguirse y mostrar el punto central iniciando otra prueba. El montaje de esta prueba se expresa en el siguiente esquema:



Experimento 2: Los sujetos serán expuestos a un estímulo optoquinético horizontal que les será mostrado en la pantalla. Este estímulo consistirá en un movimiento de barras negras en fondo blanco que se trasladarán de izquierda a derecha con una velocidad variable entre 24 y 32 grados por segundo. El montaje experimental se muestra en el siguiente esquema:



Softwares utilizados: Para la creación de las tareas se utilizará el software SR Research Experiment Builder en el experimento 1, para el experimento 2 así como también para el análisis de datos se utilizará Python.

Resultados

Debido a la cantidad disminuida de personas en este experimento se procederá a analizar los resultados por tareas, mostrando los resultados y analizando un sujeto como muestra representativa del conjunto.

Experimento 1: Sacadas volitivas

En la figura 1 se puede observar en a) el rendimiento de la tarea ocular en un sujeto en la tarea de sacadas horizontales en representada en pixeles en la pantalla, donde se puede observar un mapa de fijaciones que indican que éstas fueron acertadas según la tarea asignada, lo cual se puede comparar con los estímulos de esta tarea descartando problemas en el rendimiento de la misma. En el gráfico 1 b) (también expresado en pixeles) se pueden observar también las frecuencias con las cuales el sujeto miraba los estímulos, donde el estímulo central es el que tuvo una mayor frecuencia debido a que es el estímulo al que se vuelve la tarea una vez que se presenta el estímulo en algún grado entre -18 o +18.

Figura 1

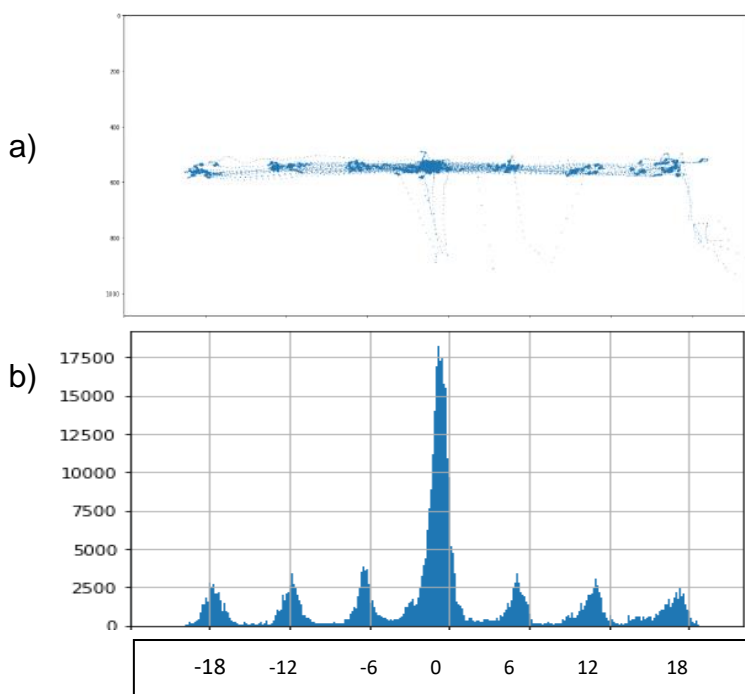


Figura 1: Datos brutos de desempeño del sujeto 1 en la prueba de sacadas horizontales volitivas como ejemplo. En la letra a) se pueden ver las fijaciones ocurridas en la pantalla, donde el eje X (común para ambas figuras) representa los grados de cada estímulo y el eje Y representa los pixeles verticales de la pantalla. En ésta se puede observar que las manchas más grandes corresponden al cúmulo de fijaciones en las zonas de interés donde se debieran encontrar los estímulos de la tarea. En la letra b) se ve un histograma que muestra el tiempo total en ms de las fijaciones (eje Y) que el sujeto mantuvo en cada objetivo (eje X) según su posición en la pantalla representada en grados.

Los resultados de la primera prueba se muestran en la figura 2.1 a continuación:

Figura 2.1

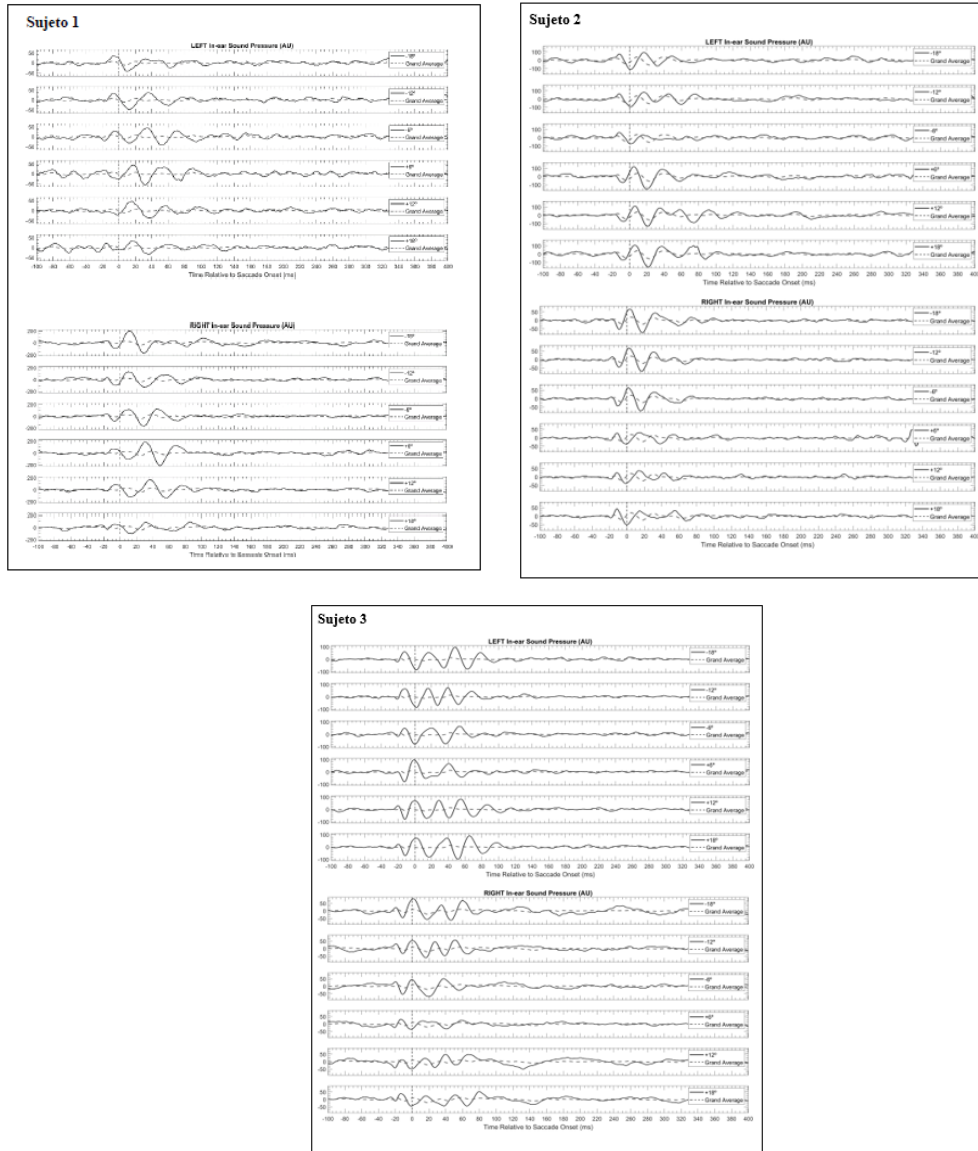
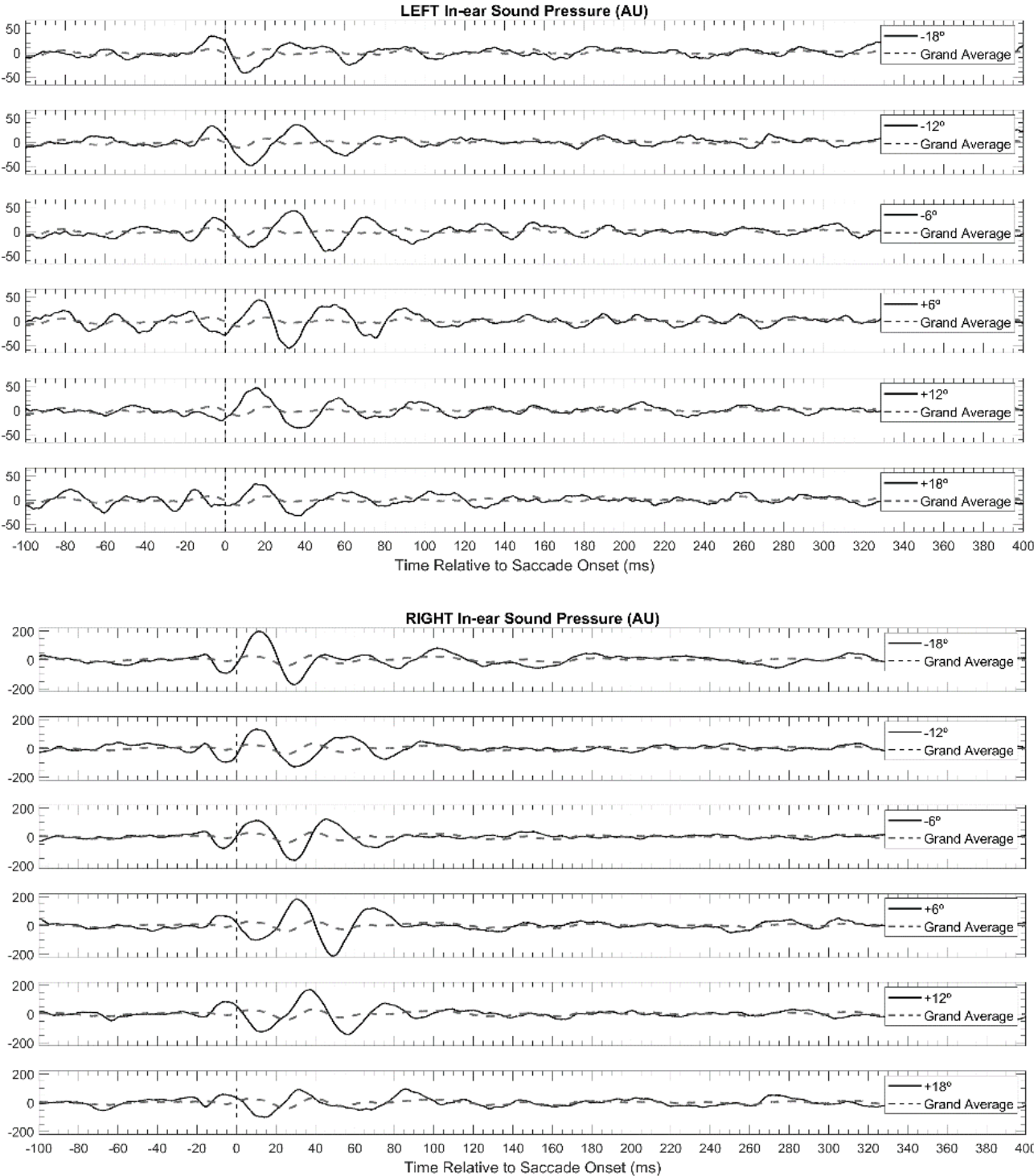


Figura 2.1: Versión resumida de resultados individuales de los OTREMOS evocados en cada uno de los sujetos que relacionan el tiempo (eje x) con la amplitud de la oscilación (eje y). Se pueden observar los resultados del sujeto 1 (a la izquierda), sujeto 2 (a la derecha) y sujeto 3 (abajo). Los resultados arrojan la presencia de OTREMOS de entre 2 y 3 ciclos para todos los sujetos mostrando además contralateralidad en todos los resultados.

Para el siguiente análisis se utilizarán los datos del sujeto 1 como representativos de la muestra total en la figura 2.2

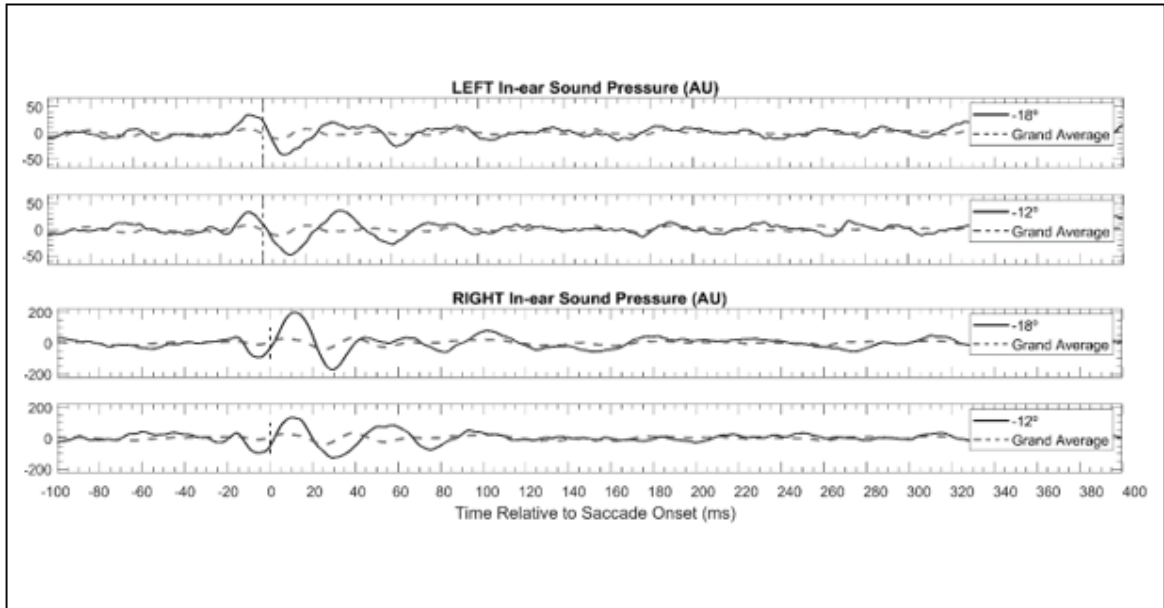
Figura 2.2: OTREMOS en sujeto 1. En la figura se observan los OTREMOS ocurridos tanto en oído izquierdo (arriba) como derecho (abajo) en un gráfico que relaciona el tiempo con la amplitud de las oscilaciones timpánicas. Los OTREMOS están dispuestos según la localización del estímulo desde -18 (a la izquierda) hasta 18 (derecha).



En esta figura se pueden visualizar las distintas variaciones en la presión del oído medio del sujeto 1 en sus oídos izquierdo (arriba) y derecho (abajo) en relación con el tiempo de la sacada del ojo en ms tanto antes de la tarea como después de la misma. Cada oído tiene 6 gráficos correspondientes a la respuesta del oído medio cuando el ojo se mueve en una cantidad de grados específica desde los -18° (18° a la izquierda) hasta $+18^\circ$ (18° a la derecha).

En estos gráficos se muestran oscilaciones timpánicas expresadas cerca de 20 ms antes del onsett y que se mantienen con una fluctuación de 4 ciclos luego de éste mismo cada vez que se realiza la sacada mostrando que estas oscilaciones tienen una efectiva relación con la iniciación de los movimientos oculares horizontales, es decir, es posible observar el mecanismo de los OTREMOs para esta tarea de sacadas presentadas de forma voluntaria. Además, se puede apreciar la contralateralidad del mecanismo, ya que las fases son invertidas cuando la sacada del ojo se muestra contraria a la lateralidad del tímpano como se puede ver en el ejemplo del mismo sujeto en la figura 2.3, donde se comparan las fases de las oscilaciones timpánicas del mismo sujeto en sus oídos izquierdo (arriba) y derecho (abajo) para las sacadas presentadas a 18 y 12 grados hacia la izquierda. En este cuadro se pueden apreciar las diferencias de fase entre ambos oídos lo cual se ejemplifica mejor en las fases ocurridas cerca de los 10 ms luego del onsett, donde la fase del oído izquierdo se muestra en la dirección contraria a la fase del oído derecho para estas sacadas.

Figura 2.3: Contralateralidad para sacadas volitivas en sujeto1. En esta figura se muestra un ejemplo de contralateralidad de los OTREMOs del sujeto 1 para los objetivos en las posiciones -18 y -12 (18 y 12 grados a la izquierda respectivamente) Se puede apreciar la antifase ocurrida en ambos oídos al momento en que el sujeto genera una fijación hacia los objetivos nombrados anteriormente mostrando que los tímpanos se mueven de forma contralateral respecto a los ojos.



Por otro lado, si se analiza comparativamente la figura 2.4 con el experimento que se obtuvo como referencia (figura 2.5) es posible observar que la actividad de los OTREMOS presentada es bastante similar en muestra de sujeto a sujeto, donde se presentan ciclos similares en cuanto a su cantidad (3 a 4 ciclos), así como también se puede observar una actividad levemente anterior al onsett de la sacada. Cabe destacar que esta actividad anterior al onsett ocurre cerca de 30 ms antes del onsett de la sacada, lo que difiere con los resultados de nuestros antecedentes.

Figura 2.4: Resultados de todos los OTREMOS evocados en el oído izquierdo del sujeto 1. En esta figura contrasta, al igual que la anterior, el tiempo (eje x) con la señal del micrófono (eje y) y se muestra como resultado de juntar todas las oscilaciones ocurridas en el oído izquierdo del sujeto. Se pueden apreciar los antifaces ya descritos anteriormente y una generación de ciclos en un periodo anterior al tiempo 0.

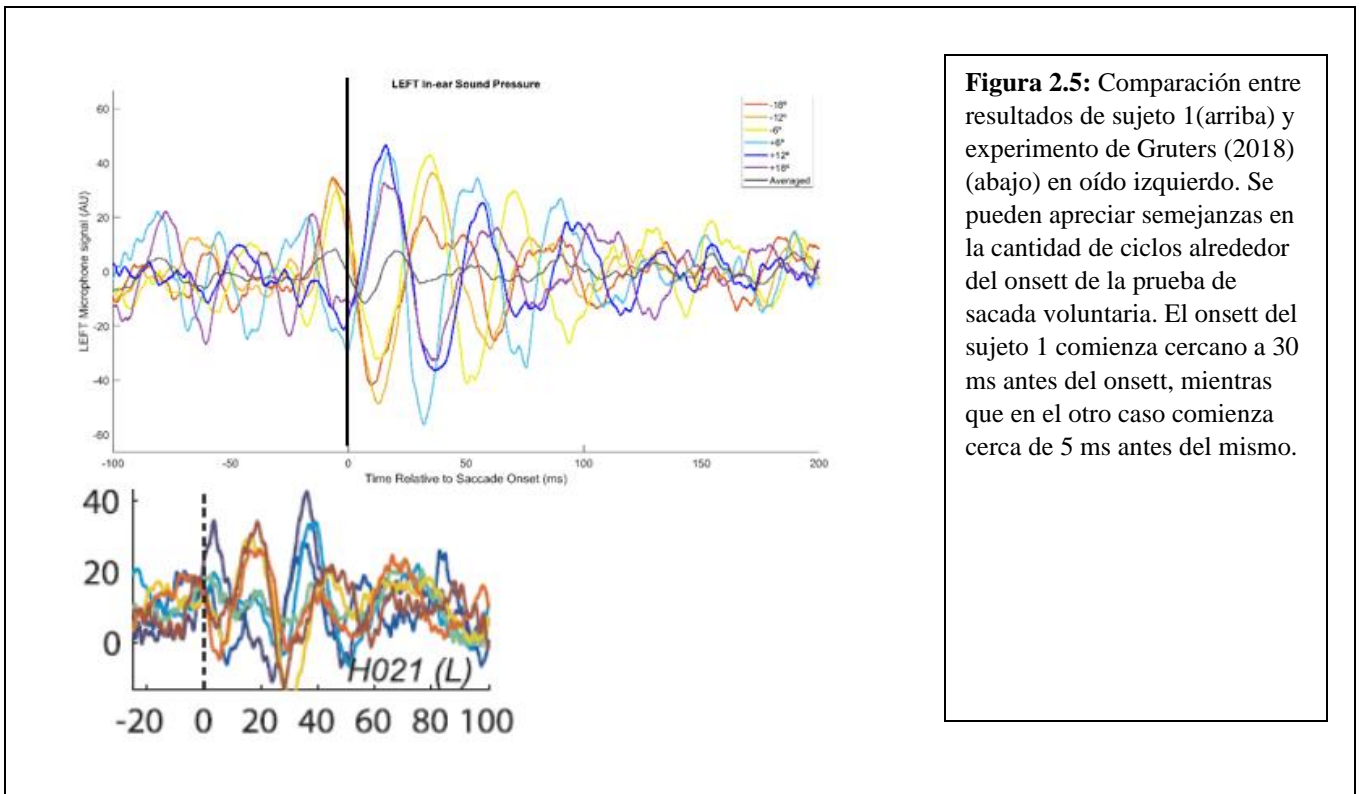
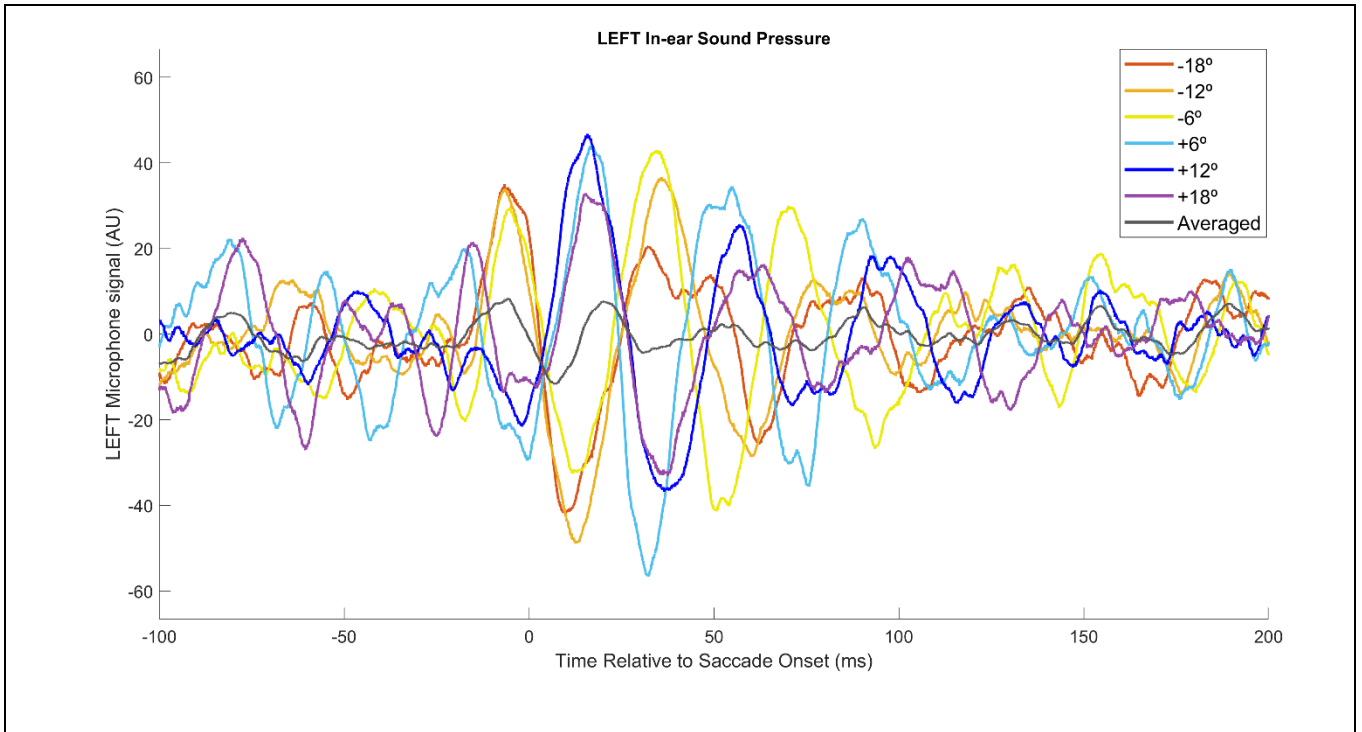
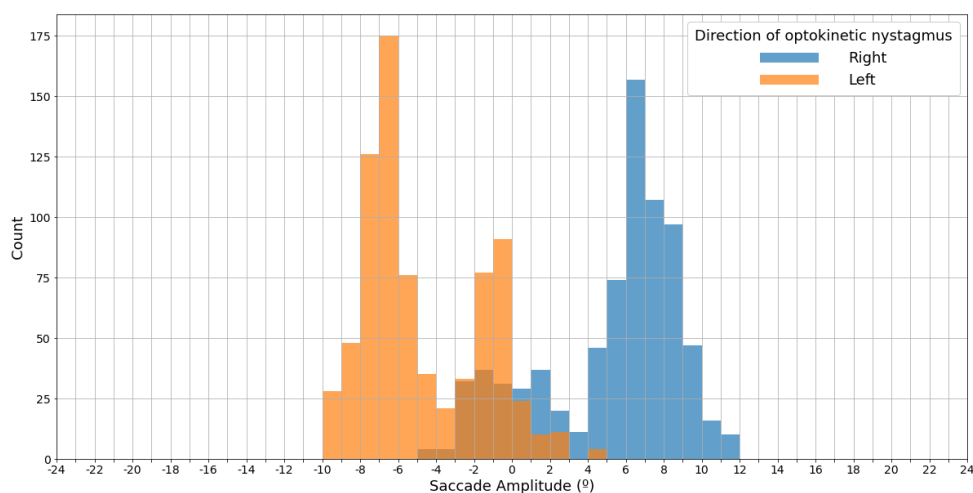


Figura 2.5: Comparación entre resultados de sujeto 1 (arriba) y experimento de Gruters (2018) (abajo) en oído izquierdo. Se pueden apreciar semejanzas en la cantidad de ciclos alrededor del onsett de la prueba de sacada voluntaria. El onsett del sujeto 1 comienza cercano a 30 ms antes del onsett, mientras que en el otro caso comienza cerca de 5 ms antes del mismo.

Experimento 2: Nistagmus optocinético

En cuanto a los resultados de nistagmus optocinético, se puede observar en la figura 3.1 el comportamiento ocular de los sujetos en este reflejo expresado en amplitud del movimiento ocular y la frecuencia con la cual éste reverbera. Para el análisis de cada uno de los sujetos se discriminaron datos, analizando sólo aquellos datos correspondientes a sacadas superiores de 3 grados con el fin de descartar aquellos movimientos ocurridos cerca de la pantalla que no manifiesten una actividad ocular significativa para comparar con el experimento 1.

Figura 3.1: Histograma de frecuencias de nistagmus optocinético en los sujetos testeados. En este histograma se observan las frecuencias (eje Y) con las que los sujetos tendieron a realizar sacadas regresivas en distintos grados del nistagmus (eje X). Las amplitudes más recurrentes se dieron entre 6 y 8 grados para direcciones izquierda y derecha entre todos los videos.



En la figura 3.2 se puede observar la presencia de OTREMOS en tareas optocinéticas. Los OTREMOS observados son de características similares a los resultados del experimento 1, manteniendo la cantidad de ciclos y temporalidad luego de iniciado el onset de la tarea

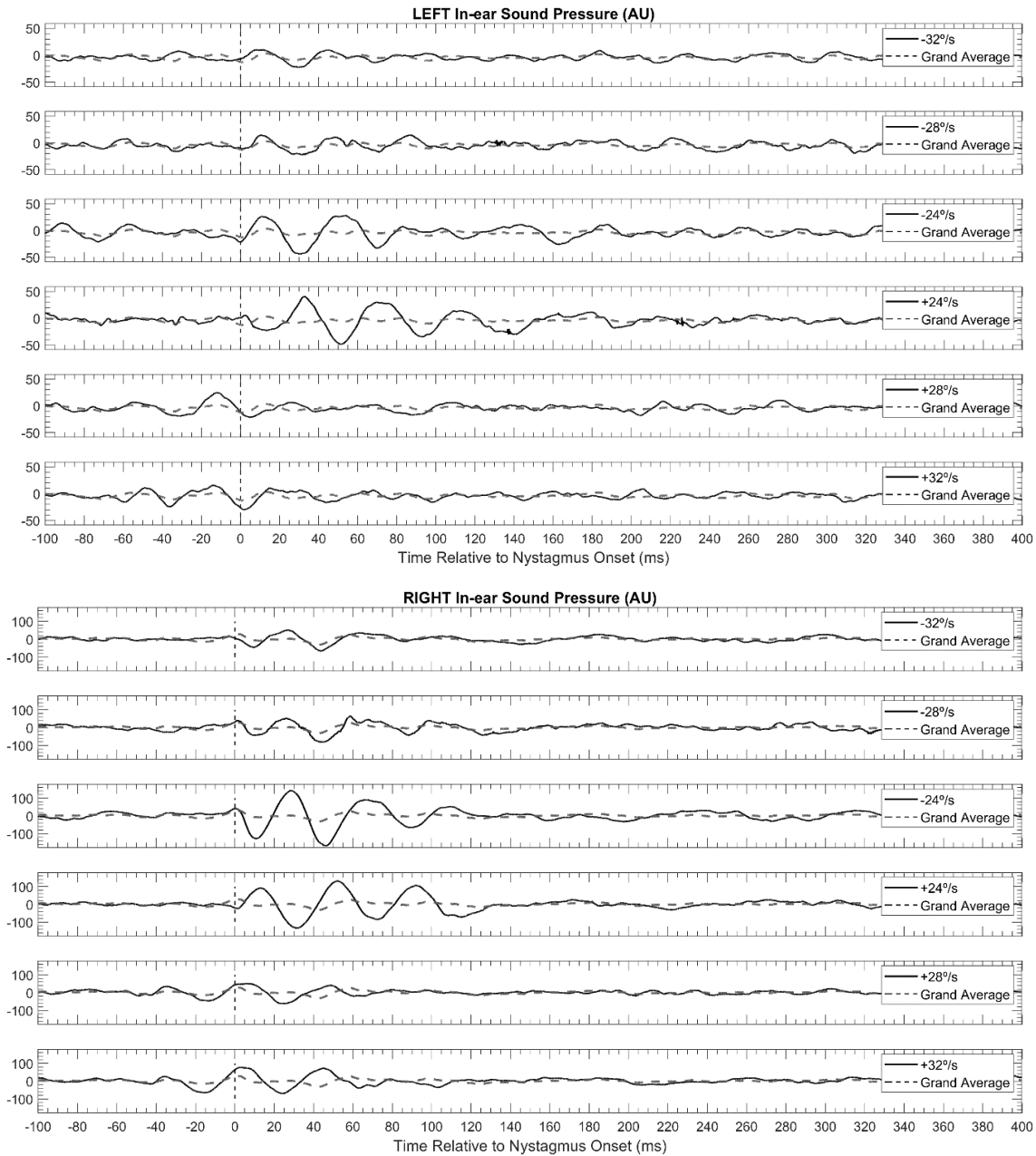
Figura 3.2: OTREMOS evocados por nistagmus optocinéticos en los 3 sujetos de estudio. Se pueden apreciar OTREMOS en la tarea refleja de forma similar a los evocados en el primer experimento.



La figura 3.3 revela los OTREMOS ocurridos en el sujeto 1 para el experimento número 2. Puede apreciarse una actividad oscilatoria cercana a 4 ciclos desde el onsett en cada estímulo, sin embargo, las oscilaciones muestran una mayor amplitud hacia los videos correspondientes a velocidad de 24°/s que muestran un movimiento de barras tanto hacia la izquierda (-) como hacia la derecha (+). En el resto de velocidades no se muestra una gran

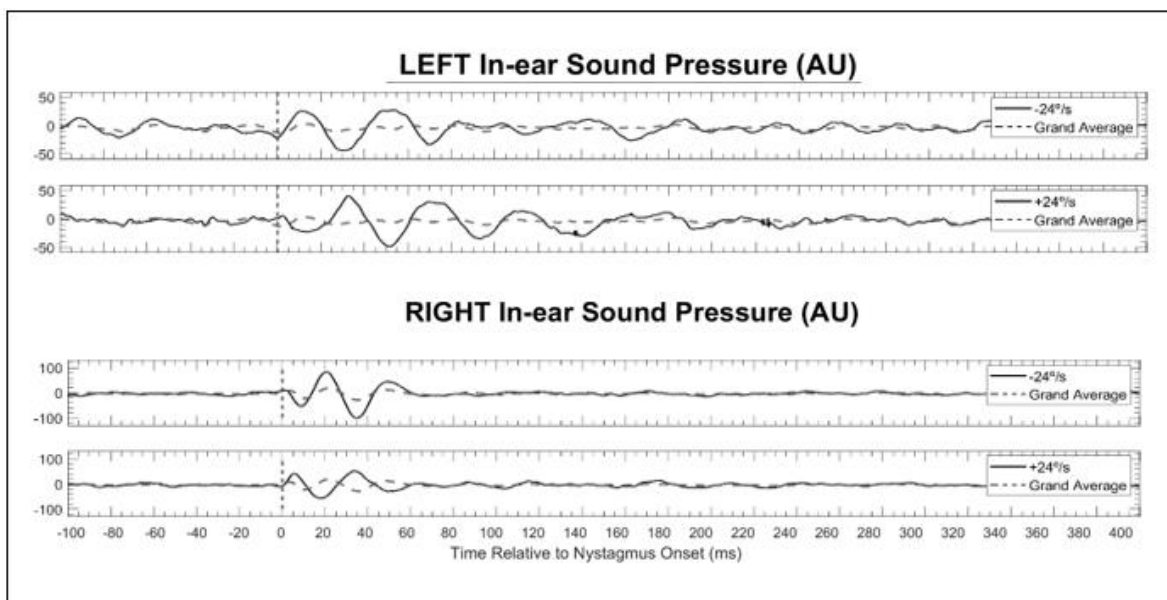
amplitud a pesar de que las oscilaciones se encuentran en el sujeto. Cabe destacar que esto se diferencia del sujeto 2, donde se pueden observar OTREMOS de una amplitud uniforme entre todos los estímulos presentados (Figura 3.2)

Figura 3.3: OTREMOS evocados por tarea refleja en sujeto 1 para oídos izquierdo y derecho. En el eje X se presenta el tiempo, mientras que en el Y se presenta la señal del micrófono. En los videos con menor velocidad ($\pm 24^\circ/\text{s}$) las oscilaciones timpánicas parecen tener una mayor amplitud.



En la figura 3.4 se observa la contralateralidad de fase en el sujeto 1 para los estímulos de -24 y +24 grados por segundo. Esta contralateralidad se puede observar de la misma forma en que ocurre en el experimento 1 para el mismo sujeto, vale decir, a medida que el movimiento ocular ocurre hacia la izquierda, el tímpano izquierdo se mueve hacia el lado contrario y viceversa.

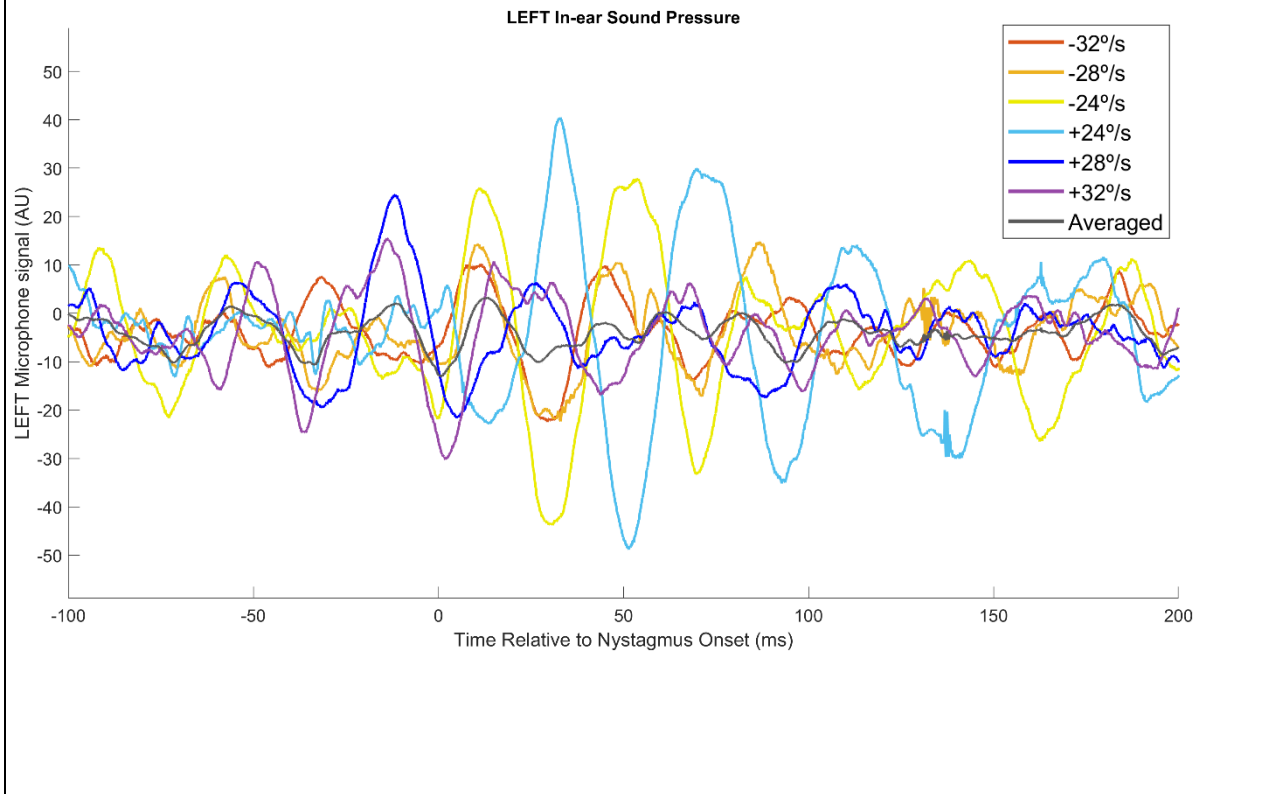
Figura 3.4: Contralateralidad de los OTREMOS en sujeto 1. En este caso se muestra contralateralidad entre oscilaciones timpánicas de oídos izquierdo y derecho en respuesta a los nistagmus optocinéticos provocados por dos videos que corren a una velocidad de $-24^\circ/\text{s}$ (hacia la izquierda) y $24^\circ/\text{s}$ (hacia la derecha). Se puede apreciar la antifase de los OTREMOS entre videos y entre oídos, por lo que es posible apreciar que el tímpano se mueve de forma contraria a la dirección en que ocurren los nistagmus.



La unión de todas las oscilaciones se refleja en la figura 3.5 que permite mostrar y comparar los OTREMOS ocurridos en los distintos videos para una sola figura. Se pueden apreciar, la misma cantidad de ciclos y un tiempo de actividad cerca de 30 ms antes del onsett al igual que ocurrió en la primera tarea. Además se puede hacer comparaciones cualitativas entre estos resultados (nuevamente del sujeto 1) y los de la investigación de Gruters (2018), donde no

se ven mayores diferencias como se ha explicado anteriormente, conservando la cantidad de ciclos luego del onset.

Figura 3.5: OTREMOs en oído izquierdo de sujeto 1. En este caso se pueden ver los OTREMOs evocados por nistagmus optocinético en videos que van desde los -32 , -28 y -24 $^{\circ}/s$ (hacia la izquierda) y $+24$, $+28$ y $+32$ $^{\circ}/s$ (hacia la derecha) contrastando la amplitud según la señal del microfono (eje Y) y el tiempo (eje X). Las amplitudes mas considerables se encuentran en aquellas tareas más lentas ($\pm 24^{\circ}/s$).



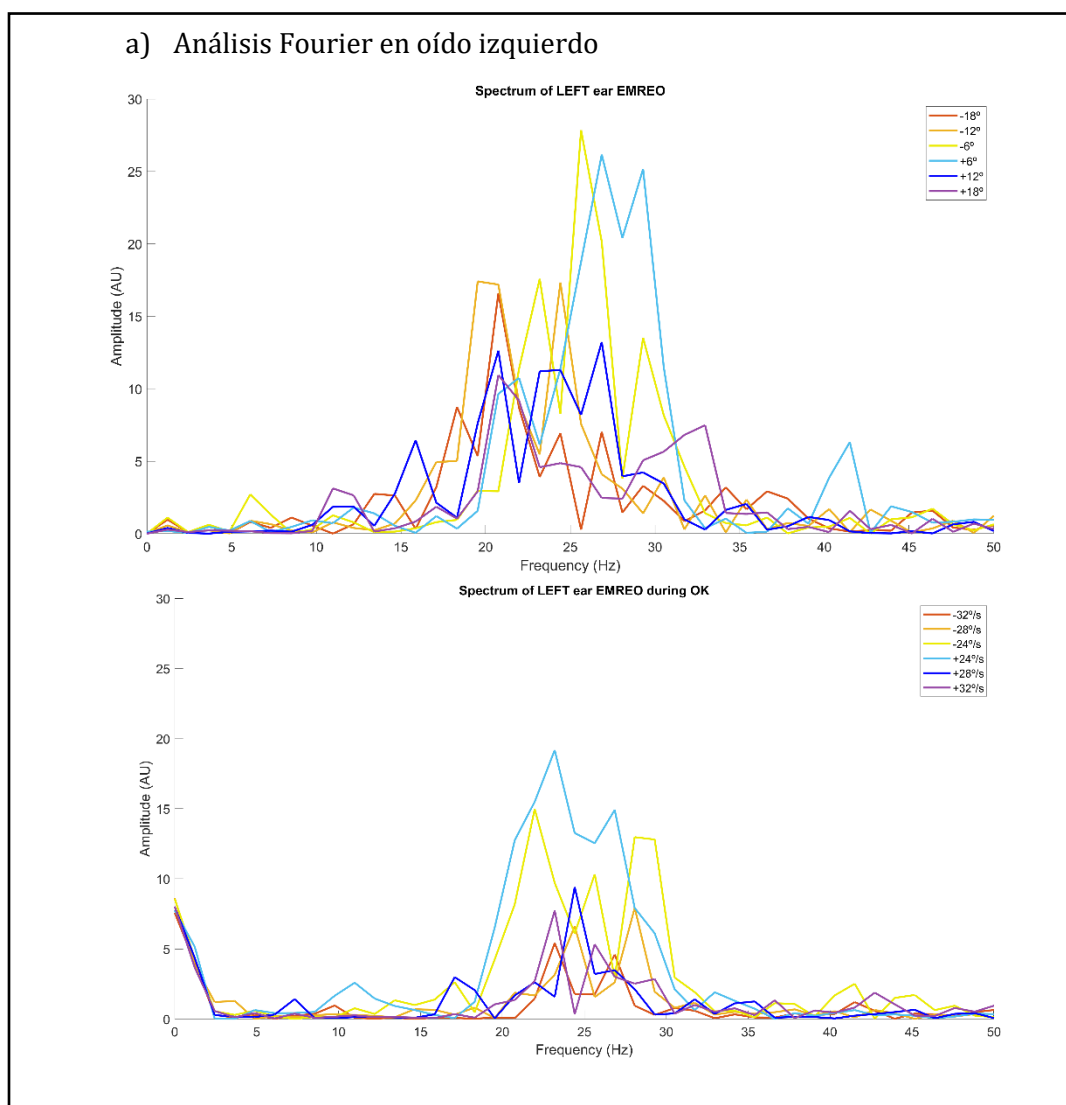
Análisis de Fourier

Con el fin de comparar relaciones de amplitud y frecuencias para los OTREMOs de ambas tareas es que se realizará un análisis de Fourier que se mostrará por sujeto 1, 2 y 3 en las figuras 4.1, 4.2 y 4.3 respectivamente, donde en la parte a) se encuentran los resultados para oído izquierdo y en la parte b) para oído derecho. En estos cuadros se muestra que, para cada caso y tanto para oído izquierdo como derecho, la amplitud de las oscilaciones timpánicas ocurridas hacia los 30 Hz es superior en tareas volitivas en comparación con tareas reflejas.

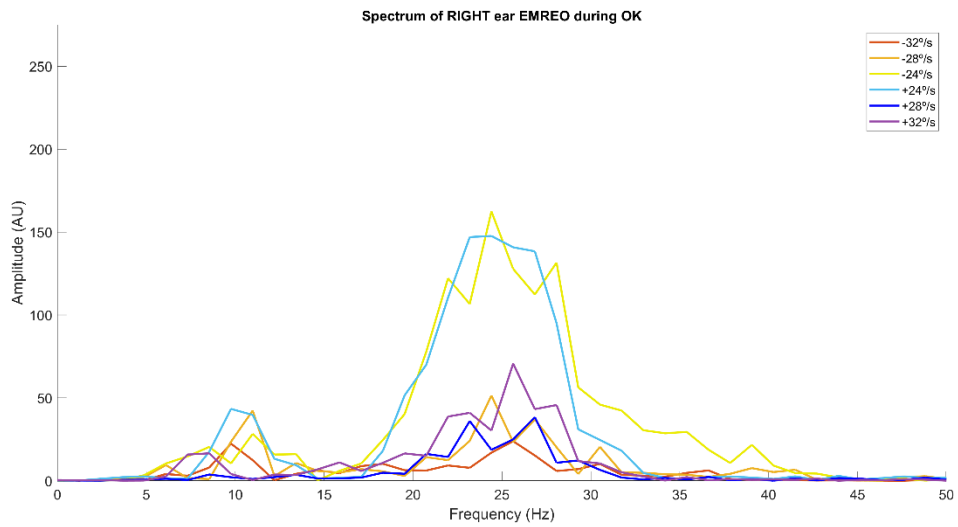
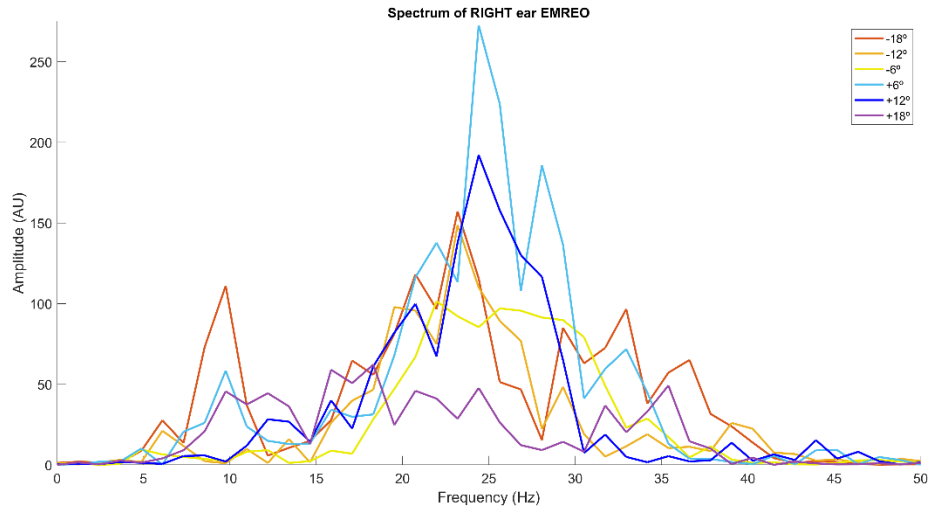
Esta diferenciación se mantiene también para frecuencias inferiores a 20 Hz mostrando que existen diferencias significativas en la caracterización de éstos OTREMOS.

Figuras 4.1: Sujeto 1 para sacadas volitivas (arriba) y nistagmus optocinético (abajo):

En estos gráficos en que se relaciona frecuencia de onda y amplitud en cada tarea se puede observar que el máximo de amplitud en cada prueba ocurre entre los 15 y 30 Hz para este sujeto, donde la amplitud es superior en las sacadas volitivas a diferencia del nistagmus, donde se puede ver una amplitud bastante menor para las mismas frecuencias.

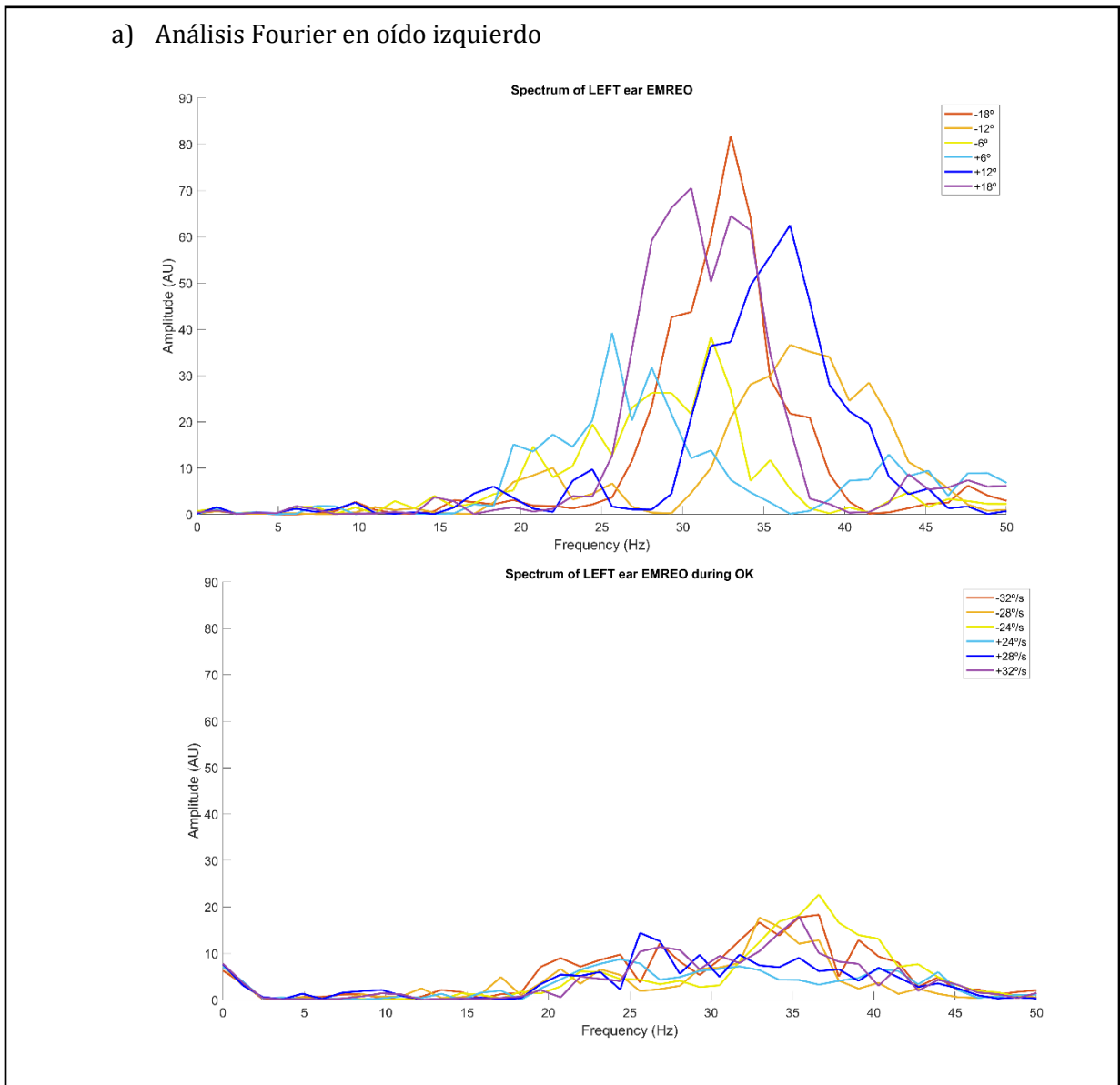


b) Análisis Fourier en oído derecho

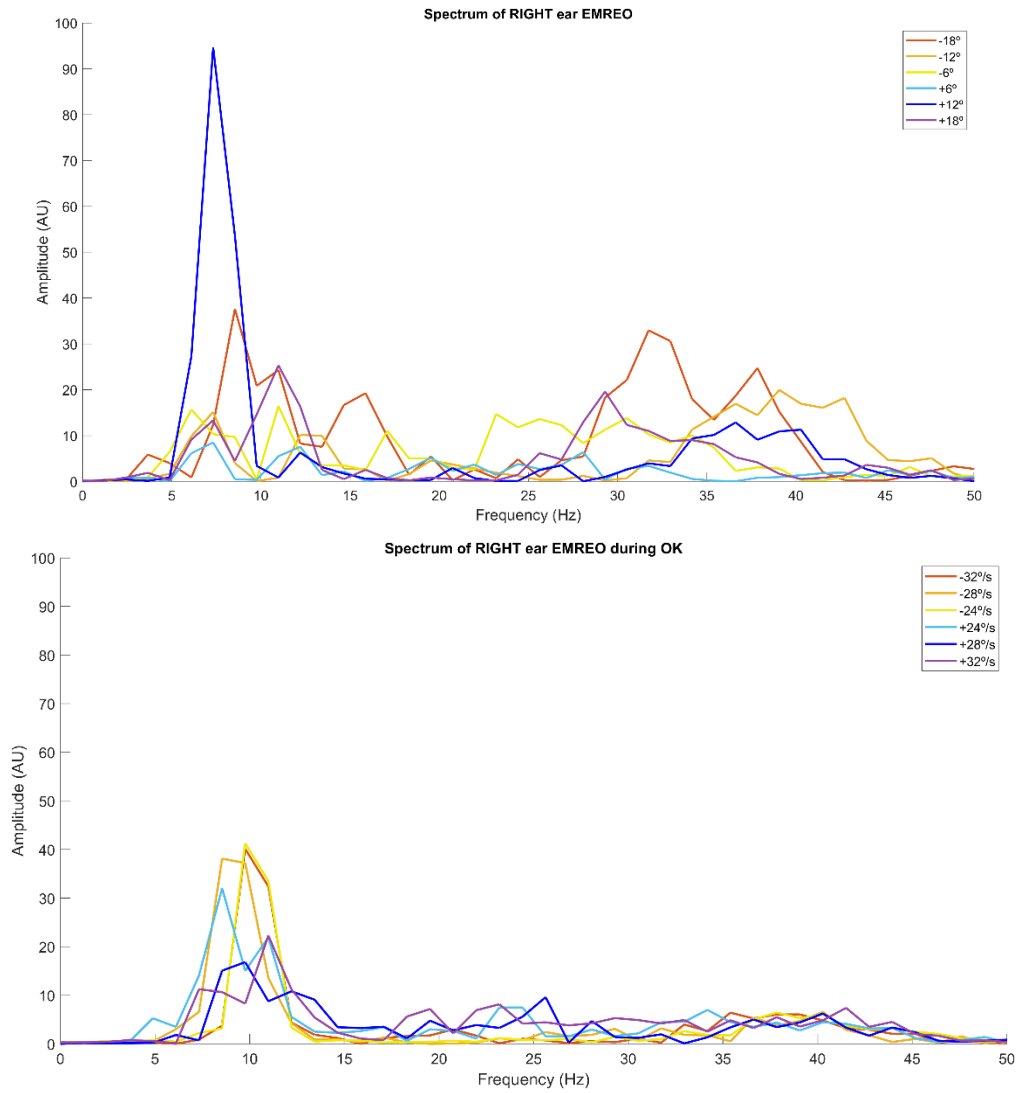


Figuras 4.2: Sujeto 2 para sacadas volitivas (arriba) y nistagmus optocinético (abajo):

En este sujeto se puede observar la misma dinámica del sujeto 1, con la diferencia de que muestra un peak de amplitud en frecuencias menores de 10 Hz para su oído derecho. A pesar de ello, la amplitud es superior para las oscilaciones ocurridas en tareas volitivas más que en el nistagmus optocinético

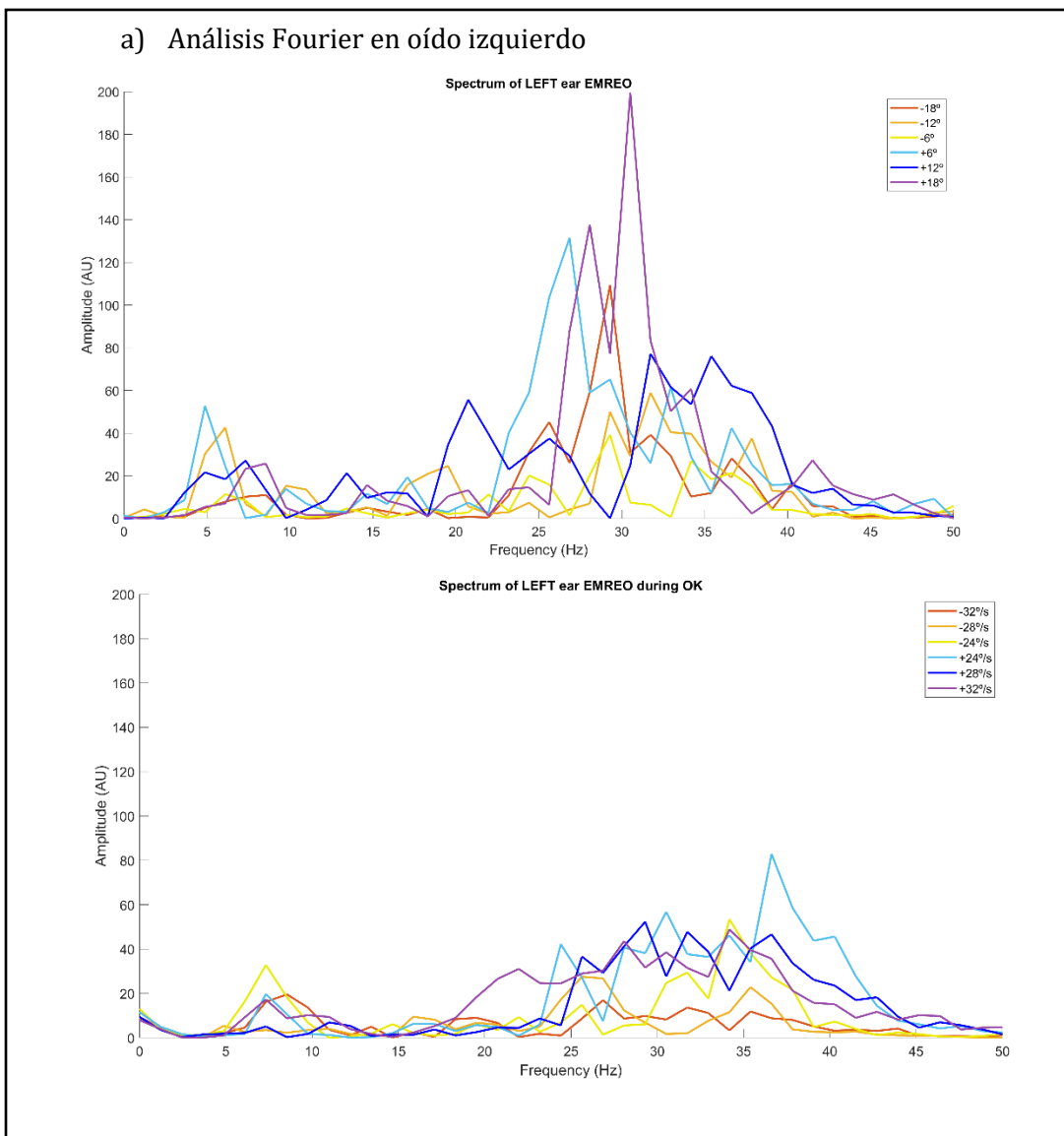


b) Análisis Fourier en oído derecho

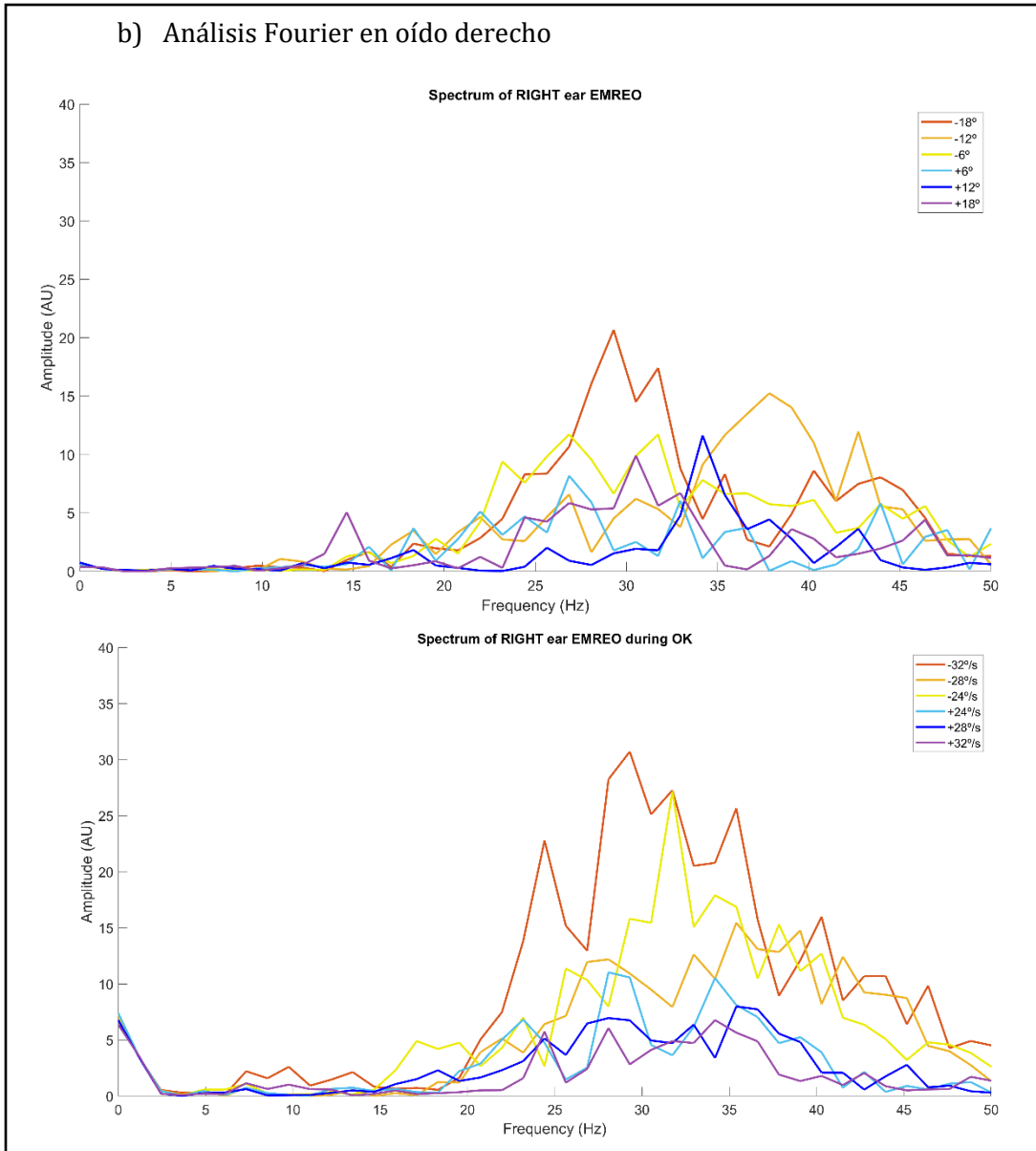


Figuras 4.3: Sujeto 3 para sacadas volitivas (arriba) y nistagmus optocinético (abajo):

Las amplitudes encuentran su peak general cerca de los 30 Hz y éstas son mayores para las tareas volitivas en el oído izquierdo, sin embargo, esto no ocurre en el oído derecho, donde pareciera que las amplitudes para el nistagmus optocinético son superiores. De éstos tres casos este es el único que se comporta de esta forma, por lo que no se descarta problemas de artefacto.

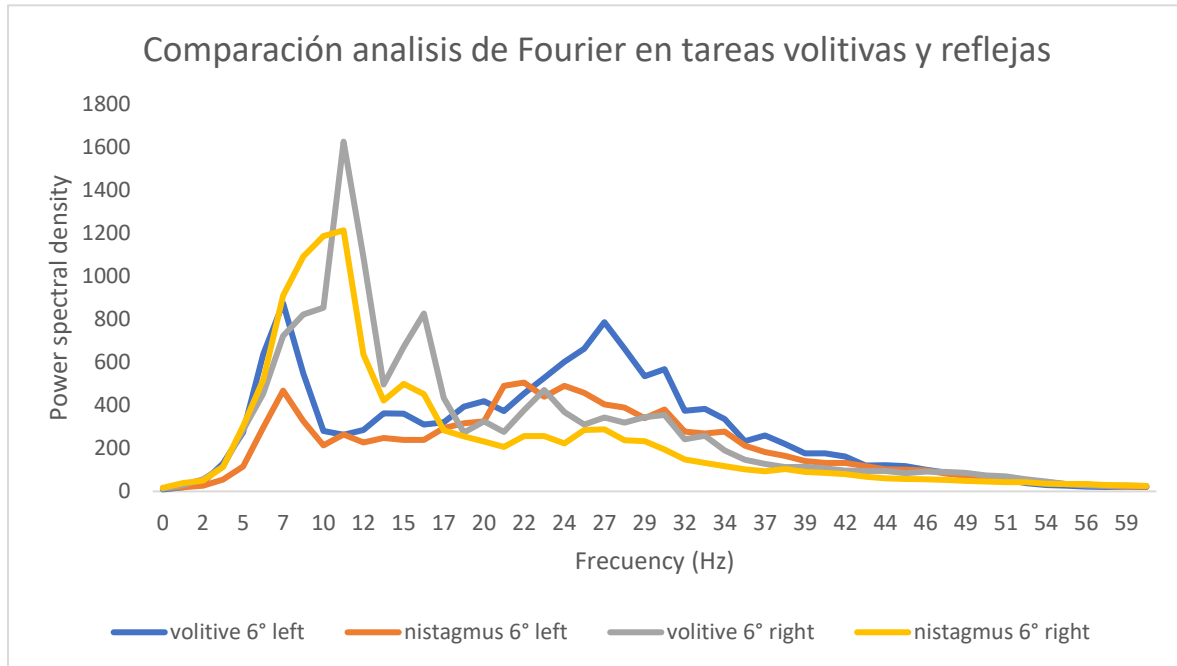


b) Análisis Fourier en oído derecho



Una vez hechos los análisis de Fourier para cada caso, es posible comparar los promedios de las amplitudes obtenidas por los tres sujetos para ambas tareas. Para realizar esta comparación se promediaron sólo las sacadas ocurridas alrededor de los 6° de amplitud para ambas tareas, ya que en la tarea del nistagmus optocinético la mayor frecuencia de nistagmus ocurrió en una amplitud de entre 6 y 8 grados de amplitud (ver figura 3.1). Los resultados de esta comparación pueden verse en la figura 5.

Figura 5: Comparación análisis de Fourier en tareas volitivas y reflejas. En el siguiente gráfico se contrastan la frecuencia y el poder espectral (amplitud) de cada una de las pruebas. En este gráfico se representan las sacadas volitivas y los nistagmus ocurridos hacia la izquierda y derecha en una amplitud de 6 grados. Se pueden apreciar dos pics en la señal que ocurren entre 7 y 12 Hz y cerca de los 30 Hz de frecuencia.



Se puede apreciar que existe una diferencia de amplitudes entre los OTREMOS dirigidos en direcciones opuestas, ya que para ambas tareas las amplitudes vistas en los OTREMOS dirigidos hacia la derecha son distintas a aquellas ocurridas en OTREMOS evocados hacia la izquierda, lo cual se ve con mayor notoriedad en los pics ocurridos cerca de los 10 y 30 Hz.

Cerca de los 30 Hz (frecuencia de los OTREMOS) se puede visualizar un orden en el cual las dos mayores amplitudes las poseen los OTREMOS evocados por movimientos hacia la izquierda, mientras que las dos menores ocurren por movimientos oculares hacia la derecha. Entendiendo esto, se puede ver que para ambos casos existe una mayor amplitud para las tareas volitivas, dejando siempre a las tareas reflejas con menor amplitud por lo que podría ser posible, en base a los datos de éstos tres sujetos, reflexionar que las tareas volitivas generan OTREMOS con mayor amplitud que un movimiento reflejo.

Discusiones

Los resultados anteriormente expuestos muestran que el mecanismo de modulación sensorial definido como OTREMOS podría encontrarse tanto en mecanismos volitivos como reflejos, ya que tanto en el experimento 1 como en el experimento 2 mostraron similares características cuando se trata de los ciclos oscilatorios tanto antes como después de iniciar el onsett de cada tarea.

Cabe reconocer que la presencia de OTREMOS en tareas reflejas es más bien sorprendente, sin embargo, podría ocurrir que existan problemas en la instrucción de la tarea, ya que se les informaba anteriormente a las personas que habría un video de barras moviéndose que podría inducir el nistagmus optocinético. Otra posibilidad podría ser que exista voluntariedad en la fase lenta del movimiento, lo cual podría influir en este mecanismo a pesar de que lo revisado en los resultados era el movimiento involuntario de la fase rápida del nistagmus.

Por otro lado, la diferenciación entre los OTREMOS ocurridos en ambas tareas no se muestra de forma explícita sino una vez que se hacen las comparaciones entre el análisis de Fourier de cada prueba, donde las amplitudes entre estas son bastante distintas una de otra siendo aquellas obtenidas del primer experimento más amplias que las obtenidas por el segundo.

La comparación final entre las amplitudes de ambas tareas se complejiza debido a que, en la prueba de nistagmus optocinético es difícil controlar la amplitud con la que los sujetos realizan la fase rápida de la sacada, por lo que no fue posible comparar ambas amplitudes en sacadas más amplias que 6° dejando una incertidumbre sobre las amplitudes para sacadas más amplias.

Las oscilaciones timpánicas relacionadas con movimientos oculares, por lo tanto, no son exclusivas para tareas volitivas o reflejas según lo visto en éstos tres casos, pero se diferencian entre sí mostrando que la cognición podría cumplir un rol activo en este mecanismo de modulación sensorial ocurrida a nivel periférico pudiendo generar una relación con la ubicación visoespacial.

Conclusión

En base a los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis expuesta en ésta investigación ya que es posible concluir que las oscilaciones timpánicas relacionadas con movimientos oculares (OTREMOs) son mecanismos observables tanto en tareas volitivas como reflejas para la muestra de este estudio, pero con componentes de amplitud distintas para cada una, reflejando un posible rol de la cognición relacionado con la localización visoespacial de algún objetivo emisor de sonido en el medio próximo al ser humano.

Referencias Bibliográficas

- Atilgan, H., Town, S. M., Wood, K. C., Jones, G. P., Maddox, R. K., Lee, A. K. C., & Bizley, J. K. (2018). Integration of Visual Information in Auditory Cortex Promotes Auditory Scene Analysis through Multisensory Binding. *Neuron*, 97(3), 640-655.e4. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.12.034>
- Carmona, S., Zalazar, G. J., & Zuma-Maia, F. (2018). El abecedario de los movimientos oculares. *Revista ORL*, 0(0), 7. <https://doi.org/10.14201/orl.17963>
- Dragicevic, C. D., Marcenaro, L., Navarrete, B., Robles, M., Delano, P. H., &. (2019). Oscillatory infrasonic modulation of the cochlear amplifier by selective attention. *Plos One*, 14(1), e0208939. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208939>
- Erazo, A., & Magister, S. (n.d.). *Dificultades en integración sensorial, afectividad y conducta en estudiantes de una escuela pública*. 143–165.
- Gruters, K. G., Murphy, D. L. K., Jenson, C. D., Smith, D. W., Shera, C. A., & Groh, J. M. (2018). The eardrums move when the eyes move: A multisensory effect on the mechanics of hearing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(6), E1309–E1318. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717948115>
- Hazan, Y., Kra, Y., Yarin, I., Wagner, H., & Gutfreund, Y. (2015). Visual-auditory integration for visual search: a behavioral study in barn owls. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 9(February), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fnint.2015.00011>
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2018). *Principles of neural science 5th edition*. New York: McGraw-Hill, Health Professions Division.
- Kretschmer, F., Tariq, M., Chatila, W., Wu, B., & Badea, T. C. (2017). Comparison of optomotor and optokinetic reflexes in mice. *Journal of Neurophysiology*, 118(1), 300–316. <https://doi.org/10.1152/jn.00055.2017>
- Marian, V., Lam, T. Q., Hayakawa, S., & Dhar, S. (2018). Top-down cognitive and linguistic influences on the suppression of spontaneous otoacoustic emissions. *Frontiers in Neuroscience*, 12(JUN), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00378>
- Mrowinski, D., Gerull, G., Nubel, K., y Scholz G. (1995). Masking and pitch shift of tone bursts and click by low-frequency tones. *Hearing Research* 85. 95-102
- Munoz, D. P. (2002). ScienceDirect.com - Progress in Brain Research - Commentary: Saccadic eye movements: overview of neural circuitry. *Progress in Brain Research*,

140. Retrieved from [https://ac.els-cdn.com/S0079612302400441/1-s2.0-S0079612302400441-main.pdf?_tid=1dabbdcb-b8de-4225-b7ef-01ec267116e5&acdnat=1549214976_2bed18353a68db57aa94c026abb9252a%0Ahttp://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079-6123\(02\)40044-1%5Cnpapers2://pub](https://ac.els-cdn.com/S0079612302400441/1-s2.0-S0079612302400441-main.pdf?_tid=1dabbdcb-b8de-4225-b7ef-01ec267116e5&acdnat=1549214976_2bed18353a68db57aa94c026abb9252a%0Ahttp://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079-6123(02)40044-1%5Cnpapers2://pub)

Murphy, D., King, C., Schlebusch, S., Shera, C., Groh, J. (2020). Evidence for a system in the auditory periphery that may contribute to linking sounds and images in space. *Biorxiv*. Retrieved from <https://doi.org/10.1101/2020.07.19.210864>

Navarre (Spain). Departamento de Salud., L., Villanueva, A., & Cabeza, R. (2009). Fisiopatología y registro de movimientos oculares. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 32, 9–26. Retrieved from http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272009000600002

Pollock, N. (2011). Sensory integration: A review of the current state of the evidence. *Occupational therapy now*, 11(5),5-9. Recuperado en <http://autismodiario.org/wp-content/uploads/2011/05/Sensory-Integration.pdf>

Schurgin, M. W., Nelson, J., Iida, S., Ohira, H., Chiao, J. Y., & Franconeri, S. L. (2014). Eye movements during emotion recognition in faces. *Journal of Vision*, 14(13), 14–14. <https://doi.org/10.1167/14.13.14>

Shrem, T., Murray, M. M., & Deouell, L. Y. (2017). Auditory-visual integration modulates location-specific repetition suppression of auditory responses. *Psychophysiology*, 54(11), 1663–1675. <https://doi.org/10.1111/psyp.12955>

Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2017). Five factors that guide attention in visual search. *Nature Human Behaviour*, 1(3), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41562-017-0058>

