



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

**Psicología y Música: la piel como sistema de
recepción del sonido en personas con sordera**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN PSICOLOGÍA

P R E S E N T A:

DENI REYES PÉREZ



DIRECTORA:

Maestra María Concepción Morán Martínez

REVISOR:

Doctor Enrique Octavio Flores Gutiérrez



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**Si las puertas de la percepción quedaran depuradas,
todo se habría de mostrar al hombre tal cual es: infinito.**

William Blake

Agradecimientos

Vicenta, Sergio y David por el cariño y el apoyo que siempre me han tenido.

Concepción por la confianza y ser guía en este mar de conocimiento.

Amigos de años, de carrera, del cubículo de artes musicales, conocidos y desconocidos, a no son nada, colegas, por estar al pendiente de la tesis .

A la UNAM por brindar el conocimiento y nuevas miradas ante un mundo de
diversas posibilidades.

ÍNDICE

Resumen.....	1
Introducción.....	2
1. Marco Teórico	
1.1 Sonido	
1.1.1 Definición y características del sonido.....	4
1.1.2 Recepción auditiva del sonido.....	7
1.1.3 Recepción táctil del sonido.....	14
1.2 Sordera	
1.2.1 ¿Qué es la sordera?.....	22
1.2.2 Clasificación de la sordera.....	24
1.2.3 Etiología.....	26
1.3 Recapitulación.....	29
2. Método	
2.1 ¿Qué es un estado del arte?.....	31
2.2 Justificación.....	32
2.3 Objetivos.....	33
2.4 Procedimiento.....	33
3. Resultado.....	36
4. Discusión y conclusiones.....	51

Referencias.....	57
Apéndice	
I. Filogenia del sistema auditivo y percepción en otras especies.....	65
II. Estado actual de la sordera en México.....	67
III. Otros estudios realizados en personas con sordera.....	73
Referencias del apéndice.....	81

Resumen

El sonido es la materia prima de la música, pero ¿qué es el sonido?, los sonidos que escuchamos son el resultado de la vibración de un objeto, provocando el movimiento de partículas del medio que viajan a través de un espacio, condensándose y expandiéndose (Tan, Pfordresher & Harre, 2010). El sistema auditivo es el encargado de traducir esta energía mecánica en señales nerviosas, para que las áreas auditivas se encarguen de integrarla y, con ayuda de otras áreas de la corteza, se realice una interpretación (Purves et al., 2008). Se sabe por conocimiento popular, que las personas con sordera perciben el sonido mediante la piel; algunos personajes como Evelyn Glennie, Hellen Keller, Ludwig van Beethoven son conocidas por lo anterior. Además, el avance tecnológico ha permitido indagar más acerca de cómo funciona el mundo, generando conocimiento de una manera más rápida, y surge la cuestión ¿qué tanto se ha realizado investigación científica en este campo? Por esta razón, cobra importancia la construcción de un estado del arte acerca de la recepción del sonido mediante la piel en personas con sordera, con el fin de conducir a un mejor entendimiento del fenómeno en este sector de la población.

Palabras clave: Sordera, Sonido, Recepción vibro-táctil, Somatosensorial, Cognición de la música.

Introducción

La sordera es la privación total o parcial de la capacidad de oír, pero ¿solo escuchamos mediante los oídos?, no, las personas con sordera perciben las vibraciones del sonido mediante la piel, ayudados de la visión. Un vivo ejemplo de esto es Evelyn Glennie (2003), percussionista sorda, quien menciona que “escuchar es una forma de tacto, el sonido viene a ti, puedes sentirlo atravesar tu cuerpo y algunas veces casi golpea tu rostro”.

Dado lo anterior, este trabajo presenta la realización de un estado del arte acerca de la recepción del sonido mediante la piel, en personas con sordera. Se incluyen artículos, tesis, libros, ponencias, noticias y avances tecnológicos, obtenidos a través de las siguientes bases de datos: EBSCO, Ovid, Elsevier, Scopus, Science Direct, Oreon, Pubmed, Jstor, Springer, Oxford Music Online y World Wide Science, entre otras.

El trabajo está estructurado de la siguiente manera: un primer capítulo en el que se desarrolla el marco teórico, que inicia explicando diferentes conceptos sobre la naturaleza y características del sonido, la recepción del sonido a nivel auditivo y somatosensorial, y una descripción de la sordera, sus características y etiología. En el segundo capítulo se expone la metodología, se aborda cómo se realizó la búsqueda de artículos y cuáles fueron los criterios de inclusión. Posteriormente se exponen los resultados en tablas, se hace un recuento de los artículos encontrados, y estos son expuestos cronológicamente, indicando sus objetivos y hallazgos.

Posteriormente se desarrolla una discusión sobre la importancia de considerar la piel como un sistema de recepción del sonido, y se presentan las conclusiones del trabajo. En la parte final se incluyen tres apéndices que tratan de la filogenia del sistema auditivo y la percepción del sonido en otras especies; la situación actual de la sordera en México, y otras investigaciones realizadas en personas con sordera.

1. Marco Teórico

Para llegar a un mejor entendimiento de cómo es posible una recepción táctil del sonido, mediante la piel, primero se esbozan algunos conceptos básicos que serán útiles para explicar el procesamiento a nivel cortical. En primer lugar hay que aclarar que cuando se habla de sonido, se hace desde una perspectiva física. Además, con fines prácticos, se habla de recepción y no percepción del sonido, será en potenciales investigaciones futuras cuando se aborden cuestiones de percepción musical.

Este trabajo representa un primer paso, de otros muchos necesarios para alcanzar el objetivo final: entender de qué manera las personas con sordera congénita tienen una percepción y/o experiencia musical a través de una conciencia corporal de la piel.

1.1 Sonido

1.1.1 Definición y características del sonido

Imagine que se encuentra en una biblioteca y, como tal, le piden que guarde silencio por respeto a los demás, pero entre pensamientos y reflexiones se percata de que no deja de haber sonido, desde su respiración hasta la de las personas en su entorno, el cambio de páginas de los libros, las pisadas y demás. Son diversos los personajes que se han dedicado a estudiar el sonido, uno de ellos ha sido

Pitágoras, quién explicó la relación que existe entre las notas musicales y la longitud de una cuerda; Galileo Galilei planteó las características de la onda sonora; Herman von Helmholtz desarrolló un modelo de cómo las ondas pueden ser procesadas por el oído, a través de la cadena de huesecillos que actúan como palanca (Goldstein, 2011).

La acústica es una rama de la Física, dedicada a estudiar la producción, transmisión y recepción del sonido. Se tiene entendido que el sonido es la materia prima de la música, pero ¿qué es el sonido? los sonidos que escuchamos son el resultado de la vibración de un objeto, provocando el movimiento de partículas del medio, que viajan a través de un espacio o medio, condensándose y rarificándose (expandiéndose); en otras palabras, es una onda de propagación de energía, que llega a un receptor (Tan et al., 2010).

La onda de sonido se propaga con una velocidad de 333 metros por segundo a través del aire. Esta velocidad es mucho más rápida en el agua y cuerpos sólidos, pues las ondas sonoras viajan más rápido al incrementarse la densidad del medio. También hay que tener en cuenta en qué forma viaja la onda sonora, si es de manera longitudinal o transversal, correspondiente a gases y sólidos respectivamente (Purves et al., 2004/2007¹).

¹ Según el manual APA (2010), cuando se encuentran dos años en la misma cita, el primero corresponde al año de publicación original y el segundo al año de la publicación en castellano. Nótese que en la lista de referencia, aparecen los datos de la versión en castellano y posterior en la publicación original.

Es útil visualizar la onda sonora como una onda sinusoidal, que presenta las características de valles y crestas, que corresponden a los puntos máximo y mínimo que alcanza la onda, lo anterior es conocido como la amplitud de onda o intensidad, y se mide en decibeles (dB). Además, la onda contiene un número de oscilaciones o ciclos, refiriéndose a la expansión y compresión, medida en Hertz (Hz), en términos físicos es la frecuencia de onda y en términos perceptivos se refiere al tono. El poder diferenciar entre dos instrumentos como la guitarra y el violín, o saxofón y clarinete se debe a que presentan diferentes timbres, éste es definido como la combinación de frecuencias que ocurren simultáneamente (Tan et al., 2010).

Los sonidos compuestos de onda sinusoidal única (tonos puros) son raros de encontrar, la mayoría de los sonidos presentan formas de ondas complejas, pueden modelarse como la suma de las ondas sinusoidales de amplitudes, frecuencias y fases variadas (Purves et al., 2004/2007). En Ingeniería, con la aplicación de algoritmos se logra descomponer una señal compleja en sus componentes sinusoidales, esto se conoce como transformación de Fourier. En el sistema auditivo, el oído interno es el encargado de realizar esta transformación al descomponer la onda en sus tonos, como se describe en la siguiente sección.

1.1.2 Recepción auditiva del sonido

Una vez que se ha producido el estímulo externo, éste llega a un receptor sensorial, en este caso el oído es el encargado de transformar la energía mecánica del medio en señal nerviosa, lo anterior es conocido como transducción. El rango de vibraciones que pueden estimular las células receptoras del oído se encuentra entre 20 y 20.000 Hz, el rango de recepción se disminuye conforme uno va creciendo, a principios de la edad media se pierden principalmente las frecuencias altas, hacia los cincuenta años algunas personas ya no escuchan más de 10.000 Hz. Entre las funciones principales de la audición se encuentran: detectar el sonido, determinar su localización y su reconocimiento, refiriéndose a qué significado y relevancia tienen (Carlson, 2003/2009).

De acuerdo con Tan et al., 2010, Carlson 2003/2009 y Kandel, Schwartz, Jessell, Siegelbaum y Hudspeth, 2000/2001, las partes del oído son:

- 1) Oído externo, compuesto por:
 - a) La oreja o pabellón auricular. Presenta una resonancia de 4kHz aproximadamente, la superficie arrugada posee la función de captar mejor los sonidos de distintas frecuencias cuando proceden de posiciones distintas, pero específicas con relación a la cabeza.
 - b) El conducto auditivo. Actúa como un resonador, amplifica la onda de sonido y la conduce hacia el tímpano o membrana timpánica.

c) La membrana timpánica. Con forma cónica favorece la transmisión de frecuencias de más de 1kHz, mide alrededor de 9mm de diámetro (corresponde al tamaño de una avellana).

2) Oído medio, lo conforman:

a) Cavidad aérea. Conecta con la cavidad bucal por medio de la trompa de Eustaquio, es en donde se encuentra la cadena de huesecillos (martillo, yunque y estribo).

b) Los canales semicirculares. En ellos hay líquido que, al momento de moverse, nos informan la posición de la cabeza.

c) La ventana redonda. Separa el conducto coclear de la cavidad del oído medio, sirve como amortiguador y regulador del sonido.

3) Oído interno, lo integran:

a) La ventana oval. Es una abertura del oído interno, donde impacta la energía mecánica proveniente de los huesecillos.

b) La cóclea. Es una estructura enrollada en forma de caracol, cuenta con un diámetro transversal de unos 9mm, se encuentra dividida en tres secciones: rampa vestibular, rampa media y rampa timpánica. Se encuentra llena de fluido (endolinfa y perilinfa); dentro de la rampa media se encuentra el órgano de Corti.

c) Nervio auditivo. Corresponde al VIII par craneal, al igual que la cóclea cuenta con una representación tonotópica, (que es una mapa de frecuencias audibles) al igual que la membrana basilar y la corteza auditiva.

En la siguiente figura² se ilustra las diferentes partes del oído humano.

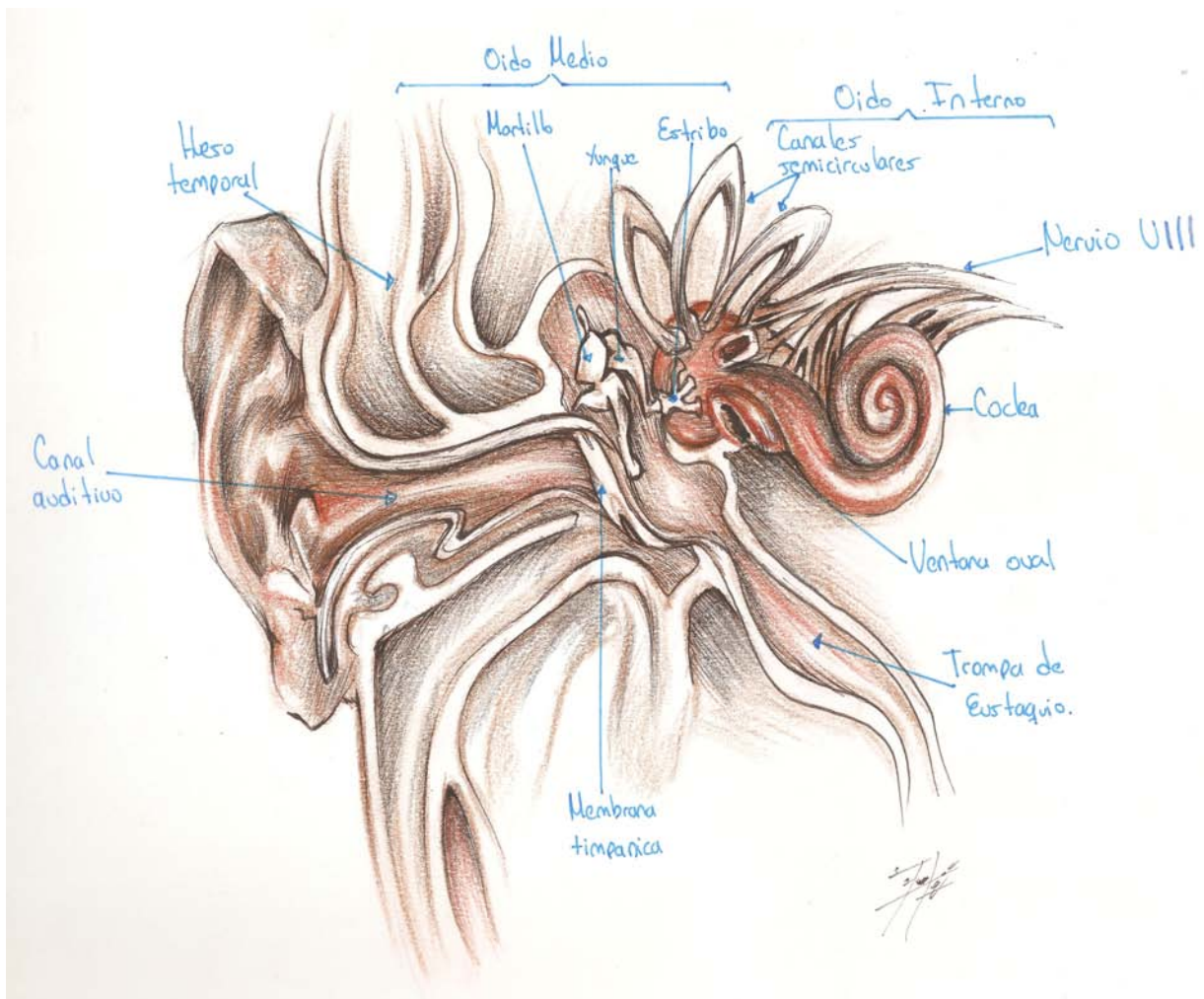


Figura 1. Partes del oído.

Los sonidos son captados por el pabellón auricular y viajan a través del conducto auditivo hasta impactar con la membrana timpánica, ésta desencadena el movimiento del martillo, yunque y estribo, transmitiendo la vibración a la ventana oval que conecta con la cóclea. En la rampa media de la cóclea se encuentra el

² Todas las imágenes que se presentan fueron realizadas por el Psicólogo Oscar Caligua.

órgano de Corti (Figura 2), que está constituido por la membrana tectorial y la membrana basilar, en esta última se descompone el estímulo acústico organizado tonotópicamente. Entre estas dos membranas se encuentran las células ciliadas externas (tres filas a lo largo de la cóclea) e internas (unas sola fila), que contienen cilios (prolongaciones finas), y son las encargadas de transformar la energía mecánica en energía nerviosa.

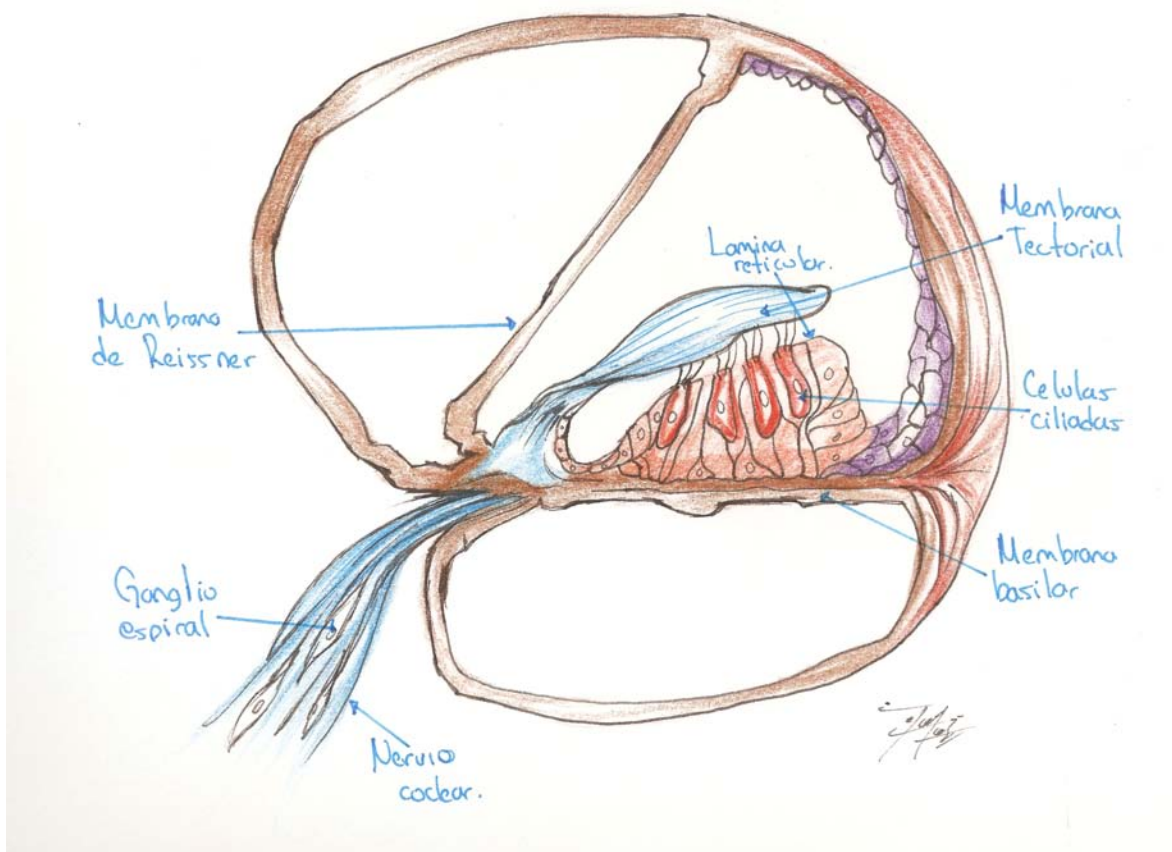


Figura 2. Órgano de Corti.

Mediante la oscilación hacia arriba y hacia abajo de las membranas basilar y tectorial, se provoca una inclinación hacia el más alto de un grupo de cilios (estos se encuentran unidos a través de placas de inserción que contienen canales iónicos), esto aumenta la entrada de pequeñas cantidades de cationes K^+ Y Ca^{2+} , provocando la despolarización de la membrana. Cuando la inclinación es en dirección opuesta (hacia el cilio más corto), se cierran los canales iónicos, la entrada de cationes disminuye y la membrana entra en hiperpolarización (Kandel et al., 2000).

Una vez que se han generado los potenciales de acción (son breves impulsos eléctricos, que son la base de la conducción de la información nerviosa), (Carlson, 2003/2009, p.45) debido a la despolarización de la membrana, se envía la información mediante el nervio auditivo que comprenden las prolongaciones centrales de células ganglionares, éstas se ramifican y envían al núcleo coclear del bulbo ventral, dorsal y lateral, de ahí salen axones al complejo olivar superior, tiene el rol de detectar la ubicación de la fuente sonora y sólo codifica sonidos homolateralmente. Posteriormente la señal es enviada contralateralmente hacia el lemnisco lateral, que procesa aspectos temporales del estímulo, y se proyectan axones hacia el colículo inferior, que interactúan con el sistema motor. Después la información es enviada hacia el núcleo geniculado medial del tálamo, que analiza pequeñas modulaciones rítmicas, y a su vez envía axones hacia la corteza auditiva del lóbulo temporal (Purves et al., 2008). Lo anterior es conocido como la vía auditiva (Figura 3).

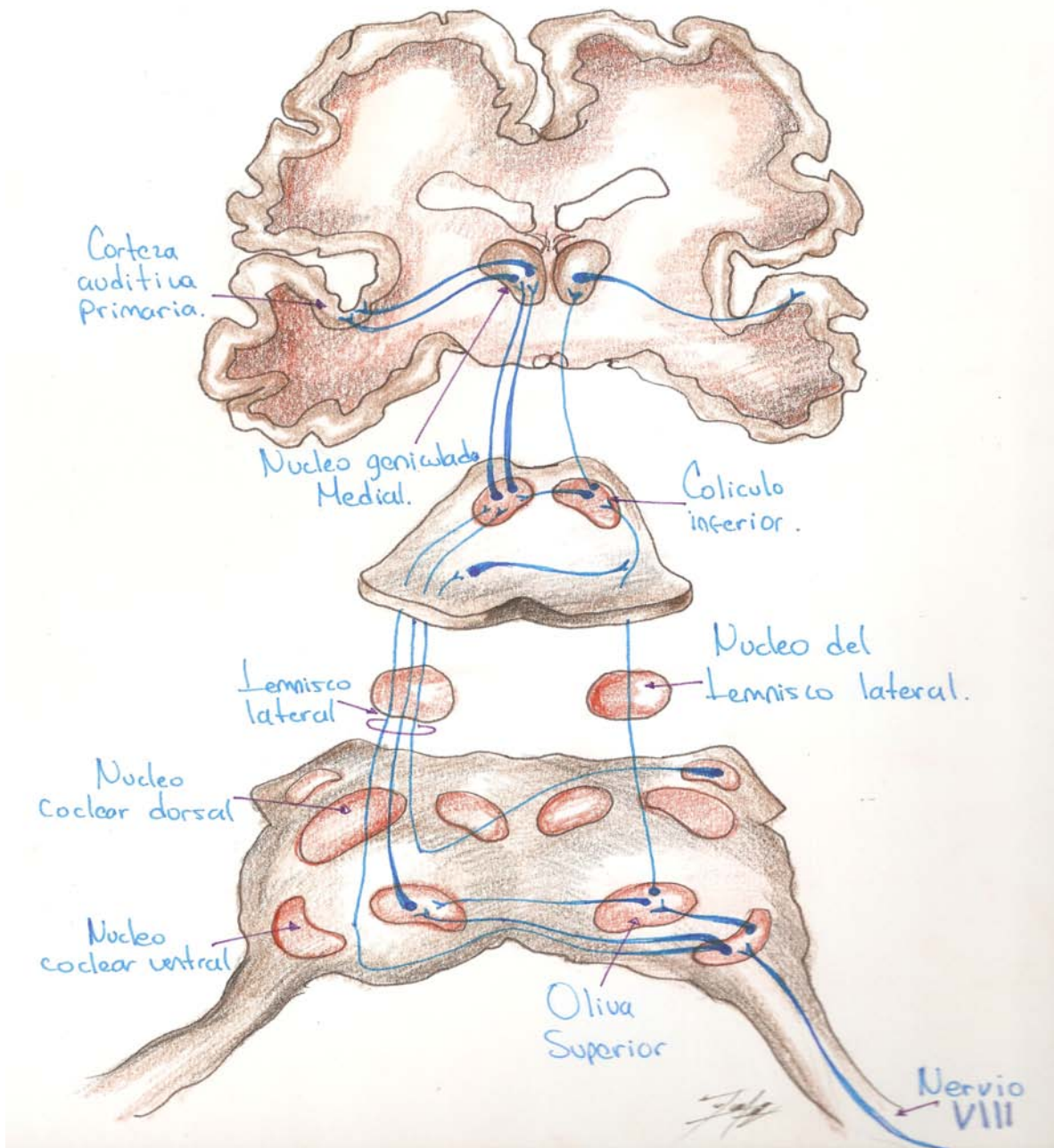


Figura 3. Vía Auditiva.

La corteza auditiva (Figura 4) se encuentra dividida en corteza auditiva primaria o A1 y corteza auditiva secundaria o A2. La corteza auditiva primaria está localizada en la circunvolución temporal superior del lóbulo temporal, recibe

aferencias punto a punto desde la división ventral del complejo geniculado medial, contiene un mapa de organización tonotópica (mapa de frecuencias audibles). A1 está organizada en columnas funcionales de neuronas que procesan aspectos básicos del estímulo y proyectan hacia otras áreas relacionadas. La corteza auditiva secundaria está localizada en la circunvolución temporal posterior, procesa aspectos del entendimiento del habla, y está involucrada en la producción y comprensión de las palabras (Carlson, 2003/2009).

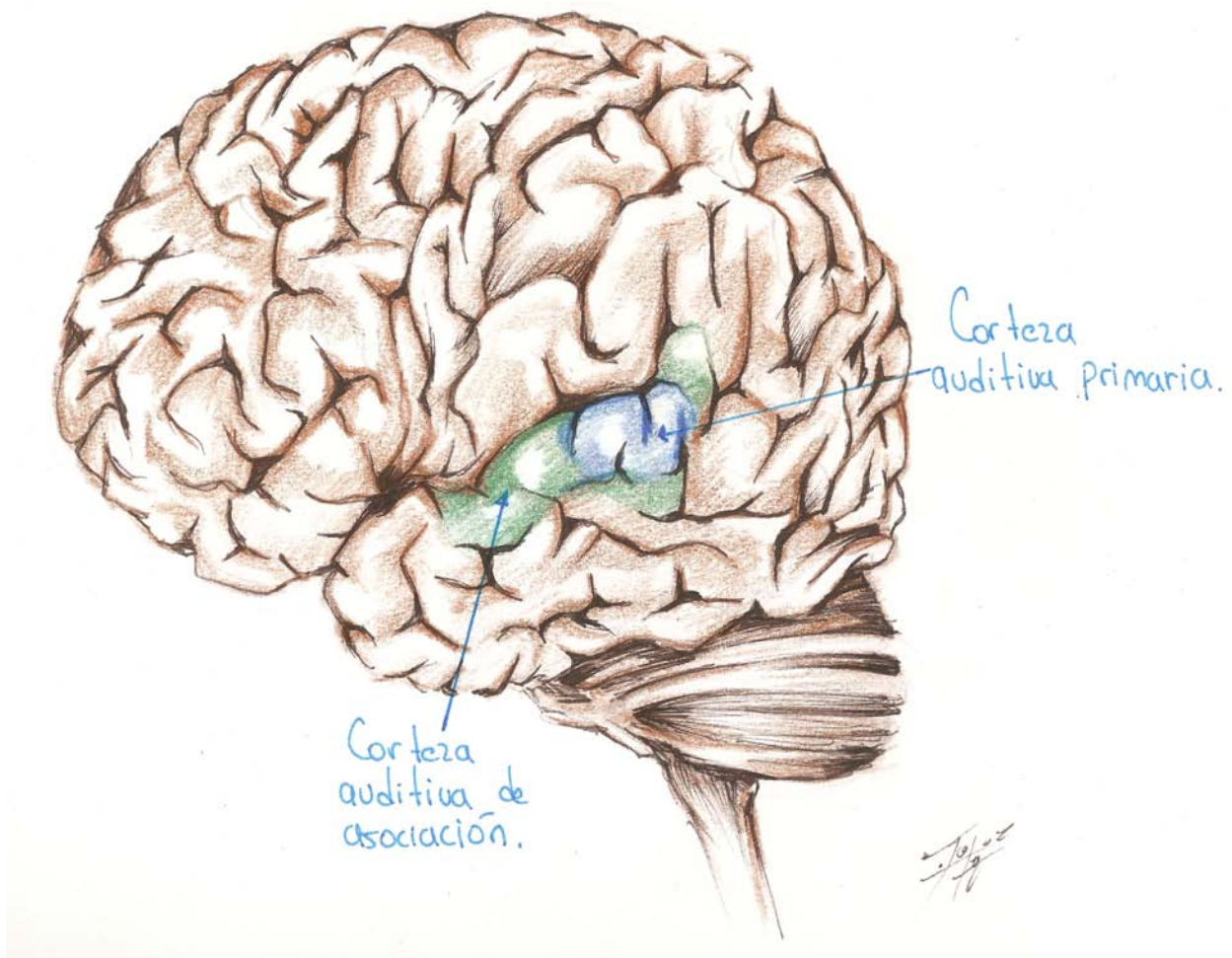


Figura 4. Corteza Auditiva.

Todo lo anterior pasa en personas con audición, pero ¿qué pasa en personas que no presentan audición? Evelyn Glennie y Hellen Keller son conocidas por percibir el sonido mediante la vibración en la piel. Para tenerlo claro, en la siguiente sección nos enfocaremos en entender la recepción táctil del sonido, cómo y gracias a qué es posible.

1.1.3 Recepción táctil del sonido

Otra forma por la cual también se percibe el sonido es mediante la piel, que es el órgano más grande, tiene un peso de entre seis y diez kilos, cuenta con 2 m² de extensión y de espesor varía entre .5mm y 4mm. La piel tiene como función delimitar el organismo, actuando como barrera protectora y manteniendo integra las estructuras y órganos. Presenta viscoelasticidad, lo que permite que tenga cierto grado de resistencia (Rosenzweig & Leiman, 2004).

La piel consta de dos capas principales o tejidos subcutáneos: la epidermis, que es la capa externa que está constituida de células muertas, y la dermis o tejido subcutáneo. Dentro de estas estructuras se encuentran dispersos los receptores que informan sobre el ambiente externo, el estado de la piel, la posición de diferentes partes del cuerpo. Los receptores se clasifican en mecanorreceptores, nociceptores o receptores del dolor, termorreceptores y propioceptores (Goldstein, 2011). Cada tipo de receptor responde a una forma particular de energía: mecánica, química, térmica o electromagnética. Nosotros nos enfocaremos a describir los

mecanorreceptores (Figura 5), que son los encargados de percibir las vibraciones, entre otros elementos.

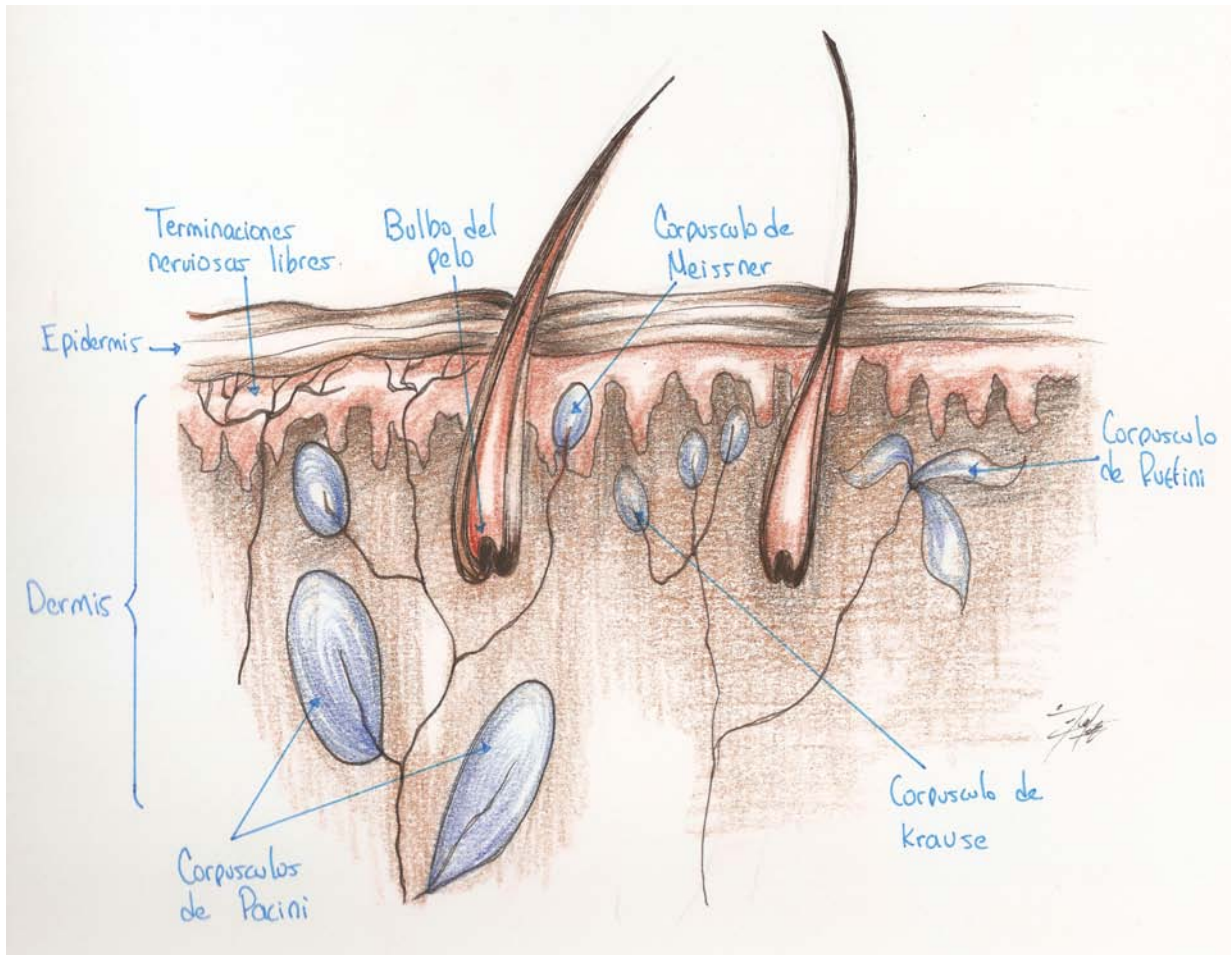


Figura 5. Receptores de la piel.

Con base en Purves, 2008; Mulamud, Estañol, Ayala, Senties y Hernández, 2014, los mecanorreceptores son receptores encapsulados sensibles a la deformación mecánica de la piel, cuentan con un umbral bajo de activación, en otras palabras son sensibles a pequeños cambios de presión o vibración. Pueden ser

clasificados como receptores de adaptación rápida o fásicos y receptores de adaptación lenta o tónicos, entre ellos se encuentran:

- Corpúsculos de Meissner. Se hallan en las papilas dérmicas, en dedos de las manos, palmas y plantas. Son receptores alargados, formados por una capsula de tejido conectivo. Traducen información a partir de las vibraciones de baja frecuencia, presión, discriminación espacial fina y presentan una velocidad de adaptación rápida.
- Corpúsculos de Pacini. Están localizados en tendones, vísceras, membranas interosas. Están rodeados por una capsula formada por múltiples capas de tejido entre espacios de líquido y se conectan con una o varias neuronas aferentes. Responden a la vibración de la piel en una gama amplia de frecuencias y cuentan con una velocidad de adaptación fásica.
- Discos de Merkel. Son neuronas aferentes ramificadas unidas a una terminal semicircular. Están localizados en toda la epidermis y alrededor de los folículos pilosos. Responden al contacto táctil y presión ligera de carácter estático, cuentan con una adaptación tónica.
- Corpúsculos de Ruffini. Son receptores alargados en forma de capsulas normalmente orientadas en paralelo al eje de estiramiento de la piel. Se encuentran en ligamentos y tendones. Cumplen la función de responder al estiramiento de la piel y los tejidos, presentan una adaptación lenta.

La transducción sensitiva en todos los mecanorreceptores funciona fundamentalmente de la misma manera, el estímulo aplicado sobre la piel causa una deformación o modificación en las terminaciones nerviosas, lo que provoca el cambio de permeabilidad iónica de la membrana de la célula receptora. Estos cambios generan una corriente despolarizante en la terminación nerviosa y crean potenciales de receptor, desencadenando los potenciales de acción. En aquellos receptores con adaptación lenta, la actividad está mediada por la activación de canales de Na^+ o de Ca^{+2} o activación de canales de K^+ ; y en los receptores de adaptación rápida, la actividad está mediada por la inhibición GABAérgica, que responden únicamente al inicio o al final del estímulo. Estas dos modalidades permiten detectar patrones de estimulación de tiempo y espacio (Kandel et al., 2000).

Al igual que el sistema auditivo, el sistema somatosensorial cuenta con una ruta que lleva la información de los receptores a la corteza (Figura 6). Empieza con la activación de un grupo de mecanorreceptores cutáneos y subcutáneos que transmiten la información por los nervios periféricos para entrar a la medula espinal a través de la raíz dorsal. La información sube por la médula y continúa viajando por la vía del lemnisco medial (cuenta con fibras de gran tamaño y transportan señales relacionadas con la posición de extremidades) y la vía espinotálmica (consisten en fibras pequeñas que transmiten información de temperatura y dolor). Estas vías cruzan del lado contrario del cuerpo durante el viaje, produciendo sinapsis en el núcleo ventrolateral del tálamo (constituye el principal relevo sensitivo),

posteriormente llegan a la corteza somato sensorial (Purves et al., 2008; Carlson, 2003/2009).

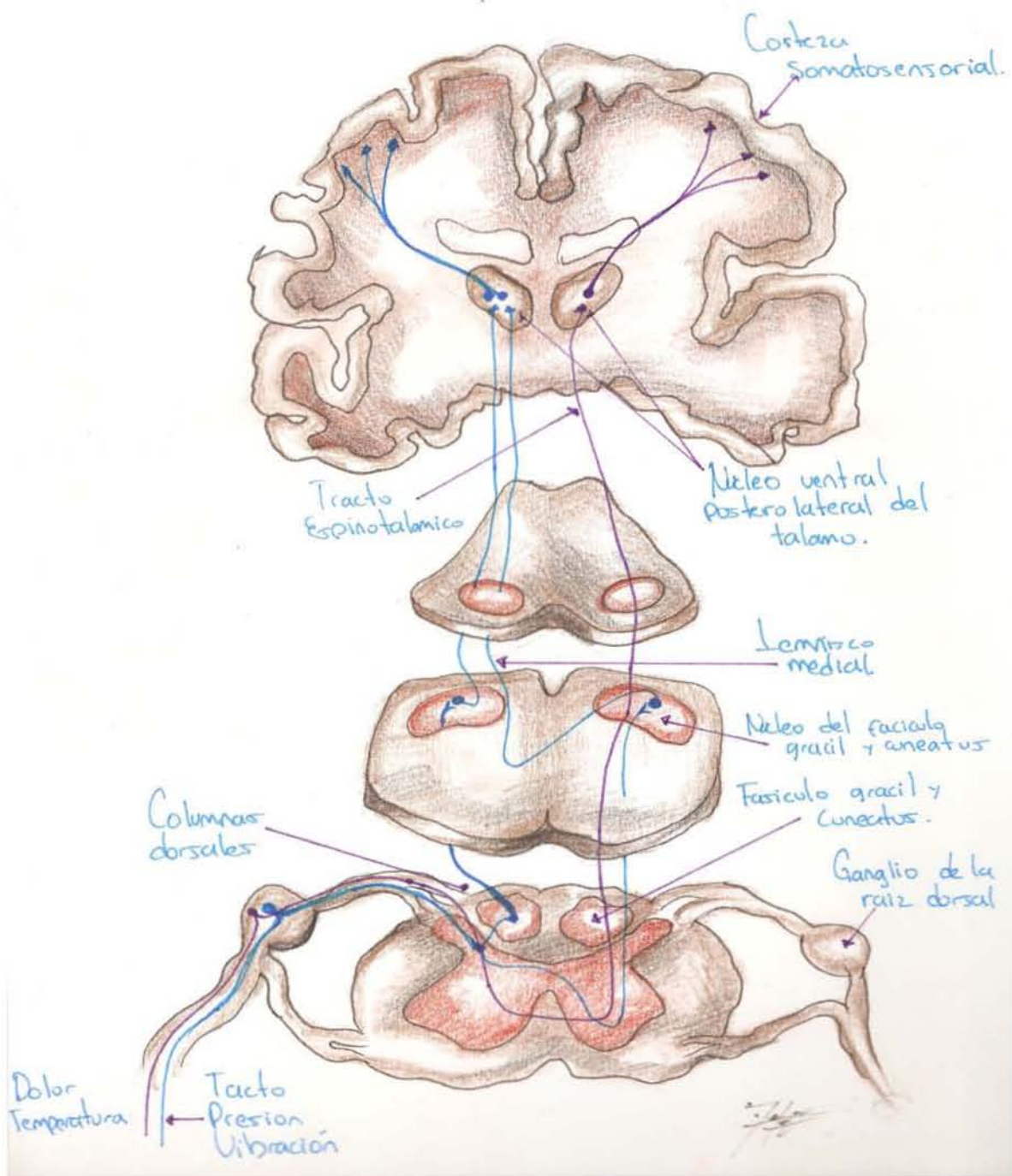


Figura 6. Vía somato sensorial.

La corteza está dividida en primaria y secundaria. La corteza primaria (S1), que se localiza en la circunvolución poscentral del lóbulo parietal, comprende las regiones 3a, 3b, 1 y 2 de las áreas de Brodmann, en éstas se procesa información de la textura de los objetos. La corteza somatosensorial secundaria (S2) reconoce objetos mediante el tacto, también información propioceptiva, además de recibir información visual y auditiva del lóbulo parietal, detrás del surco central (Carlson, 2003/2009). Estas áreas proyectan información procesada a otras áreas de asociación para permitir una representación global del cuerpo (Figura 7).



Figura 7. Corteza Somatosensorial.

Gracias a estos receptores, en especial los corpúsculos de Pacini, que mayormente se encuentran presentes en piel glabra (piel sin pelo o sin vello) discriminan vibraciones de alta frecuencia, y los corpúsculos de Meissner, que traducen información a partir de vibraciones relativamente de baja frecuencia (Verillo, 1992; Purves et al., 2008; Mulamud et al., 2014) es posible una recepción táctil del sonido, sintiendo las vibraciones en todo el cuerpo. Esta recepción puede depender básicamente de la frecuencia y calidad del estímulo sonoro.

Contamos con zonas con mayor sensibilidad, como la cara y las manos en comparación con la espalda, esto es debido a la cantidad de receptores que se encuentran en esas zonas y al número de aferencias que recibe la corteza para formar el tamaño de cada región en la corteza somatosensorial, lo que da lugar a una organización en un mapa correspondiente a ciertos lugares sensibles del cuerpo, que es representado en dirección medial a lateral (Goldstein, 2011). Este mapa corporal (Figura 8) también es conocido como homúnculo, que significa hombre pequeño en latín, fue descubierto por el neurocirujano Wilder Penfield al realizar investigaciones sobre epilepsia.

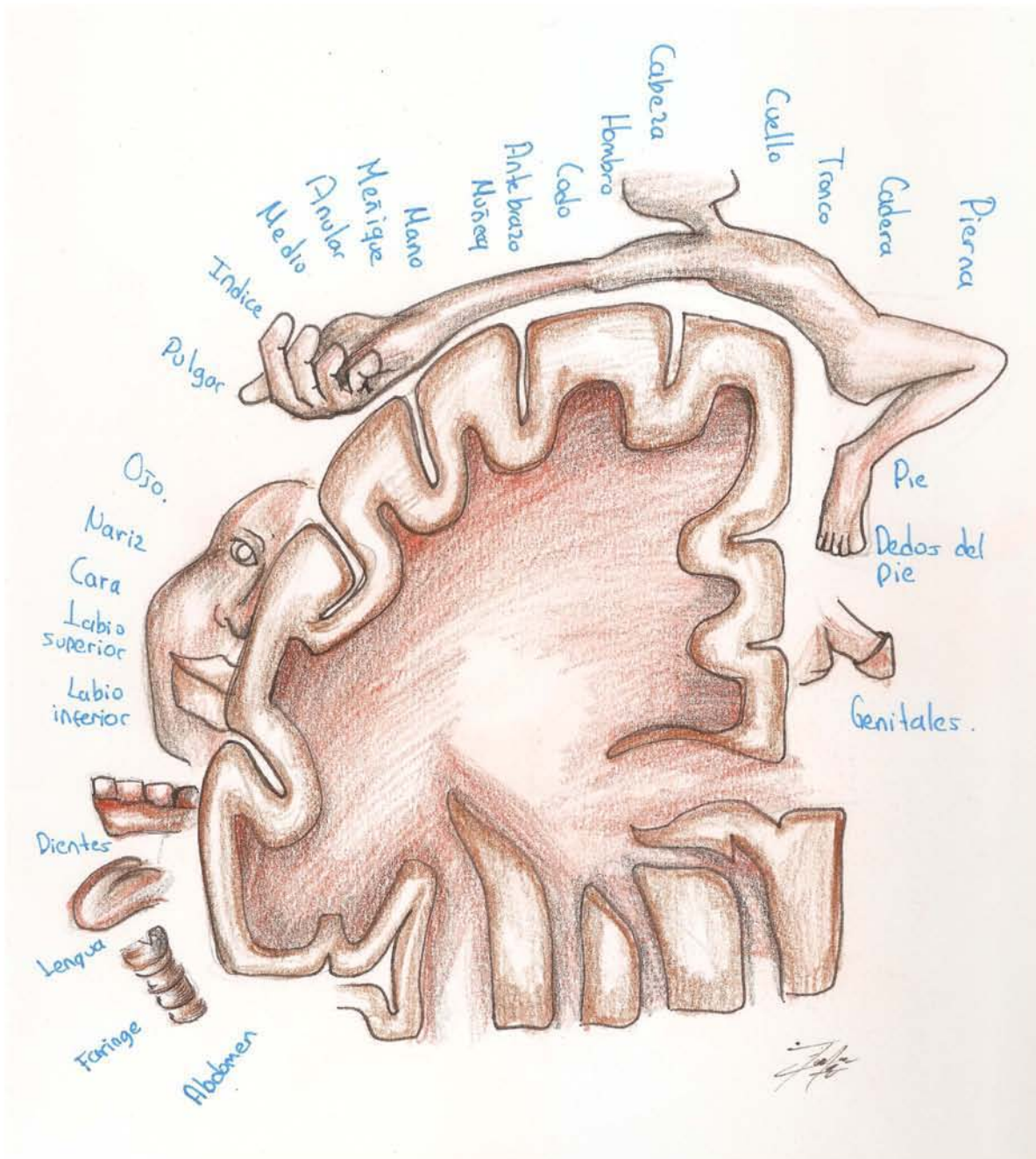


Figura 8. Homúnculo somatosensorial de Penfield.

1.2 Sordera

Esta sección se enfoca en entender qué es la sordera, sus causas y los diferentes tipos de sordera que pueden presentar las personas, así como las formas de detectarla, para tener una mejor comprensión de la experiencia sonora.

1.2.1 ¿Qué es la sordera?

La organización Mundial de la salud (OMS, 2015), indica que más del 5% de la población mundial (360 millones de personas) presenta pérdida de la audición, la mayoría de estas personas viven en países de ingresos bajos y medianos. La sordera es definida, desde la perspectiva clínica, como la pérdida auditiva en todos los grados, desde leve a profunda, lo cual es visto como una discapacidad que causa problemas, algo que se debe superar o prevenir. Contrariamente, desde la perspectiva social, la sordera es una condición natural. Las personas con sordera conforman un grupo social minoritario, con una lengua, una historia y cultura propia, simplemente perciben y viven el mundo de manera distinta (Pino, 2007; Paul & Whithelaw, 2011).

El Consejo Nacional para el Desarrollo y la Inclusión de las Personas con Discapacidad (CONADIS) define a la sordera como la restricción de la percepción de los sonidos externos, incluyendo la alteración de los mecanismos de transmisión, transducción, conducción e integración del estímulo sonoro (Valverde, 2012). Puede

estar presente a cualquier edad, desde el nacimiento, niñez, juventud, adultez y vejez.

La manera de detectar la sordera en niños de más de cuatro meses de edad es utilizar juguetes sonoros, como tambores, cuyo sonido tiene una intensidad y frecuencia conocidas, por lo que provocan una reacción ante el estímulo sonoro. Cuando el niño es más grande, se analiza si oye las palabras en diversas intensidades y se observa sus repercusiones sobre el desarrollo del lenguaje, esto es detectado principalmente por los padres o cuidadores (Branden, 1994).

Técnicas audiológicas permiten detectar el grado de audición, esto se hace por medio de un audiómetro que genera frecuencias de 125, 250, 500, 1000, 2000, 6000 y 8000 ciclos/segundo; y de un potenciómetro graduado de 5 en 5 decibelios desde +10 hasta 110 dB. Los sonidos se presentan independientemente en cada oído por medio de auriculares y la persona alza la mano o pulsa el botón en el momento que empieza a escuchar, se recorren las distintas frecuencias para conseguir una gráfica que representa el estado del campo auditivo. Otro método práctico es la audiometría verbal o logo-audiometría, consiste en un amplificador que transmite las palabras a intensidades crecientes de 10 en 10 decibelios, la persona debe repetir lo que escucha, esta técnica es empleada en personas mayores de 5 años (Ramírez, 1987)

Otra forma de detectar si una persona presenta sordera es mediante los potenciales evocados auditivos, que es un método de registro de la actividad del

oído mediante electrodos colocados en la frente y lóbulo de la oreja o sobre la mastoides. Los electrodos miden el cambio del electroencefalograma cuando se reciben estímulos de 2.000 a 4.000 clics filtrados o breves y presentaciones instantáneas de tonos puros con diversas intensidades. Los estímulos se presentan en secuencias rápidas de 10 a 30 por segundo, un ordenador selecciona y amplifica la ondas que evoca el sonido separándolas de aquellas procedentes de la actividad eléctrica de la corteza cerebral (Gómez, 2006).

1.2.2 Clasificación de la sordera

Anteriormente la sordera era clasificada de dos maneras generales como hipoacusia, en la que había un deterioro auditivo pero se contaba con pocos decibeles para poder escuchar; y la sordera dura, que se refería a la pérdida total de la audición. Con el paso del tiempo se han incluido otros factores para tener un mejor diagnóstico y entendimiento, (Branden, 1994; Kral, Popper, & Fay, 2013; OMS, 2015; Ramírez, 1987; Valverde, 2012). Dentro de estos factores se consideran:

Causa:

- Genética o hereditaria.
- Adquirida.

El momento de aparición:

- Congénita – presente desde el nacimiento.
- Adquirida – se presenta después de los 7 meses de edad.

El tipo:

- Neurosensorial – afectación en el oído interno (órgano de Corti, ventana oval) o en el nervio auditivo.
- Conductiva – afectación en el oído externo (pabellón auricular, canal auditivo, membrana timpánica) o medio (martillo, yunque, estribo).
- Mixta - una mezcla de ambas.

La severidad:

- Leve – pérdida de 21-40 dB.
- Moderada – pérdida de 41-71dB.
- Grave – pérdida de 71-90 dB.
- Profunda o anacusia – pérdida de 100 dB.

Oído en que está la afectación:

- Unilateral - cuando sólo se presenta la afectación en un oído.
- Bilateral - la afectación está en ambos oídos.

Momento de desarrollo del lenguaje:

- Prelocutiva o prelingual - antes del desarrollo del lenguaje.
- Postlocutiva o postlingual - después de desarrollar el lenguaje.

En relación con la educación:

- Hipoacúsicos – presentan dificultad para escuchar pero suelen auxiliarse de la prótesis, pueden adquirir el lenguaje vía oral.
- Profundos – audición disfuncional, no pueden adquirir el lenguaje vía oral.

En relación con el entorno comunicativo familiar

- Con padres oyentes.
- Con padres con sordera.

1.2.3 Etiología

De acuerdo con la OMS (2015), las causas de la sordera pueden ser de origen hereditario, o adquiridas; en las primeras se incluyen los genes autosómicos recesivos, dando paso a síndromes como:

- Síndrome de Usher: sordera congénita presente desde la segunda década de vida. La persona también desarrolla retinitis pigmentaria (lo que afecta la capacidad de la retina para responder a la luz), ocasionando ceguera.
- Síndrome de Pendred: La persona presenta sordera congénita profunda, asociada a disfunción vestibular y bocio tiroideo (aumento de la tiroides).

- Síndrome de Jervell y Lange-Nielsen: Las personas desarrollan sordera congénita y presentan episodios de síncope (desmayo), arritmias y muerte súbita.

Dentro de los padecimientos ocasionados por genes autosómicos dominantes se incluyen:

- Síndrome de Waardenburg (SW): Las personas presentan grados variables de sordera sensorio-neural, albinismo parcial, sinofris (falta de separación entre cejas), puente nasal ancho y alto con hipoplasia (desarrollo incompleto) de las alas nasales, y dilatación del acueducto vestibular.
- Síndrome branquiotorenal (SBOR): Las personas presentan sordera conductiva, sensorio neural o mixta, malformaciones del oído externo como fosetas o papilomas preauriculares, y displasia (anomalía en el desarrollo de un tejido) renal, también dilatación del acueducto vestibular sin síntomas vertiginosos, así como alteraciones en las vías urinarias.

Las causas de la sordera adquirida se deben a:

- Complicaciones durante el embarazo o el parto, como anoxia (falta de aire), uso de fórceps, etc.
- Infecciones durante el embarazo, como:

Rubéola

Sífilis

Anginas

Tosferina

Sarampión

Herpes

Viruela

Paperas

- Uso inadecuado de medicamentos ototóxicos durante el embarazo como:

Aminoglucósidos

Citotóxicos

Antipalúdicos

Diuréticos

- Exposición prolongada a ruidos altos.
- Uso inadecuado de auriculares.
- Pérdida de las células ciliadas conforme se va envejeciendo.
- El uso inadecuado de hisopos, ocasionando rotura del tímpano.
- Obstrucción del canal auditivo por exceso de cerumen.
- Objetos introducidos en el oído.

Recapitulación

En esta primera parte se definieron algunos conceptos como el sonido, que es el movimiento de partículas debido a la vibración de un objeto elástico, y presenta las características de amplitud, frecuencia y timbre. También describimos cómo se realiza la transducción de energía mecánica a energía eléctrica en las estructuras del oído medio e interno, posteriormente la vía auditiva conduce la información a las áreas de la corteza auditiva para continuar su procesamiento e integración para realizar su interpretación.

Además, abordamos el proceso receptivo a nivel somatosensorial, entendiendo que el sonido no sólo se recibe por los oídos; gracias a los mecanorreceptores como los corpúsculos de Pacini y Meissner encargados de discriminar frecuencias vibratorias es posible también una recepción táctil del estímulo sonoro. También explicamos la vía somatosensorial que llega al punto diana que es la corteza somatosensorial, la cual se encuentra distribuida como un mapa que representa las áreas sensitivas de todo el cuerpo.

Todo lo anterior para aplicarlo en personas con sordera, para ello revisamos qué es la sordera, misma que describimos como la restricción de la percepción de los sonidos externos, incluyendo la alteración de los mecanismos de transmisión, transducción, conducción e integración del estímulo sonoro. También describimos sus causas y formas de detectarla.

Una vez que presentamos todos los conceptos y procesos anteriores, la siguiente sección está dedicada a la investigación documental sobre estudios realizados en personas con sordera y la recepción vibrotáctil del sonido.

2. Método

2.1 ¿Qué es un estado del arte?

El avance tecnológico y la renovación del conocimiento han generado un gran número de publicaciones que son resultado de investigaciones científicas; esto se ha dado en un tiempo relativamente corto, provocando la saturación de información. De ahí la importancia de realizar estados del arte, que tengan como finalidad recopilar y contextualizar la información, determinar un problema y establecer límites de búsqueda. Los estados del arte, además, permiten compartir información, generan una demanda de conocimiento, y realizan comparaciones con conocimientos paralelos, ofreciendo diferentes posibilidades de comprensión de un fenómeno (Jiménez, 2004).

El estado del arte es una modalidad de la investigación documental que consiste en un estudio analítico del conocimiento acumulado, se utiliza como herramienta para compilar y sistematizar una porción substancial de la información disponible. El estado del arte hace referencia a un marco teórico resultado de un bagaje de conocimiento, representa la primer actividad de carácter investigativo, estableciendo la referencia inicial; y formativo, pues el investigador responde a las preguntas acerca de qué se ha dicho y cómo se ha investigado el tema de interés (Molina, 2005).

De acuerdo con Londoño, Maldonado y Calderón (2014), los propósitos del estado del arte son:

- Delimitar el objeto de estudio y sus relaciones.
- Obtener datos relevantes acerca de los enfoques teóricos y disciplinares con que se ha trabajado un objeto de estudio.
- Describir el desarrollo alcanzado en un tema, área o disciplina.
- Aportar una dimensión histórica de un dominio del conocimiento.
- Comparar métodos de producción.
- Generar nuevas interpretaciones y posturas críticas.
- Brindar acceso, aplicación y valoración específica.
- Identificar actores y una red social de referencia.

2.2 Justificación

Nos encontramos en un mundo de constantes cambios, donde se van modificando conocimientos; los modelos y teorías son comprobados o desechados; el conocimiento se renueva y se generan nuevas preguntas. Se trata de un mundo donde lo único constante es el cambio, un mundo que no acaba de ser entendido.

Se sabe por conocimiento popular, que las personas con sordera perciben las vibraciones del sonido, pero ¿Qué tanta información se ha generado en torno a este tema? ¿De qué manera ha contribuido? ¿Hacia dónde se está dirigiendo? ¿Cómo

se da este proceso? Estas preguntas muestran la necesidad de realizar un estado del arte que describa el estado actual de la investigación en este tema.

2.3 Objetivos

Objetivo general: Realizar un estado del arte de la recepción táctil del sonido en personas con sordera.

Objetivos específicos:

- Realizar un panorama general de las investigaciones de la recepción táctil del sonido en personas con sordera.
- Describir el por qué la piel es un sistema de recepción del sonido.
- Conocer dispositivos que han aportado a la recepción del sonido o música en personas con sordera.

2.4 Procedimiento

Para la elaboración del estado del arte, se llevó a cabo una búsqueda en diversas bases de datos, libros, artículos, noticias, ponencias, etc., para plantear un panorama del camino recorrido y hacia dónde se dirigen las investigaciones, con la finalidad de generar nuevos planteamientos y tener un mejor entendimiento del tema.

Las bases de datos en que se realizó la búsqueda fueron:

- EBSCO
- Elsevier
- Jstor
- Scopus
- Science Direct
- Ovid
- Pubmed
- Society for Neuroscience
- Springer
- Otros

Las palabras claves que se utilizaron fueron:

- Deafness and reception of sound
- Deafness and reception of music
- Deafness and perception of sound
- Deafness and perception of music
- Deafness and music
- Deafness and vibrotactile
- Deafness and audiotactile
- Deafness and rhythm
- Deafness and timbre
- Deafness and tone
- Deafness and somato sensorial

- Deafness and body
- Deafness and dance
- Deafness and technology

Los artículos se seleccionaron mediante los siguientes criterios de inclusión:

- Textos arbitrados
- Estudios centrados en el uso de la piel como sistema de recepción
- En caso de estudios experimentales que los participantes presentaran sordera
- En caso de estudio que los estímulos fueran vibro táctiles o sonido en vivo

3. Resultados

Cabe mencionar que al realizar la búsqueda de información con las palabras clave, la búsqueda arrojaba artículos relacionados con la percepción del sonido o música en personas con implante coclear, amusia, sordera al tono, sordera pura para las palabras, la sordera de Beethoven abordada de manera clínica, etc. Ninguna de esas publicaciones fue considerada en este trabajo.

Los resultados se presentan divididos en diferentes tablas: en la primera se expone el tipo de documento o información encontrada; en una segunda tabla el número de artículos encontrados por base de datos; la tercer tabla se muestra la distribución geográfica donde se realizaron los estudios; en la tabla cuarta hacemos una introducción de los artículos, para posteriormente abordar cada artículo como ficha de contenido. En total son los 22 artículos encontrados que cumplen con los criterios, se encuentran ordenados cronológicamente y fueron publicados en un periodo entre 1972 y 2015.

Otra información que se encontró y no incluimos dentro de las fichas de contenido, pero que es pertinente mencionar, fue el uso de dispositivos para mejorar la experiencia sonora de personas con sordera. Uno de ellos es la aplicación (app) Vibetunes que se descarga en el celular y hace la transformación del audio a estímulos vibratorios para que la persona pueda sentir la música. Además existen otros dispositivos encargados de traducir la señal auditiva a una señal vibrotáctil,

sin embargo, están pensados sólo como un acompañamiento del implante coclear en el mejor de los casos, Tactaid es uno de ellos.

A demás se encontró noticias de inclusión de personas con sordera en el mundo musical. Un ejemplo es la presentación de un bar en España, en el que las personas con sordera cuentan con tarimas de resonancia para la percepción de la música, a través de éstas y de varias pantallas que hacen la interpretación en lenguaje de señas de las canciones, las personas tienen una experiencia musical más completa. Otra manera de incluir a las personas con sordera es realizar la interpretación de una canción en lenguaje de señas, en México los encargados han sido Melodías en Nuestras Manos, asociación que utiliza el lenguaje de señas mexicano (LSM).

Por otro lado, el grupo musical Fumuj diseña sus conciertos para que sean accesibles para personas con sordera, incorporando elementos como el uso de luces que cambian al son del ritmo, y el uso de globos cilíndricos inflados con los que las personas pueden sentir las vibraciones. Otro grupo musical que realiza conciertos inclusivos es Scriabin Code, quienes, con ayuda del uso de elementos visuales en vivo, permiten otra experiencia sonora de manera sinestésica.

Tabla 1. Tipo de documentos encontrados

Tipo de Texto	Número
Artículos originales	14
Artículos de revisión	5
Otros	2
Total	21

Tabla 2. Número de artículos encontrados por base de datos

Base de datos	Número de artículos
EBSCO	3
Elsevier /Sicence Direct/Scopus	2
Jstor	3
Ovid	0
Pubmed	8
Society for Neurocience	1
Springer	0
Otros	4
Total	21

Tabla 3. Distribución continental de los estudios recabados

Continente	País	Número de publicaciones
África	0	0
América del Norte	EUA y Canadá	11
América del Sur	Colombia	1
Asia	Japón	1
Europa	Grecia, Finlandia, Reino Unido, Suecia, España.	7
Oceanía	Australia	1
Total	11	21



Figura 9. Distribución geográfica de los artículos citados.

Tabla 4. Tabla introductoria de resultados

Autor	Año	Palabras clave	Conclusión
Otero, L.	2015	Música, persona con sordera, vibración.	Apreciar la música mediante todo el cuerpo.
Good, A.	2014	Sordera, música, plasticidad compensatoria.	Revisión de apreciar la música mediante otros sentidos.
Rochette, F.	2014	Niños con sordera congénita, entrenamiento musical.	Desarrollo de habilidades al tener un entrenamiento musical.
Ammirante, P.	2013	Sensibilidad vibrotáctil, discriminación del habla.	Información vibrotáctil complementa dispositivos auditivos.
Ranjbar, P.	2013	Dispositivo Monitor.	Transforma el sonido detectado del medio en vibraciones.
Karns, C. M.	2012	Procesamiento somato sensorial, procesamiento motor.	Activación de regiones de la corteza detectadas mediante resonancia magnética funcional (fMRI).
Russo, F. A.	2012	Discriminación de timbres, vibrotáctil, silla con bocinas, personas con sordera.	Mediante el tacto se logra una discriminación de diferentes timbres.
Fulford, R.	2011	Entrevistas, creación musical, personas con discapacidad auditiva.	Abordo diferentes tópicos que intervienen en la experiencia musical.
De Monsternin, H. J.	2009	Tactoaudición, tactoyente, enseñanza.	Abordo como enseñar música a personas con sordera.

Auer Jr, E. T.	2007	Corteza auditiva, estímulo vibrotáctil, personas con sordera.	Estimulación vibrotáctil activa regiones de la corteza auditiva.
Fotiadou, E.	2006	Percepción del ritmo, niños con sordera, programa gimnástico.	Desarrollo de habilidades motoras, como equilibrio, sentido del cuerpo y el espacio.
Hash, P. M.	2003	Programa de música instrumental, estudiantes con sordera.	Discute diferentes estrategias de educación, para una inclusión de personas con sordera.
Glennie, E.	2003	Percusionista, percepción del sonido, sordera adquirida.	Reaprender el cómo “escuchar” mediante la piel.
Levanen, S.	2001	Discriminación de frecuencias, umbral, estímulos vibratorios.	Personas con sordera discriminan frecuencias mediante las palmas.
Imaizumi, S.	2000	Áreas corticales, Tomografía por emisión de positrones (PET), ultrasonidos.	Activación de regiones temporales y auditivas de personas con sordera profunda.
Levanen, S.	1998	Magnetoencefalografía (MEG), sordera congénita, discriminación de frecuencias	Activación de diversas áreas del cerebro ante estímulos vibrotáctiles.
Richardson, B. L.	1997	Piel, Sordera, dispositivos.	Diversos principios a considerar para dispositivos para personas con sordera.
Hickok, G	1997	Estimulación sensorial, magnetoencefalograma	Mapeo sensorial de la corteza en personas con sordera.

		(MEG), resonancia magnética funcional.	
Darrow, A. A.	1993	Cultura sorda, música, educación.	Cuestionarios arrojan datos sobre el rol de la música en la comunidad sorda.
Geers, A. E.	1986	Dispositivo Tactaid I, estudio de caso, sordera profunda.	Mejorar el desarrollo del lenguaje mediante estímulos vibrotáctiles.
Fahey, J. D.	1972	Sordera, tacto, percepción sonido.	Datos históricos sobre la percepción del sonido en personas con sordera

A continuación se presentan las fichas de contenido, las cuales contienen: autores, fecha de publicación, título, tipo de texto, objetivo (Obj.), participantes (Part.), método (Met.) y resultados (Res.).

Otero, L. (2015). La sordera: Una oportunidad para descubrir la música. Artículo de comunicación corta.

Obj.: Sustener que la música va más allá de la sensación que se percibe en el oído. Res.: Personas con sordera pueden realizar una apreciación musical con todo su cuerpo. Sustenta la creación de posibilidades inverosímiles para que la música pueda ser percibida. Se apoya en el uso de cajas de resonancia, suelo de madera o materiales conductores, para experimentar la sensación de vibración.

Good, A., Reed M. & Russo, F. A. (2014). Compensatory plasticity in the deaf brain: Efects on perception of music. Artículo de revisión.

Obj.: Evalúa evidencia cognitiva, neural y comportamental, de la plasticidad compensatoria después de la privación auditiva. Res.: Apreciación de la música, mediante elementos visuales (ejecución de movimientos, gestos con las manos, expresiones faciales), elementos vibrotáctiles (discriminación de frecuencias), y timbres.

Rochette, F., Moussard, A. & Bigand, E. (2014). Music lessons improve auditory perceptual and cognitive performance in deaf children. Artículo original.

Obj.: Evaluar si la música puede ser una herramienta relevante para la rehabilitación de niños con sordera. Part.: 28 niños con sordera profunda, con una media de 8 años de edad. De ellos, 14 fueron del grupo experimental y otros 14 del grupo control. Mét.: 14 participantes recibieron instrucción musical, de 1.5 a 4 años. Utilizando sonidos ambientales se evaluaron tareas auditivas: discriminación, identificación, análisis de escena auditiva, memoria de trabajo. La evaluación se hizo a través de un aparato llamado "sound in hands" (se compone de dos altavoces, plataforma de respuesta y computadora que genera el sonido). Res.: Se observó una ejecución mejor en el grupo con instrucción musical. El entrenamiento musical contribuye a desarrollar habilidades en un nivel de percepción, lo que permite crear una representación auditiva eficiente del sonido.

Ammirante, P., Russo, F. A., Good, A. & Fels, D. I. (2013). Feeling Voices. Artículo original.

Obj.: Evaluar la sensibilidad vibrotáctil que contiene la frecuencia fundamental (F0) del habla, discriminando entre hablantes del mismo sexo. Part.: 19 individuos (4 mujeres) reclutados de la comunidad sorda de Toronto. Met.: Estímulos

presentados en espalda baja mediante un par de bocinas fijas en una silla confortable. 1er experimento: 6 grabaciones de frases habladas por 3 mujeres distintas y un hombre, la persona tenía que discriminar. 2º experimento: igual al primero pero los estímulos fueron diptongos (vocales). Res.: discriminación de estímulos de F0, duración y magnitud percibida fue exitosa en el 1er experimento. La discriminación de la expresión de vocales para el 2º experimento. La información vibrotáctil es valiosa para complementar los dispositivos auditivos.

Ranjbar, P. & Stenstorm, I. (2013). Monitor a vibrotactile aid for environmental perception: A field evaluation by four people with severe hearing and vision impairment. Artículo original.

Obj.: Evaluar la versión portable del dispositivo Monitor (detecta e identifica la dirección de acontecimientos que producen sonidos, transformándolo en vibraciones). Part.: 4 mujeres entre 44 y 54 años con síndrome de Usher. Met.: Probaron la ayuda en el hogar y calle, constó de tres estudios de campo: test sin Monitor, con Monitor con micrófono omnidireccional y Monitor con micrófono direccional. Las pruebas se documentaron en video. Res.: El dispositivo mejora la capacidad de las personas con sordera y ceguera para detectar y reconocer la dirección de acontecimientos que producen sonido. Aunque presenta una desventaja: en entornos muy ruidosos no discrimina bien y vibra todo el tiempo.

Karns, C. M., Dow, M. W. & Neville, H. J. (2012). Altered cross-modal processing in the primary auditory cortex of congenitally deaf adults: A visual somatosensory fMRI study with a double flash illusion. Artículo original.

Obj.: Examinar el procesamiento visual y somato-sensorial, en personas con sordera congénita. Part.: 13 personas con sordera profunda congénita. 12 personas oyentes. Met.: Se realizó resonancia magnética funcional (3T), al

momento de presentar estímulos visuales (luz), en la periferia del campo visual y estímulo somatosensorial (soplos de aire), en la mejilla, solos y acoplados de manera simple o doble, en un diseño de bloques. Res.: Mayor área visual y somatosensorial en el lóbulo temporal superior. Incremento de la señal en HG para estimulación somatosensorial unimodal.

Russo, F.A., Ammirante, P. & Fels, D. I. (2012). Vibrotactile discrimination of musical timbre. Artículo original.

Obj.: Investigar la habilidad de discriminar timbres musicales con base en información vibrotáctil. Part.: 19 individuos (9 mujeres) reclutados de la comunidad sorda de Toronto. Met.: Presentación secuencial de estímulos de piano, cello y trombón, durante 1.5s, en tres niveles: 120, 220, y 440Hz. Los estímulos son presentados en la espalda mediante un par de bocinas integradas a una silla. Res.: Discriminación, mediante el tacto, de los tonos del trombón, piano y cello, además de la magnitud y duración. Los resultados pueden ser relevantes para la investigación de retroalimentación auditiva en la interpretación musical.

Fulford, R., Ginsborg, J. & Goldbart, J. (2011). Learning not to listening: the experience of musicians with hearing impairments. Artículo original.

Obj.: Realizar investigación empírica de la creación musical con una discapacidad auditiva. Part.: 20 músicos con discapacidad auditiva. Met.: Se realizaron entrevistas acerca de la experiencia musical y pérdida auditiva. Res.: La cantidad de exposición temprana a la música influye en la realización de música. La interpretación musical es acompañada de pistas visuales, vibrotáctiles, auditivas. Otros factores como el momento de aparición de la sordera, la gravedad, el contexto musical, o el instrumento desarrollado, influyen en la manera de percibir la música.

De Monsternin, H. J. (2009). Principios de tacto audición: iniciación a la música para sordos. Libro.

Obj.: Describe cómo enseñar música a personas con sordera.

Res.: Toca temas de física del sonido, considera a las personas con sordera como tactoyentes, emplea esquemas vibrotáctiles, y aporta ejemplos prácticos.

Auer Jr, E. T., Bernstein, L. E., Sungkarat, W. & Singh, M. (2007). Vibrotactile Activation of Auditory Cortices in Deaf versus Hearing Adults. Artículo original.

Obj.: Medir la respuesta de la corteza auditiva al estimular vibrotáctilmente, en personas con sordera y personas oyentes. Part.: 6 personas con sordera (1 congénito). 6 personas oyentes. Met.: Uso de fMRI (1.5 T.) al presentar bloques de frecuencia fija (125Hz), silencio y frecuencia fundamental de voz, derivadas de frases pronunciadas. Res.: Gran activación de regiones auditivas incluyendo el giro de Heschl (HG) en participantes sordos, obtenida por ambos estímulos.

Fotiadou, E., Tsimaras, V. K., Guaga-zogluo, P. F., Sidiropoulou, M. P., Karamouzi, A. M. & Angelopoulou, N. A. (2006). Effect of rhythmic gymnastics on the rhythm perception of children with deafness. Artículo original.

Obj.: Examinar si un programa de ritmo gimnástico adaptado mejora la capacidad de percepción del ritmo en niños con sordera. Part.: 29 niños divididos en dos grupos, uno experimental y otro control. Diagnosticados con pérdida auditiva bilateral, 8 con sordera congénita y 6 como resultado de meningitis. Met.: Clases de 40 minutos, 3 veces por semana, durante 16 semanas. Concientización del ritmo mediante aplausos, golpeteos con dedos, cambios de velocidad y ritmo, se utilizaron tambores. Caminar a diferente tempo, marchar en velocidad variada, movimiento del cuerpo. Res.: El movimiento rítmico ayudó a desarrollar

habilidades psicomotoras, percepción visoespacial, capacidad de equilibrio, y sentido del cuerpo en el espacio.

Hash, P. M. (2003). Teaching instrumental music to deaf and hearing students. Artículo de divulgación.

Obj.: Discutir las formas para incluir satisfactoria-mente a personas con sordera o discapacidad auditiva en un programa de música instrumental. Res.: Crear un entorno físico mediante la eliminación de ruido blanco de la habitación. Alumnos dispuestos en medio círculo para ver expresiones faciales, corporales que ayuden como pistas visuales. El alumno aprende a sentir el pulso visual mediante vibraciones simpáticas a través del piso. Gran cantidad de apoyo por parte de compañeros, director, y padres, además de un trabajo en conjunto.

Glennie, E. (2003). Evelyn Glennie: How to truly listen. Video Conferencia a cargo de Ted Talks.

Obj.: Describe la percepción del sonido a través del tacto. Res.: Evelyn Glennie nos habla de cómo perdió la audición a los 12 años, y como tuvo que reaprender a "escuchar" la música a través de las vibraciones percibidas mediante la piel.

Levanen, S. & Hamdort, D. (2001). Feeling vibrations enhance tactile sensitivity in congenitally deaf humans. Artículo original.

Obj.: Examinar la precisión táctil en discriminar frecuencias y detectar umbrales dentro de una secuencia de estímulos vibratorios. Part.: 6 personas sordas congénitas. 6 personas oyentes.

Met.: Tubo de plástico que vibraba aleatoriamente entre 1 y 2s por 100ms con una constante de amplitud. Tarea de discriminación de frecuencias (200Hz, 160-

250Hz). Res.: Personas sordas, detectaban mejor pequeños cambios de frecuencia.

Imaizumi, S., et al. (2000). Ultrasound activates the auditory cortex of profoundly deaf subjects. Artículo original.

Obj.: Medir áreas corticales activadas en PET por la estimulación de ultrasonido, aportando evidencia concluyente. Part.: Grupo control: 9 hombres (media de 39 años). Grupo experimental: 5 personas con sordera profunda (2 hombres y 3 mujeres, media de 57 años). Met.: Se inyectó el radioisótopo en brazo izquierdo, la sesión contó con dos exploraciones de descanso y ocho exploraciones con test de audición, a través de cuatro tipos: ósea por ultrasonido (U), vibro táctil (V), conducción sónica (A), conducción por hueso (B). Los estímulos fueron ráfagas de tonos de 1kHz, los ultrasonidos fueron 40kHz. Res.: La estimulación ultrasónica activó la porción medial de la circunvolución temporal transversal en personas con sordera. La transmisión ósea de los ultrasonidos activó constantemente la porción medial de la corteza auditiva primaria en personas con sordera profunda.

Levanen, S., Jousmaki, V. & Hari, R. (1998). Vibration Induced auditory cortex activation in a congenitally deaf adult. Artículo original.

Obj.: Detectar discriminación de frecuencias y áreas de procesamiento. Part.: 1 persona con sordera congénita. 6 personas oyentes. Met.: Actividad cerebral medida con MEG ante estímulos vibrotáctiles en palma y dedos izquierda, 180Hz Y 250 Hz de altavoz a tubo de plástico. Res.: Activación derecha de la corteza somatosensorial primaria (SI), similar en ambos grupos. En la persona sorda continuó la fuerte activación en supra temporal (ST) de corteza auditiva.

Richardson, B. L. & Symmons, M. A. (1997). Vibrotactile devices for the deaf: Are they out of touch. Artículo comunicación corta.

Obj.: Describir principios y dispositivos para la percepción del medio mediante la piel. Res.: La piel puede ser usada para localizar sonidos y selectivamente atender a un sonido específico en un ambiente ruidoso. La externalización es un fenómeno notable, con la que percibimos el mundo sin los receptores implicados en el proceso. El fracaso para producir un dispositivo táctil para sustituir la escucha ha sido atribuido más al enmascaramiento táctil.

Hickok, G., Poeppel, D., Clark, K., Buxton, R. B., Rowley, H. A. & Roberts, T. P. L. (1993). Sensory Mapping in a Congenitally Deaf Subject: MEG and fMRI Studies of Cross-Modal Non-Plasticity. Artículo original.

Obj.: Investigar si la estimulación sensorial puede obtener respuesta en áreas auditivas en personas con sordera congénita. Part.: 28 personas con sordera congénita hereditaria, diestros. Met.: Estimulación: auditiva (tonos puros de 1 kHz); visual (tableros de ajedrez y puntos de luz); somato sensorial (golpecitos en labio y lengua); y una tarea motora simple (propio ritmo realizado por golpeteo del dedo). Durante fMRI y MEG. Res.: En MEG activación de área visual, somato sensorial y motora, exceptuando corteza temporal superior (a1). No se observan efectos plásticos. En fMRI se observa activación de áreas visuales en condiciones de la tarea, ninguna activación en corteza auditiva primaria.

Darrow, A. A. (1993). The Role of Music in Deaf Culture: Implication for Music Educators. Artículo original.

Obj.: Examinar el rol de la música en la cultura sorda y relacionar los hallazgos con programas de educación musical en alumnos con discapacidad auditiva. Part.: 300 participantes de la comunidad sorda. Met.: Recolección de datos por

medio de cuestionarios, entrevistas personales, estudios de caso e información anecdótica. Res.: Muchas personas con sordera y audición residual disfrutaban bailar con la música, sintiendo la vibración y el ritmo.

Geers, A. E. (1986). Vibrotactile stimulation: Case study with a profoundly deaf child. Artículo original.

Obj.: Evaluar el dispositivo Tactaid I (vibrador óseo). Part.: Un niño con sordera profunda. Met.: Sesiones individuales, enfocadas en desarrollar escucha y lectura de labios con apoyo del dispositivo. Res.: Mejora en los puntajes de pruebas de lenguaje. Una ayuda vibrotáctil de un solo canal puede facilitar la adquisición del lenguaje en aquellos que no puedan beneficiarse de un audífono convencional.

Fahey, J. D. & Birken-shaw, L. (1972). Education of the Deaf. Bypassing the ear: The perception of music by feeling and touch. Artículo de divulgación.

Obj.: Mostrar un panorama de la percepción del sonido en personas con sordera. Res.: Experiencia musical principalmente a través del sentido del tacto, al sentir las vibraciones que se encuentren dentro del rango permitido. En 1802, Itard observa la respuesta de estudiantes con sordera ante estimulación de campanas, tambores y flauta. Diversas escuelas para desarrollar la percepción del sonido, en California y Toronto.

4. Discusión y conclusiones

Las investigaciones incluidas referentes a la recepción del sonido mediante la piel en personas con sordera conforman un total de 19 artículos, de los cuales 14 son investigaciones o artículos originales y 5 son artículos de revisión. Se incluye también una videoconferencia de Evelyn Glennie, percussionista sorda, y el libro titulado Principios de tacto audición: iniciación a la música para sordos, que son referencias importantes para considerar detalladamente. En general, los artículos recabados abordan tres diferentes tópicos: uno a nivel educativo, otro a nivel de investigación básica, y la creación de tecnología para percibir el sonido y una posible inclusión de este sector de la población.

En el tópico de educación, ya en 1802, Itard observó la respuesta de estimulación de campanas, tambores y flautas, en personas con sordera (Fahey & Birken-shaw, 1972), desde entonces se han propuesto métodos para enseñar música a partir de la percepción de la vibración. En estas propuestas se han utilizado diferentes técnicas como el contacto directo con el instrumento; el uso de materiales de conducción (como el piso de madera); el uso de pistas visuales; el desarrollo de la conciencia corporal al momento de experimentar la música, aprenderla o ejecutarla; la adaptación del entorno físico, por ejemplo eliminando el ruido blanco de la habitación, o mediante la disposición de alumnos (en medio círculo) de forma que puedan apreciar las expresiones faciales y corporales, y aprender a sentir el

pulso visual mediante vibraciones simpáticas a través del piso (Fulford, Ginsborg & Goldbart, 2001).

La investigación de Darrow (1993) aporta que las personas con sordera dura o con hipoacusia disfrutan bailar sintiendo la vibración, esto apoya la posibilidad de una educación musical en ese sector de la población. Un vivo ejemplo de esto es la percussionista sorda Evelyn Glennie, quien a los 12 años de edad perdió el sentido de la audición, lo que no le impidió continuar estudiando música, ahora es reconocida mundialmente. En una conferencia realizada dentro de la serie Ted Talks, Glennie menciona cómo usa la piel para sentir las vibraciones, a través de los pies (tocando descalza), describe cómo se va transmitiendo la vibración de la mano a todo el brazo, y cómo el sonido impacta también en su rostro. Hay que tener en cuenta que Glennie ya contaba con una idea de lo que es el sonido y la música, una representación mental, lo que cambia al momento de perder la audición es la forma de recibirla, que es mediante la sensibilidad táctil, es necesario tener una conciencia corporal para darle una reinterpretación a esas nuevas sensaciones.

Por otro lado De Monsternin (2009), en su libro “Principios de tacto audición: iniciación a la música para sordos”, describe la experiencia de enseñar música a una persona con sordera. La técnica consiste en la colocación de las manos en altavoces para sentir las vibraciones y explicar qué significa cada vibración, a partir de esto, De Monsternin desarrolla el concepto de tactoyente, esta nueva palabra implica que las personas con sordera son oyentes a partir del tacto. Este principio es aplicable no sólo a personas con sordera, también a las personas oyentes,

simplemente cuando estamos en un concierto o ejecutando un instrumento, podemos experimentar cómo nos envuelve el sonido. Somos seres que contamos con más de un sentido para conocer el mundo, en ocasiones lo olvidamos y nos limitamos únicamente a dos: la vista y la audición, pero habría que cuestionarnos ¿qué tan conscientes somos tanto de los otros sentidos, como por ejemplo de nuestro cuerpo? ¿a qué se debe?

Recordemos que la evolución generó un sistema especializado para detectar el sonido, que se encuentra localizado en la cavidad craneal temporal, es decir el sistema auditivo, cuyo desarrollo fue a partir de un grupo de vertebrados que contaban con un órgano situado en todo su cuerpo, encargado de la percepción vibratoria a través del agua (ver apéndice I). Se sugiere investigar a fondo si el sistema somatosensorial se desarrolló a partir de esas estructuras, pues aparentemente, esta función no se ha perdido del todo porque gracias a los mecanorreceptores con los que cuenta la piel es posible detectar vibraciones, presión y otros estímulos.

Durante el desarrollo prenatal, el feto al final del segundo mes tiene una cobertura cutánea delgada que es lo bastante sensible para reaccionar a la estimulación táctil, mientras que el sistema auditivo se encuentra completamente desarrollado a los seis meses, listo para poder escuchar las vibraciones del sonido transmitidas por el líquido amniótico (Papalia, Feldman & Martorell, 2004; Orjuela, 2011). Surge la cuestión de qué tanto las personas con sordera han estado

expuestas a vibraciones de sonido o simplemente del sonido mismo antes de perder la audición.

Pero ¿cómo es posible la recepción de estímulos sonoros mediante la piel? La piel es uno de los órganos más extensos con los que contamos y está compuesta por mecanorreceptores especializados, como los corpúsculos de Meissner y Pacini, que detectan vibraciones de alta frecuencia y relativamente de baja frecuencia respectivamente. También detectan cambios de presión y son los encargados de traducir la energía vibratoria a una señal nerviosa, dependiendo de la zona estimulada y la cualidad del estímulo.

En cuanto al tópico de investigación a nivel básico realizada en personas con sordera, cuando se les pide discriminar, mediante el tacto diferentes tipo de timbres (trombón, piano y cello), lo realizan adecuadamente, además de discriminar la magnitud y duración (Russo, Ammirante, & Fels, 2012). Además en otros estudios han reportado que existe una discriminación ante la voz humana y otros estímulos sonoros, algunos estudios usando resonancia magnética funcional (fMRI), encontraron activación en el Giro de Heschl (HG) (Ammirante, Russo, Good, & Fels, 2013; Auer Jr, Bernstein, Sungkarat & Singh, 2007). Otros estudios realizados con técnicas de imágenes cerebrales como por Tomografía por emisión de positrones (PET) la trasmisión ósea de ultrasonidos activó constantemente la porción medial de la corteza auditiva primaria en personas con sordera profunda (Imaizumi et al. 2000).

Estudios realizados en personas con sordera congénita (ver apéndice III) ayudan a comprender la organización y posibilidades de reorganización de la corteza auditiva. Algunos estudios han encontrado preservación del volumen cortical en la circunvolución del giro de Heschl y el plano temporal (PT) (Penhune, Cismaru, Pierre, Pettitto y Zatorre, 2003); también preservación de la asimetría interhemisférica mayormente hacia la izquierda en HG y PT (Emmorey, Allen, Bruss, Schenker & Damasio, 2003); actividad en la corteza auditiva durante el procesamiento del lenguaje de señas y estímulos visuales (Finney et al., 2001; Newman et al., 2010; Scott, Karns, Dow, Stevens & Neville, 2014); y mayor procesamiento visual periférico bajo condiciones de atención (Scott et al., 2014).

De estas investigaciones es preciso recalcar que no todas hacen la diferenciación del tipo de sordera, ni especifican el momento de adquisición o las causas. Sería necesario considerar estas variables para futuras investigaciones, para tener un mejor entendimiento de lo que ocurre.

En lo referente a la música y las personas con sordera, el avance tecnológico ha permitido el desarrollo de aparatos para traducir elementos musicales a señales vibratorias, por ejemplo mediante aplicaciones para descargar en los dispositivos móviles. Los mecanismos de inclusión de las personas con sordera también implican invitar a las personas a conciertos o clubes donde puedan sentir la vibración sonora mediante tarimas o globos cilíndricos; y el uso de apoyos visuales, por ejemplo si la canción cuenta con letra se puede hacer la interpretación de ésta

o de la intención que la música tiene, en lenguaje de señas a través de una pantalla (Grierson, 2008; Maler, 2013).

Dentro de las limitaciones en esta investigación se debe considerar que la búsqueda se realizó considerando sólo dos idiomas (español e inglés), habría que realizar búsquedas también en otros idiomas.

En conclusión la realización de este estado del arte permite vislumbrar qué se han realizado estudios referente al tema, son pocos en comparación con temas como implantes cocleares. Sin embargo no dejan de ser importantes ya que abre nuevas posibilidades para investigaciones futuras. Eventualmente, se podrán compaginar estos avances con cuestiones musicales, con el objetivo final de entender de qué manera las personas con sordera congénita desarrollan la percepción y/o experiencia musical, a través de su conciencia corporal y la sensibilidad táctil ayudado de otros sentidos como la vista.

Coda: Para futuras investigaciones se pretende evaluar si las personas con sordera congénita profunda, al no contar con una representación del sonido, perciben elementos musicales como timbre, ritmo y tempo, a partir de la recepción del sonido por medio de la piel.

Referencias

- Ammirante, P., Russo, F. A., Good, A. & Fels, D. I. (2013). Feeling Voices. *Plos ONE*, 8 (1), 1-5. doi: 10.1371/journal.pone.0053585
- Auer Jr, E. T., Bernstein, L. E., Sungkarat, W. & Singh, M. (2007). Vibrotactile Activation of Auditory Cortices in Deaf versus Hearing Adults. *Neuroreport*. 18 (7), 645-648.
- Branden, J. P. (1994). Deafness as a Natural Experiment. In *Deafness deprivation and IQ*. (15-63). New York: Plenum Press.
- Carlson, R. N., (2009). Estructura y funciones de las células del sistema nervioso. En *Fisiología de la conducta* (30-105) (Trad. Ramos, P. M. J., Muñoz, T. C. y Rodríguez, D. F). Madrid: Pearson educación. Edición en castellano de *Physiology of Behavior*. USA: Allyn and Bacon, 2003.
- Carlson, R. N. (2009). Audición, Sentidos somáticos y sentidos químicos. En *Fisiología de la conducta* (223-256) (Trad. Ramos, P. M. J., Muñoz, T. C. y Rodríguez, D. F). Madrid: Pearson educación. Edición en castellano de *Physiology of Behavior*. USA: Allyn and Bacon, 2003.
- Darrow, A. A. (1993). The Role of Music in Deaf Culture: Implication for Music Educators. *Journal of Research in Music Education*, 41 (2), 93-110.
- De Monsternin H. J. (2009). *Principios de tacto audición: iniciación a la música para sordos*. España: Gran Vía.
- Emmorey, K., Allen, J. S., Bruss, J., Schenker, N. & Damasio, H. (2003). A morphometric analysis of auditory brain regions in congenitally deaf adults. *PNAS*, 100 (7)1049-1054.

- Emmorey, K., Weisberg, J. W., McCullough, S. & Petrich, J. A. F. (2013). Mapping the reading circuitry for skilled deaf readers: An fMRI study of semantic and phonological processing. *Brain & Language*, 126 (2013), 169-180.
- Fahey, J. D. & Birken-shaw, L. (1972). Education of the Deaf. Bypassing the ear: The perception of music by feeling and touch. *Musical Educators Journal*, 58 (8), 44-49+127-128.
- Finney, E. M., Fine, I. & Dobkins, K. R. (2001). Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf. *Nature Publishing Group*, 4 (12), 1171-1173.
- Fotiadou, E., Tsimaras, V. K., Guaga-zogluo, P. F., Sidiropoulou, M. P., Karamouzi, A. M. & Angelopoulou, N. A. (2006). Effect of rhythmic gymnastic on the rhythm perception of children with deafness. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20 (2), 298-303.
- Fulford, R., Ginsborg, J. & Goldbart, J. (2011). Learning not to listening: the experience of musicians with hearing impairments. *Music Education Research*, 13 (4), 447-464.
- Geers, A. E. (1986). Vibrotactile stimulation: Case study with a profoundly deaf child. *Journal of Rehabilitation Research*, 23 (1), 111-117.
- Glennie, E. (2003). How to truly listen. Conferencia en Ted Talks, California, Publicado en TED, Mayo 2007.
- Grierson, M. (2008). Making music with images: Interactive audiovisual performance systems for the deaf. Conferencia en EVA 2008. London.
- Goldstein, E. B. (2011). Percepción auditiva. En *Sensación y Percepción* (287-313) (Trad. Nuñez R. A. y Peralta, R. L.). México: Cenega Learning. Edición en castellano de *Sensation and Perception*, eighth edition. USA, Wodsworth

Cenegage Learning.

Goldstein, E. B. (2011). Percepción somatosensorial. En Sensación y Precepción (287-315) (Trad. Nuñez R. A. y Peralta, R. L.). México: Cenega Learning. Edición en castellano de Sensation and Perception, eighth edition. USA, Wodsworth Cenegage Learning.

Gómez, G. O. (Ed.) (2006). Registro electrofisiológicos auditivos. En Gómez, G. O. y Casas, M. A. M. Audiología básica. (173-208) (Trad. Nuñez R. A. y Peralta, R. L.). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

Good, A., Reed M. & Russo, F. A. (2014). Compensatory plasticity in the deaf brain: Efecst on perception of music. Brain Sci, 4, 560-674. doi: 10.3390/brainsci4040560

Hash, P. M. (2003). Teaching instrumental music to deaf and hearing students. Rime. 1 (1), 1.8.

Hickok, G., Poeppel, D., Clark, K., Buxton, R. B., Rowley, H. A. & Roberts, T. P. L. (1997). Sensory Mapping in a Congénitally Deaf Subject: MEG and fMRI Studies of Cross-Modal Non-Plasticity. Human Brain Mapping, 5; 437-444.

Imaizumi, S., et al. (2000). Ultrasound activates the auditory cortex of profoundly deaf subjects. Neuro Report, 12 (35), 583-586.

INEGI (2000). XII Censo General de Población y vivienda. México.

Jiménez, B. A. (2004). El estado del arte en la investigación en las ciencias sociales. Bogotá: UPN, Universidad Pedagógica Nacional, . 28-42.

Kandel, E. R., Schwartz, J. H. & Jessell, T. M. (2001). Audición. En Principios de Neurociencia (591-624)(Trad. Agudo, A. J. L., Alvarez, B. I., De dios, P. C. y Ruiz, A. F.). España: McGarw-Hill. Edición en castellano de Principles of

- Neural science. New York: McGraw-Hill Medical, 2000.
- Kral, A., Popper, A. N. & Fay, R. R. (2013). Molecular etiology of deafness and cochlear consequences. En *Deafness* (17-39). New York: Springer.
- Karns, C. M., Dow, M. W. & Neville, H. J (2012). Altered cross-modal processing in the primary auditory cortex of congenitally deaf adults: A visual somatosensory fMRI study with a double flash illusion. *The journal of Neuroscience*, 32 (28), 9626-9638. doi: 10.1523/JNEUROSCI.6488-11.2012
- Levanen, S., Jousmaki, V. & Hari, R. (1998). Vibration Induced auditory cortex activation in a congenitally deaf adult. *Brief Communication*, 8 (15), 869-872.
- Levanen, S. & Hamdort, D. (2001). Feeling vibrations- enhanced tactile sensitivity in congenitally deaf humans. *Neuroscience Letters*, 300 (2001). 75-77.
- Londoño, P. O. L., Maldonado, G. L. F. y Calderon, V. L. C. (2014). Guía para construir estados del arte. Bogota: International Corporation of Networks of Knowledge.
- Malamud, K. C., Estañol, V. B., Ayala, A. S., Senties, M. H. y Hernandez, C. M. A. (2014). Fisiología de la vibración. *Rev Mex Neuroci*, 15 (3), 163-170.
- Maler, A. (2013). Songs for hands: Analyzing interactions of sign language and music. *A journal of the society for music theory*, 19 (1), 1-15.
- Molina, M. N. P. (2005). ¿Qué es el estado del arte?. *Ciencia y tecnología para la salud visual y ocular*, 5, 73-75.
- Organización Mundial de la Salud. (2015). Sordera y pérdida de la audición. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs300/es/>

- Orjuela, R. J. M. (2011). Efecto Ansiolítico de la musicoterapia: aspectos neurobiológicos y cognoscitivos del procesamiento musical. *Rev. Colomb. Psiquiat.* 20 (4).748-759.
- Otero, L. (2015). La sordera: Una oportunidad para descubrir la música. *Revista Española de Discapacidad*, 3 (2), 133-137. doi: <http://dx.doi.org/10.5569/2340-5104.03.02.09>
- Papalia, D. E., Feldman, R. D. & Martorell, G. (2005). Formación de una nueva vida. En *Desarrollo humano* (67-114) (Trad. Ortiz, S. M. E.). México: McGraw-Hill. Edición en castellano de *Human development*. USA: McGraw-Hill, 2004.
- Penhune, V. B., Cismaru, R., Dorsaint-Pierre, R., Petitto, L. A. & Zatorre, R. (2003). The morphometry of auditory cortex in the congenitally deaf measured using MRI. *NeuroImage*, 20 (2003), 1215-1225. doi: 10.1016/S1053-8119(03)00373-2
- Paul, P. V. & Whitelaw, G. M. (2011). *Hearing and Deafness*. Canadá: Jones and Bartlett Publishers.
- Pino, L. F. R. (2007). La cultura de las personas sordas. Disponible en: <http://www.cultura-sorda.eu>
- Purves, D., et al. (2007). Sistema somatosensitivo. En *Neurociencia* (205-308) (Trad. Sklajin, D.). España: Editorial Panamericana. Edición en castellano de *Neuroscience*. USA, Sinauer Associates inc, 2004.
- Purves, D., et al. (2007). Sistema auditivo. En *Neurociencia* (309-343)(Trad. Sklajin, D.). España: Editorial Panamericana. Edición en castellano de *Neuroscience*. USA, Sinauer Associates inc, 2004.

- Purves, D., et al. (2008). The perception Auditory Stimuli. In Principles of Cognitive Neuroscience (109-171). USA: Sinauer Associates inc.
- Purves, D., et al. (2008). Mechanosensory and Chemosensory Perception. In Principles of Cognitive Neuroscience (172-198). USA: Sinauer Associates inc.
- Ramírez, C. R. (1987). Metodos y diagnóstico. En Conoce al niño sordo (49-63). España: Editorial Cepe.
- Ranjbar, P. & Stenstorm, I. (2013). Monitor a vibrotactile aid for enviromental perception: A field evaluation by four people with severe hearing and vision impairment. The Scientific World Journal, 2013, 1-11.
- Richardson, B. L. & Symmons, M. A. (1997). Vibrotactile devices for the deaf: Are they out of touch en International Cochlear Implants, Speech and Hearing Symposium. Australia.
- Rochette, F., Moussard, A. & Bigand, E. (2014). Music lessons improve auditory perceptual and cognitive performance in deaf children. Frontiers in Human Neuroscience, 8, 1-9. doi: 10.3389/fnhum.2014.00488
- Rosenzweig, M. R. & Leiman, A. I. (2004). Principios de procesamiento y experiencia sensorial: tacto y dolor. En Psicología Fisiológica (Trad. Pérez, P. M. y Escobar, A. M.). España: McGraw-Hill. Edición en castellano de
- Russo, F.A., Ammirante, P. & Fels, D. I. (2012). Vibrotactile discrimination of musical timbre. Journal of Experimental Psychology, 38 (4), 822-826. doi: 10.1037/a0029046
- Scott, G. D., Karns, C. K., Dow, M. W., Stevens, C. & Neville, H. J. (2014). Enhanced peripheral visual processing in congenitally deaf humans is supported by

multiple brain regions, including primary auditory cortex. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8 (177), 1-9.

Tan, S.L. Pfordresher, P. & Harre R. (2010). The acoustic of Music. En *Psychology of music* (9-29). From sound to significance. USA: Psychology press.

Tan, S.L. Pfordresher, P. & Harre R. (2010). Sound and the neurophysiology of hearing En *Psychology of music* (32-70). From sound to significance. USA: Psychology press.

Verillo, R. T. (1992). Vibration Sensation in Humans. *Music Perception*, 9 (3), 281-302.

Valverde, V. I. (2012). La sordera y las personas con discapacidad auditiva: Una revisión documental. (Tesis inédita de licenciatura en Psicología). UNAM, México.

Apéndice

I. Filogenia del sistema auditivo y percepción en otras especies

La evolución del sistema auditivo se ha dado por la adaptación a las exigencias del nicho ecológico en el que se desarrolla. No todas las especies perciben el sonido de la misma manera, debido a que las estructuras con las que cuentan son diferentes. La evolución del oído se da a partir de estructuras de invertebrados inferiores de la era paleozoica, en el Phylum arthropoda se encuentra el primer órgano especializado para detectar el movimiento vibratorio del sonido (Gómez, 2006). Otros órganos con los que contaban los artrópodos eran la pila en cinta (sensible a sonidos de 2.000 Hz), el órgano de Johnston (cavidad atravesada con células sensoriales), y órgano timpánico (una membrana de cutícula) capaz de discriminar intensidades de 5.00 Hz hasta 30.000 Hz (Gil-Carcedo, 1995).

En vertebrados inferiores, por ejemplo animales acuáticos, se ha encontrado el órgano de línea lateral (antecesora del órgano de Corti) una cavidad tubular o ámpular que realiza la discriminación de vibraciones producidas por las turbulencias del agua, permitiendo una sensibilidad táctil. El desarrollo del oído interno comienza en los peces a partir de la evolución de la vejiga natatoria, órgano que tenía la función de ayudar al equilibrio, la vibración del agua produce la contracción y expansión de esta vejiga, lo que incrementaba la sensibilidad a vibraciones (Rosenzweig, 2004).

A partir del cambio de la vida acuática a la terrestre se requirió de numerosas adaptaciones, en las que se incluyó el desarrollo de un aparato auditivo más eficaz

que permitiera captar el sonido aéreo, cada adaptación fue retenida por la selección natural porque servía para una función. Los huesecillos (martillo, yunque y estribo) evolucionaron a partir de la mandíbula de los reptiles (Carlson, 2003/2009). El pabellón auricular aparece, en forma rudimentaria, en algunos lagartos o cocodrilos, y se forma de dos relieves cutáneos. Tienen la función de aproximarse y ocluir la entrada del conducto auditivo externo en mamíferos que viven en el agua, bajo la tierra, o en algunas aves nocturnas. La forma y tamaño depende de las necesidades que requieran (Ackerman, 1990/1992).

Comparando entre diferentes mamíferos, los rangos de percepción son distintos, algunos alcanzan frecuencias mucho más altas o bajas. Por ejemplo, los gatos perciben hasta 50.000 Hz, mientras que los murciélagos perciben desde 15 a 120.000 Hz, ellos emiten sonidos de alta frecuencia que son reflejados por los objetos y así perciben el medio, es una forma de ubicación mediante ecolocalización, también conocida como sonar. Del mismo modo, las ballenas y los delfines emiten sonidos de alta frecuencia para reconocer características espaciales, pero en el agua. Los cocodrilos y elefantes captan los infrasonidos del medio. Los insectos tienen el órgano timpánico en el abdomen y en las patas, son órganos que traducen la onda sonora del aire a impulsos eléctricos (Gil-Carcedo, 1995).

II. Situación actual de la sordera en México

De acuerdo con el XII Censo General de Población y Vivienda, realizado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2000), en México un total de 281,793 personas presentan alguna discapacidad auditiva, de ellos, 125,979 son mujeres y 155,814 son hombres, lo que implica una prevalencia de 2.9 por cada 1000 habitantes. El 16.2% de esta población presenta discapacidad auditiva presente desde el nacimiento, el 26.5% debido a una enfermedad, y un 51% ocasionada por la edad o accidentes.

En 1866, Eduardo Huet Merlo inicia el proyecto de crear una escuela de sordomudos, posteriormente, con el decreto del presidente Benito Juárez, se funda la Escuela Nacional de Sordomudos en la Ciudad de México. La educación para personas sordas en el siglo XX estuvo marcada por la corriente oralista, dejando de lado el uso de la Lengua de Señas Mexicana (LSM). La LSM es la lengua de la comunidad sorda, consiste en una serie de signos gestuales articulados con las manos y acompañados de expresiones faciales, miradas intencionales y movimiento corporal, dotados de una función lingüística (). Coexiste como una lengua dominante, pero no es la única que se utiliza, algunas comunidades de la península de Yucatán cuentan con su propia Lengua de Señas Maya (LSMy) o Lengua de Señas Maya Yucateca.

Se crearon escuelas de educación especial, utilizando la filosofía de la comunicación total, donde se empleaba lectura labio facial, escritura, símbolos,

mímica, gestos y el uso de señas. En el siglo XXI se propone una educación bilingüe, utilizando la LSM y el español o alguna otra lengua. Diversas organizaciones religiosas también contribuyeron a la enseñanza y conservación de la LSM, además de representar un lugar de convivencia para la comunidad de personas con sordera, se brindaba la educación primaria y la capacitación en algún oficio como bordado, mecanografía, sastrería carpintería, impresión, dibujo, pintura.

En la actualidad la educación brindada a las personas con sordera, es mediante Centros de Atención Múltiple (escuelas de educación especial), donde se imparte el nivel de educación básico, en él se incluyen diversas personas con capacidades diferentes y el grado de educación básica abarca hasta la secundaria. Los educadores deberán contar con el conocimiento del LSM para implementar las clases, o contar con un intérprete que realice la traducción al mismo tiempo en que se está realizando la clase. En diversas ocasiones las personas no continúan los estudios a nivel medio o superior debido a la carencia de un modelo educativo inclusivo, las opciones de educación son muy pocas y no se cuenta con los recursos económicos. La imposición de que adquieran el lenguaje oral, no permite el desarrollo de su lengua natural de señas, lo que ocasiona que no se desarrolle el lenguaje y existan baches en la comunicación, retrasando el desarrollo cognitivo de las personas (Romero, 2014).

El término “comunidad sorda” se refiere a un grupo o grupos de personas con sordera, que utilizan la lengua de signos y comparten experiencias y objetivos, tienen conciencia de una identidad en común y mantienen un compromiso individual

con el grupo. No sólo las personas con sordera forman parte de esta comunidad, también incluye a oyentes que conocen y respetan el lenguaje de señas como medio de comunicación, además de identificarse con ellos (Sacks, 1989/2003; Infante, 2005).

La comunidad sorda presenta una actitud diferente ante el déficit auditivo y por el uso de la LS, se reconocen como miembros de una comunidad lingüística diferente, la mayoría son hijos de padres oyentes, y presentan costumbres propias y tradiciones. Dentro de la comunidad hay personas que no sólo manejan el LSM, sino también otros como el lenguaje de señas americano (ASL) o el yucateco (LSMy), además tienen conocimiento del español escrito, el español oral, el español signado, o la lectura de labios. También existe el uso de señas caseras/familiares que son resultado del poco acceso a una educación, y un ambiente privado social y cultural, por ejemplo, en el caso de quienes pueden vivir en ambientes rurales alejados.

Las personas con sordera además de percibirse dentro de una comunidad lingüística minoritaria, tienen en cuenta que su realidad es compleja, y llegan a ser discriminados y estigmatizados por solo ser catalogados dentro de una discapacidad, cuando simplemente es una forma diferente de percibir el medio y una comunicación distinta. Las personas con sordera reiteran la necesidad de transformar la realidad social, eliminando prejuicios y discriminación, fomentando la igualdad de oportunidades y la plena participación en la vida social y política, asimismo, defienden su pertenencia a la comunidad sorda (Pino, 2007).

El 30 de julio del 2015 se inauguró, en la biblioteca José Vasconcelos de la Ciudad de México, la primera sala de Lenguaje de Señas. En ella se encuentran materiales de apoyo, como video-libros, material impreso, recursos de internet, etc., disponibles para consulta en sala o a préstamo. Sin embargo, aún falta por continuar el desarrollo de más espacios, y procurar que los espacios ya creados continúen en desarrollo y preservándose.

El 24 de noviembre del 2015 el sector salud anunció que se duplicará la cifra de implantes cocleares para atender los problemas de audición en niños que nacen con sordera profunda y que están inscritos en el programa de Seguro Médico Siglo XXI. En el 2012, el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias obtuvo el certificado como Centro Nacional de Implante coclear. El tema de la sordera es poco conocido, no hay mucha difusión de la información, o la información que se brinda es errónea o estigmatizada debido a la falta de preparación o conocimiento de la misma. Muchas veces el implante coclear es visto como la solución inmediata, pero ¿qué pasa con las personas que no tienen acceso al implante o no son compatibles para usarlo?

Actualmente, en México existen diversas asociaciones civiles, instituciones, organizaciones y otros organismos que trabajan a favor de la comunidad de sordos:

- Instituto Nacional de la Comunicación Humana (INCH).
- Instituto Nacional de Rehabilitación “Luis Guillermo Ibarra Ibarra”.

- Centro para la Inclusión Social del Sordo (IncluSor).
- Federación Mexicana de Sordos, A. C. (FEMESOR).
- Asociación Mexicana de Sordos.
- Centro Cultural del Sordo.
- Instituto para el Desarrollo integral del Sordo ABP.
- Unión Nacional de Sordos de México.
- Instituto Pedagógico para el Problema del Lenguaje (IPPLIAP).
- Instituto Rosendo Olleta.
- Centro Clotet.
- Programa de Orientación al Sordo (PROSOR).
- Centro Oaxaqueño de Rehabilitación de Audición y Lenguaje (CORAL).
- Asociación para Sordos del Estado de Yucatán (ASEY).
- Asociación Silente de Jalisco.
- Asociación de Discapacidad Auditiva, Integración y Superación Educativa de Veracruz, A. C.
- Coalición de Personas Sordas del DF (CoPeSor).
- Ándale Para Oír, Padres de Niños Sordos, A. C.
- Señas Libres.
- Seña y Verbo Teatro de sordos.
- Melodía en Nuestras Manos LSM.

III. Otros estudios realizados en personas con sordera.

Autores	Año	Titulo	Técnica	Objetivo	Participantes	Procedimiento	Resultados
Neville, H. J., et al.	1998	Cerebral organization for language in deaf and hearing subjects: Biological constraints and effects of experience.	fMRI (4T) Diseño de bloques.	Comparación en organización y procesamiento cerebral al procesar oraciones en LSA e inglés.	Oyentes monolingües, personas con sordera congénita bilingües, oyentes bilingües.	Presentación de bloques de oraciones en Inglés y LSA (video).	El procesamiento de ASL en personas con sordera activa el hemisferio izquierdo dentro de área de Broca y Wernicke, de manera similar a oyentes cuando leían inglés.
Finney, E. M., Fine, I. & Dobkins, K. R.	2001	Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf.	fMRI (1.5T).	Medir actividad visual evocada.	6 personas con sordera profunda. 6 oyentes.	Movimiento de patrones de puntos, presentados en el campo visual derecho o izquierdo.	Activación de la corteza auditiva derecha en el procesamiento visual en los participantes sordos.

Penhune, V. B., Cismaru, R., Dorsaint-Pierre, R., Petitto, L. A. & Zatorre, R.	2003	The morphometry of auditory cortex in the congenitally deaf measured using MRI.	MRI (1.5T).	Examinar la organización estructural de dos regiones corticales Giro Heschl (HG) y Plano Temporal (PT).	12 adultos con sordera congénita. 10 oyentes.	Morfometría.	Preservación de volumen en HG Y PT, Aumento en densidad de materia gris, Asimetría interhemisférica
Emmorey, K., Allen, J. S., Bruss, J., Schenker, N. & Damasio, H.	2003	A morphometric analysis of auditory brain regions in congenitally deaf adults.	MRI (1.5T)	Investigar por MRI neuroanatomía de HG Y PT (corteza auditiva).	25 personas con sordera congénita(21 profundos, 3 severos, 1 moderado). 25 oyentes.	Morfometría	No hay diferencias en el volumen de materia gris en HG. Mayor volumen de materia gris y blanca en STG. Asimetría hacia la izquierda en HG y PT.

Buchsbaum, B., Pickell, B., Love, T., Hatrak, M., Bellugi, U. & Hickok, G.	2005	Neural substrates for verbal working memory in deaf signers fMRI study and lesion case report.	fMRI (1.5T)	Explorar la base neuronal del lenguaje de signos	10 personas con sordera congénita nativos de LS.	Presentación de signos y pseudosignos (sin significado pero conformado con reglas de LSA) en video.	Activación de regiones: giro frontal inferior posterior, corteza premotora dorsal, corteza dorsoparietal posterior. Lesión frontoparietal izquierda puede producir déficits en memoria a corto plazo en LS.
Shibata, D. K.	2007	Differences in brain structure in deaf persons on MRI studied with Voxel-Based morphometry.	MRI (1.5T) basada en Voxel.	Comparar el volumen estructural del cerebro usando MRI.	53 personas con sordera congénita prelocutivos. 51 oyentes.	Morfometría	Asimetría hemisférica en la región occipital izquierda y presilviana. Ampliación de circunvolución temporal. Déficit de materia blanca en STG izquierda.

Campbell, R. & Capek, C.	2008	Seeing speech and seeing sign: Insights from a fMRI study.	fMRI (1.5T) Alternancia de bloques.	Explorar el grado de activación de distintas regiones, comparando la condición de observar un discurso vs lenguaje de señas.	Personas con sordera (profunda severa) nativos LSB. Grupo de oyentes.	Presentación de bloques, ejemplo de palabras habladas (lectura de labios), signos manuales (LSB).	Ambos grupos mostraban extensa activación en región perisilviana de ambos hemisferios. Mayor activación en la corteza temporal superior en lectura de labios en sordos.
Newman, A. J., Supalla, T., Hauser, P. C., Newport, E. L. & Bavelier, D.	2010	Prosodic and narrative processing in American Sign Language: An fMRI study.	fMRI (1.5T) Diseño de bloques.	Determinar la organización neuronal en el discurso narrativo incluyendo prosodia.	14 personas con sordera congénita.	Presentación de oraciones de LSA, incluyendo prosodia (expresiones faciales) y sin ella.	Activación bilateral presilviana, ganglios basales, región temporal medial. Activación del HD en circunvolución frontal inferior y surco temporal superior mayor en oraciones que

							contienen recursos narrativos.
Hu, Z., et al.	2011	Brain activations associated with sign production using word and picture inputs in deaf signers.	fMRI (1.5T)	Identificar el sustrato neural asociado a palabras en LSC comparado con fotos.	12 estudiantes con sordera (2 personas con sordera congénita).	Presentación de 50 imágenes en b/n y 50 palabras concretas en un diseño de bloques.	Giro supra marginal activado para estímulos de palabras escritas. Activaciones posteriores en la circunvolución temporal derecha, la circunvolución fusiforme, circunvolución occipital y el cerebelo bilateral ante las imágenes.

Vachon, P., et al.	2013	Reorganization of auditory, visual and multimodal areas in early deaf individuals.	fMRI (1.5T)	Comparar el substrato neural procesado en vía visual dorsal y ventral.	16 personas con sordera (1 profundo) congénitos perlinguales. 16 oyentes.	Identificar la coherencia de movimiento de flechas en un fondo negro (100%, 30% y 0% de coherencia).	Activación unilateral de PT y STG. Mayor extensión en regiones de la corteza auditiva primaria. Activación preferente de la corteza auditiva derecha ante estímulos visuales.
Emmorey, K., Weisberg, J. W., McCullough, S. & Petrich, J. A. F.	2013	Mapping the reading circuitry for skilled deaf readers: An fMRI study of semantic and phonological processing.	fMRI (3T) Diseño de bloque pseudo aleatorio	Examinar el circuito en la habilidad lectora en sordos lectores que tienen LSA como primera lengua.	40 personas con sordera severa profunda (12 adquirieron el LS desde el nacimiento por padres, 3 antes de 5 años, 30 eran congénitos). 40 oyentes.	Lectura de dos listas de 80 palabras (concretas y abstractas).	Procesamiento fonológico en el giro precentral izquierdo. Segregación funcional anteroposterior entre los procesos semánticos y fonológicos en la corteza inferior prefrontal izquierda.

Scott, G. D., Karns, C. K., Dow, M. W., Stevens, C. & Neville, H. J.	2014	Enhanced peripheral visual processing in congenitally deaf humans is supported by multiple brain regions, including primary auditory cortex.	fMRI Secuencia pseudo aleatoria.	Determinar si la corteza auditiva primaria apoya el procesamiento visual en personas italianas con sordera.	9 personas con sordera profunda congénita hereditaria. 7 personas oyentes.	Detectar estímulos visuales que se presentaban intermitentemente a un ritmo rápido (14 Hz).	Mayor señal de HG en la respuesta visual periférica. Procesamiento visual periférico en corteza auditiva al detectar el movimiento.
Lyness, C. R., Alvarez, I., Sereno, M. I. & McSweeney, M.	2014	Microstructural differences in the thalamus and thalamic radiations in the congenitally deaf.	MRI (1.5T)	Identificar la plasticidad subcortical específicamente del tálamo en personas con sordera.	15 personas con sordera congénita (severos o profundos, LSB aprendido después de 10 años). 15 personas oyentes.	Morfometría (Tractografía).	Las microestructuras visuales frontales están alteradas en personas con sordera. Decremento del tracto tálamo-cortical. Cambios en conexiones frontoparietales.

Iversen, J. R., Patel, A. D., Nicodemus, B., & Emmorey, K.	2015	Synchronization to auditory and visual rhythms in hearing and deaf individuals.	Medir sincronía motora, usando variedad de estímulos isocronicos.	Comparar la sincronización de metrónomos flasheados en personas con sordera profunda y personas oyentes.	23 personas con sordera severa, con LSA (20 presnetaron sordera antes de los tres años). 22 personas oyentes.	Tres estímulos rítmicos (cuadro intermitente visual, pelota animada que rebota y tonos auditivos sinusoidales de 500Hz.), presentado en bloques aleatoriamente , tenían que sincronizar en un parche de percusión,	Las personas con sordera resultaron buenos en sincronía de estímulos visuales, en comparación con personas oyentes. No es necesaria una experiencia con ritmos auditivos.
---	------	---	---	--	--	--	---

Referencias del apéndice

- Ackerman, D. (1992). Una historia natural de los sentidos (Trad. Aira, C.). Barcelona: Anagrama. Edición en castellano de A Natural History of Senses. New York: Random House, 1990.
- Buchsbaum, B., Pickell, B., Love, T., Hatrak, M., Bellugi, U. & Hickok, G. (2005). Neural substrates for verbal working memory in deaf signers fMRI study and lesion case report. *Brain and Language*, 95 (2005), 265-272. doi: 10.1016/j.bandl.2005.01.009
- Campbell, R. & Capek, C. (2008). Seeing speech and seeing sign: Insights from a fMRI study. *International Journal of Audiology*, 47 (suppl.2). s3-s9. doi: 10.1080/14992020802233907
- Carlson, R. N. (2009). Audición, Sentidos somáticos y sentidos químicos. En *Fisiología de la conducta* (223-256) (Trad. Ramos, P. M. J., Muñoz, T. C. y Rodríguez, D. F). Madrid: Pearson educación. Edición en castellano de *Physiology of Behavior*. USA: Allyn and Bacon, 2003.
- Emmorey, K., Allen, J. S., Bruss, J., Schenker, N. & Damasio, H. (2003). A morphometric analysis of auditory brain regions in congenitally deaf adults. *PNAS*, 100 (7)1049-1054.
- Emmorey, K., Weisberg, J. W., McCullough, S. & Petrich, J. A. F. (2013). Mapping the reading circuitry for skilled deaf readers: An fMRI study of semantic and phonological processing. *Brain & Language*, 126 (2013), 169-180.
- Finney, E. M., Fine, I. & Dobkins, K. R. (2001). Visual stimuli activate auditory cortex in the deaf. *Nature Publishing Group*, 4 (12), 1171-1173.

- Gil-Carcedo, L. M. (1995). Ontogenia y filogenia del oído. En *Otología* (23-40). España: Menarini.
- Hu, Z., et al. (2011). Brain activations associated with sign production using word and picture inputs in deaf signers. *Brain & Language*, 116 (2011), 64-70. doi:10.1016/j.bandl.2010.11.006
- Infante, M. (2005). *Sordera. Mitos y realidades*. San José, C. R.: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Iversen, J. R., Patel, A. D., Nicodemus, B., & Emmorey, K. (2015). Synchronization to auditory and visual rhythms in hearing and deaf individuals. *Cognition*, 134, 232-244.J
- Lyness, C. R., Alvarez, I., Sereno, M. I. & McSweeney, M. (2013). Microstructural differences in the thalamus and thalamic radiations in the congenitally deaf. *NeuroImage*, 100 (100), 347-357. doi: 10.1016/j.neuroimage.2014.05.077
- Neville, H. J., et al. (1998). Cerebral organization for language in deaf and hearing subjects: Biological constraints and effects of experience. *Proc Natl. Sci. USA*, 95, 922-929.
- Newman, A. J., Supalla, T., Hauser, P. C., Newport, E. L. & Bavelier, D. (2010). Prosodic and narrative processing in American Sign Language: An fMRI study. *Neuroimage*, 52, 669-676. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.03.055
- Pino, L. F. R. (2007). *La cultura de las personas sordas*. Disponible en: <http://www.cultura-sorda.eu>
- Penhune, V. B., Cismaru, R., Dorsaint-Pierre, R., Petitto, L. A. & Zatorre, R. (2003). The morphometry of auditory cortex in the congenitally deaf measured using

MRI. *NeuroImage*, 20 (2003), 1215-1225. doi: 10.1016/S1053-8119(03)00373-2

Rosenzweig, M. R. & Leiman, A. I. (2004). Principios de procesamiento y experiencia sensorial: tacto y dolor. En *Psicología Fisiológica* (Trad. Pérez, P. M. y Escobar, A. M.). España: McGraw-Hill. Edición en castellano de

Romero, M. B. (2014). Estudio de caso: Enseñanza Aprendizaje del lenguaje escrito en niños sordos en una institución educativa bilingüe (Tesis para obtener grado de licenciada en Psicología). UNAM, México.

Sacks, O. (2003). Veo una voz. Viaje al mundo de los sordos (Trad. Alvarez, F. J. M.). España: Editorial Anagrama. Edición en castellano de *Seeing Voices: A Journey into the World of Deaf*. Berkeley: University of California Press, 1989.

Shibata, D. K. (2007). Seeing speech and seeing sign: Insights from a fMRI study. *Am J Neuroradiol*, 28, 243-249.

Scott, G. D., Karns, C. K., Dow, M. W., Stevens, C. & Neville, H. J. (2014). Enhanced peripheral visual processing in congenitally deaf humans is supported by multiple brain regions, including primary auditory cortex. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8 (177), 1-9.

Vachon, P., et al. (2013). Reorganization of the auditory, visual and multimodal areas in early deaf individuals. *Neuroscience*, 245 (2013), 50-60.