



VEREDICTO

Los Miembros del Jurado, profesores Carlos Mattera (Tutor-Coordinador), María Ríos y Roberto Rojas (Jurados), designados por el Consejo de la Escuela de Medios Audiovisuales, de la Facultad de Humanidades y Educación, de la Universidad de Los Andes, para conocer y dictaminar sobre la **Memoria de Grado** titulada **"NEUROCIENCIA COGNITIVA DE LA AUDICIÓN APLICADA AL DISEÑO SONORO AUDIOVISUAL"** presentada por la Bachiller **Gabriela Virginia Santiago**, Cédula de identidad N° **20.434.522**, para optar a la Licenciatura en Medios Audiovisuales. Reunidos en La Cátedra Simón Bolívar, de la Facultad de Humanidades y Educación, después de efectuado el acto académico, este jurado decidió su aprobación, con la calificación de **VEINTE (20) puntos**; **Mención Publicación.**

En Mérida a los 10 días del mes de octubre de dos mil doce.




Profesora

María Ríos


Profesor

Carlos Mattera


Profesor

Roberto Rojas



República Bolivariana de Venezuela
Universidad de Los Andes
Facultad de Humanidades y Educación
Escuela de Medios Audiovisuales

Neurociencia cognitiva de la audición aplicada al diseño sonoro audiovisual.
Memoria de Grado para obtener la Licenciatura en
Medios Audiovisuales,
Mención Sonido.

Autora: Br. Gabriela Virginia Santiago

C.I. V-20.434.522

Tutor Académico: Prof. Carlos Arturo Mattera

Asesor Externo: M.Sc. José Erre

Mérida, Octubre 2012



**UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES**
V E N E Z U E L A

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE HUMANIDADES Y EDUCACIÓN
ESCUELA DE MEDIOS AUDIOVISUALES

Neurociencia cognitiva de la audición aplicada al diseño sonoro audiovisual.
Memoria de Grado para obtener la Licenciatura en
Medios Audiovisuales,
Mención Sonido.

Autora: Br. Gabriela Virginia Santiago
Tutor Académico: Prof. Carlos Arturo Mattera
Asesor Externo: M.Sc. José Erre

RESUMEN

En la constante búsqueda de fortalecer el instinto artístico que domina la creación audiovisual, es momento de expandir los horizontes y dar paso a la incursión de la neurociencia. Si se establece una jerarquía de las actividades cerebrales, debe ubicarse en primer lugar la regulación de las funciones básicas del organismo, en segundo lugar todo lo referente al movimiento, y en tercer lugar la transducción de estímulos externos a señales electroquímicas que da lugar a procesos cognitivos superiores. Dichos procesos son el punto de partida de esta investigación, en la que se intenta proponer un minucioso estudio del proceso cognitivo de la audición que pueda asociarse de forma comprobable con la concepción del diseño sonoro en producciones audiovisuales.

Palabras claves: sonido, percepción, sistema auditivo, acústica, neurona, neurociencia, audiovisual, diseño de sonido.

ABSTRACT

In the constant pursuit of knowledge and practices that strengthen the artistic flair in audiovisual creations, it is time to expand the horizons and give way to the findings of neuroscience. If a hierarchy were to be set up for brain activities, the regulation of basic bodily functions would come first, secondly all that is related to movement, and thirdly the transduction of external stimuli into electrochemical signals that results in higher cognitive processes. Such processes are the starting point of this research that pretends to offer a thorough study of the cognitive process of hearing that might be associated in a verifiable way to sound design in audiovisual productions.

Keywords: sound, perception, auditory system, acoustics, neuron, neuroscience, audiovisual, sound design.

M.Sc. José Erre, España

M.Sc. María Ríos, ULA

Laboratorio de Acústica y Electroacústica, UNR, Argentina

Prof. Carlos Arturo Mattera, ULA

Infinito agradecimiento...

ÍNDICE

	Pág.
Introducción	1
1.- Presentación de la Investigación	3
1.1- Planteamiento del Problema.....	3
1.2- Objetivos.....	5
1.2.1- Objetivo General.....	5
1.2.2- Objetivos Específicos.....	5
1.3- Justificación e Importancia.....	6
1.3.1- Justificación.....	6
1.3.2- Importancia.....	7
1.4- Alcances y Limitaciones.....	8
1.4.1- Alcances.....	8
1.4.2- Limitaciones.....	8
1.5- Delimitación.....	9
1.6- Antecedentes.....	10
1.7- Metodología.....	14
1.8- Marco Teórico.....	15
1.8.1- Teorías que sustentan la investigación.....	15
1.8.2- Marco conceptual.....	18

2.- El Sonido como Fenómeno Físico.....	21
2.1- Entre lo Filosófico y lo Psico-científico.....	21
2.2- Fisiología de la Audición.....	28
2.2.1- Oído Externo.....	28
2.2.2- Oído Medio.....	30
2.2.3- Oído Interno.....	31
2.3- Fisiología y Psicoacústica.....	35
3.- Aspectos Neurocientíficos y Neuropsicológicos del Sistema Sensorial Auditivo.....	43
3.1- La Ruta Auditiva.....	46
3.2- El Rol de la Conciencia.....	52
3.3- Criterios sobre Neurociencia Cognitiva de la Audición.....	54
4.- Neurociencia y Diseño de Sonido.....	59
4.1- Neurociencia Aplicada.....	59
4.2- Principios aplicables al Diseño Sonoro.....	62
4.2.1- Diseño de Sonido en Audiovisuales.....	62
4.2.2- Hipótesis de Aplicación.....	67
5.- Conclusiones y Recomendaciones.....	73
5.1- Conclusiones.....	73
5.2- Recomendaciones.....	75

Referencias Bibliográficas.....	76
Referencias WEB.....	78

INTRODUCCIÓN

Partiendo de la necesidad de indagar en áreas que aporten beneficios y sumen innovación a la creación audiovisual, específicamente desde la concepción del diseño sonoro, esta investigación describe en 5 capítulos un modo de concatenar conocimientos sobre percepción, fisiología auditiva, acústica y neurociencia, a fin de proponer tratamientos alternativos para un mejor desarrollo conceptual del diseño de sonido.

El primer capítulo titulado *Presentación de la Investigación*, expone el planteamiento del problema, el objetivo general y los objetivos específicos, la justificación e importancia, los alcances y limitaciones, la delimitación, la metodología, los antecedentes y el marco teórico de la investigación, dando partida al segundo capítulo llamado *El Sonido como Fenómeno Físico*. Este capítulo está dividido en 3 apartados: primero, *Entre lo Filosófico y lo Psico-científico*, donde se plantean distintas nociones sobre percepción y sensación; segundo, *Fisiología de la Audición*, que describe las regiones del sistema auditivo (externo, medio e interno); y tercero, *Fisioacústica y Psicoacústica*, un desarrollo teórico del comportamiento físico de las señales acústicas.

El tercer capítulo, *Aspectos Neurocientíficos y Neuropsicológicos del Sistema Sensorial Auditivo*, se divide en 3 secciones: *La Ruta Auditiva*, una descripción del recorrido del sonido a nivel neuronal; *El Rol de la Conciencia*, que pone de manifiesto la presencia de una función mental intangible; y por último los *Criterios sobre Neurociencia Cognitiva de la Audición*, basados en los diferentes estudios e investigaciones en el área.

Neurociencia y Diseño de Sonido es el cuarto capítulo, y está constituido por 2 apartados llamados *Neurociencia Aplicada* y *Principios aplicables al Diseño Sonoro*. En el primero se describen los métodos actuales de estudio de la neurociencia aplicada. En el segundo se presentan 2 subpuntos correspondientes al *Diseño de Sonido en Audiovisuales* y a las *Hipótesis de Aplicación* de la neurociencia al diseño sonoro.

El último capítulo reúne las *Conclusiones y Recomendaciones* inherentes a esta investigación sobre Neurociencia Cognitiva de la Audición Aplicada al Diseño Sonoro Audiovisual, que están dirigidas no solo a la Escuela de Medios Audiovisuales sino también a los creadores audiovisuales en general, teniendo en cuenta que el interés común de todos los involucrados en una producción audiovisual es aportar elementos positivos a la obra.

1.- PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1- Planteamiento del Problema

En las producciones audiovisuales el sonido es, por mucho, un factor fundamental a considerar incluso desde la concepción de la idea y la etapa de preproducción. Principalmente, al hablar de diseño de sonido hay una remisión automática hacia aspectos artísticos y conceptuales; sin embargo, podría lucir limitado si se visualiza desde una perspectiva influenciada por áreas de estudio de surgimiento reciente producto de avances tecnológicos y científicos.

El diseño de sonido para audiovisuales combina técnica y creatividad a fin de lograr determinadas atmósferas en una producción concebida a partir de una idea que aspira generar sensaciones, sentimientos, emociones y significados; para esto, es importante cubrir exigencias en relación con el manejo de los componentes de la estructura del sonido.

Las señales auditivas llegan al cerebro de forma sucesiva, suscitando vibraciones de cuerdas yacentes las cuales estimulan las células ciliares que motivan las excitaciones nerviosas, lo que supone un proceso activo que incluye en su estructura componentes motores. A diferencia de los animales, la percepción sonora en los humanos se determina por factores no solo biológicos sino también de origen socio-histórico; éstos son sistemas objetivos musicales o de códigos sonoros del lenguaje.

El 5% del cerebro humano responde conscientemente a estímulos externos, lo que significa que el otro 95% lo hace de forma inconsciente. La ciencia se ha encargado de indagar en el funcionamiento de ese 95% para sacarle provecho mediante el estudio de la actividad cerebral por medios tecnológicos, lo que ahora es llamado *neurociencia*, arrojando resultados que indican que esta inconsciencia empieza a ser intervenida.

Existen 3 niveles de percepción: inicialmente el cerebro percibe, selecciona y descarta; luego, procesa inconscientemente (automáticamente), y

posteriormente percibe conscientemente. Se pretende enfocar la atención en los 3 niveles haciendo especial énfasis en la percepción inconsciente. El modo en el que se perciba un estímulo sonoro dependerá directamente de las cualidades de dicho estímulo y el significado que se le otorgue una vez procesado.

Instituciones dedicadas al estudio de la psicoacústica, la definen como una rama de la psicofísica que estudia la reacción del cerebro en términos psicológicos y psicopatológicos ante un estímulo sonoro cuyas cualidades son analizadas y transformadas en acciones y reflejos físicos, mentales y corporales. Si a las prácticas de psicoacústica se suman principios derivados de investigaciones de neurociencia cognitiva, es posible aspirar a manipular de manera más precisa la percepción y significado de los estímulos sonoros de forma tanto inconsciente como consciente.

El diseñador de sonido y neurocientífico David Sonnenschein en el año 2011 indicó que aunque poco se ha escrito sobre el propósito y uso del sistema auditivo, la identificación de un sonido es una habilidad que puede aprovecharse de muchas maneras, desde la supervivencia hasta lo emocional, porque la reacción al sonido no se da únicamente por su contenido, sino también por su física; esto puede variar tanto su significado como su impacto en las personas, cosa que puede ser inherente a la percepción de un mundo físico que de ser estudiado con rigor ofrece parámetros útiles en el diseño de sonido.

Es por eso que surge la inquietud de elaborar un proyecto de investigación que parta de estudios neurocientíficos y psicoacústicos para determinar qué hace que el cerebro procese algunas informaciones de forma consciente y otras de forma inconsciente, respondiendo a la cuestión ¿cuáles son los principios de la neurociencia cognitiva de la audición que pueden ser aplicables al diseño sonoro audiovisual? Esto, teniendo como premisa la idea de que el sonido, por estar cargado de significación y sugerencias, es un defensor de la verosimilitud y un amplificador del realismo, elementos indispensables en la representación audiovisual de una realidad generada por un cerebro que quiere que otros cerebros la acepten y la vivan.

1.2- Objetivos

1.2.1- Objetivo General:

- 📄 Identificar principios de neurociencia cognitiva de la audición que sean aplicables al diseño sonoro audiovisual.

1.2.2- Objetivos específicos:

- 📄 Estudiar los parámetros físicos que rigen el comportamiento del sonido como fenómeno acústico y su relación directa con la percepción del sistema auditivo.
- 📄 Analizar los procesos de transducción que realiza el cerebro ante estímulos sonoros de determinada estructura y el procesamiento de dichos estímulos en conjunto con el sistema auditivo.
- 📄 Describir particularidades de la percepción auditiva no atribuibles a estructuras neurales conocidas que deriven en principios aplicables al diseño de sonido.
- 📄 Proponer métodos para la realización de diseños sonoros a partir de la comprensión de la respuesta del sistema auditivo frente a determinados estímulos.

1.3- Justificación e Importancia

1.3.1- Justificación:

Dado el auge de los avances tecnológicos y científicos en los últimos años, se hace necesaria su implementación en el cine, la televisión, la publicidad, que como prácticas cognitivas dirigidas a un público requieren constantes cambios e innovación pero sin perder su esencia realista y principalmente verosímil.

La neurociencia está en desarrollo, sus aplicaciones irán avanzando, ampliándose y su incursión en las áreas artísticas, comunicacionales y audiovisuales permitirán reforzar y afinar métodos de creación y producción para lograr mayor efectividad en las obras finales.

El oficio del diseñador de sonido exige una capacidad de creación artística intuitiva. Dicha intuición ganará más firmeza y licencia si se apoya en bases sólidas científicas que proporcionen herramientas creativas a través de determinados métodos, resultado de la investigación e identificación de estudios neurocientíficos existentes. Esto aporta principios aplicables a la producción audiovisual, porque desde hace décadas la tecnología y la evolución han venido de la mano, haciendo necesario que todos los ámbitos profesionales se adapten e implementen los cambios positivos que surgen constantemente.

Los creadores audiovisuales están en una búsqueda imparable de nuevas formas narrativas y comunicacionales para mostrar al público productos de impacto que generen sensaciones y emociones; en este sentido, esta investigación pretende brindar métodos de trabajo al diseñador de sonido que sean pertinentes a todas las partes involucradas en la creación de una obra audiovisual, buscando el beneficio del trabajo en equipo con la incorporación de significaciones científicas, físicas y psicológicas de la vida real al material que se mostrará en pantalla.

Los estudios existentes que se vinculan a esta investigación se identifican como principios aplicables al diseño de sonido yendo más allá del instinto artístico-creativo del diseñador de sonido, pero sin convertirse totalmente en un técnico del sonido, ya que la mayoría del tiempo que un diseñador dedique a la concepción de un diseño sonoro estará destinado a tomar decisiones artísticas, solo que ahora se busca que estas decisiones tengan un fundamento científico más que intuitivo.

1.3.2- Importancia:

El desarrollo del tema de la aplicación de la neurociencia cognitiva de la audición a las producciones audiovisuales buscar abrir una línea de investigación que involucre ciencia, física y arte, lo que supone un aporte novedoso a la Escuela de Medios Audiovisuales. Igualmente, los profesionales vinculados al área audiovisual tendrán a su disposición un estudio que beneficiará su concepción al momento de crear, sin importar el cargo que desempeñe dentro de la producción, ya que los métodos que se proponen buscan el beneficio de la obra total a nivel narrativo partiendo del diseño sonoro pero no dependiendo únicamente de él. Asimismo, el investigador adquirió conocimientos básicos sobre temas como la neurociencia y la física, no estudiados durante la escolaridad, ampliando así su capacidad de creación y mejorando su desempeño en las labores pertinentes a la profesión con una nueva perspectiva del sonido como su herramienta de trabajo.

1.4- Alcances y Limitaciones

1.4.1- Alcances:

A pesar de que la neurociencia cognitiva data de hace menos de medio siglo, los avances en esta rama de la neurociencia han sido significativos, lo que ofrece una amplia gama de estudios que permitieron el desarrollo de esta investigación e hicieron efectiva la búsqueda de principios que sirvan de herramientas creativas para el diseñador de sonido. Este trabajo proporciona métodos de trabajo que generan alternativas al momento de concebir un producto audiovisual partiendo del diseño de sonido a fin de incorporar significados psicológico-espaciales desde el guión hasta el montaje, involucrando a todas las áreas de una producción con la finalidad de beneficiar a la obra en su totalidad. Esta investigación no cuenta con antecedentes académicos en la Escuela de Medios Audiovisuales, en consecuencia, es un aporte novedoso que estará a disposición de los interesados para contribuir con otros trabajos académicos que se lleven a cabo.

1.4.2- Limitaciones:

Los avances de los estudios sobre neurociencia cognitiva comprenden solo entre un 2% y un 5% del conocimiento de los procesos cerebrales, y aunque ya es una cifra ambiciosa considerando la complejidad de este órgano del cuerpo humano, es la limitación principal que se antepone a esta investigación, ya que evidentemente no permite ir más allá de los estudios validados existentes por ser aún un área en vías de desarrollo. Importantes aportes los proporcionan países de habla no hispana, lo que supone una dificultad dado el uso de términos científicos, médicos y físicos que no son comúnmente conocidos. En su mayoría, los estudios con los que se trabaja no están enfocados al cine, por lo que se evaluaron y ajustaron para su aplicación en la práctica.

1.5- Delimitación

Este trabajo abarca estudios sobre neurociencia cognitiva y psicoacústica publicados desde el año 2000 hasta el año 2012, teniendo en consideración que éstos hacen constantes referencias a estudios anteriores que hayan sido relevantes para cada investigación; dichos estudios no tienen límite geográfico ya que la mayoría se ubicaron mediante recursos web. En esta investigación no se utilizarán recursos audiovisuales por tratarse temas teóricos que aún son objeto de estudio.

1.6- Antecedentes

En los inicios del cine, la música era el único elemento audible incorporado a la imagen, pero con el paso del tiempo empezó a surgir la necesidad de incorporar efectos que hicieran alusión a la imagen proyectada, evolucionando hasta dar origen a los hoy en día llamados *foleys*. Con el tiempo surgieron varios maestros en el arte de la creación de efectos de sonido, como Treg Brown para Warner Bros y Jimmy MacDonald para Walt Disney, pero no es sino hasta finales de la década de los 70 cuando Walter Murch utiliza el término *diseño de sonido* para acompañar a creaciones y nuevos tratamientos del sonido en las películas; él mismo, en su trabajo sonoro en la película *Apocalypse Now* (1979) de Francis Ford Coppola, y Ben Burtt en *Star Wars: Episode IV-A New Hope* (1977) de George Lucas, mostraron que se puede crear una intensidad sonora que comprenda narración, personificación, identificación de culturas, generación de emociones, representación de espacios y de épocas. Esto dio paso a otros diseñadores de sonido para indagar en la modernidad de la narrativa sonora, como Dane A. Davis en *The Matrix* (1999) de los hermanos Wachowski y Gary Rydstrom en *Saving Private Ryan* (1998) de Steven Spielberg, o más reciente aún, el trabajo de Paul Ottosson en *The Hurt Locker* (2008) de Kathryn Bigelow. Aunque las herramientas del proceso cambien, el objetivo es lograr el sonido deseado.

Actualmente, varios diseñadores de sonido, e incluso músicos, se han valido de los avances tecnológicos y científicos para innovar en sus creaciones, como es el caso de Amon Tobin, quien desde el año 2011 se vale de los principios de la psicología *Gestalt* y gracias a los avances tecnológicos los emplea en sus presentaciones proyectando con iluminación formas, texturas, animaciones y efectos, llamándolo *Sonido Tridimensional*.

También, el diseñador de sonido y neurocientífico David Sonnenschein, en películas como *Holdings Trevor* (2007) y *Dreams Awake* (2011), empleó la esquematización de un modelo de *esferas de sonido* que comprende niveles de experiencia auditiva que van desde el pensamiento, pasando por el ser, los

sentidos, el conocimiento y el desconocimiento, considerándolas aplicables a la creación de historias cinematográficas. En su artículo *Esferas de Sonido: Un modelo de Espacio Psicoacústico en Cine* (2011) señala:

“La importancia de la localización del sonido en nuestro mundo real es explorada y comparada con el uso del sonido diegético en un film, el cual ha sido útilmente codificado por Michel Chion dentro y fuera de la pantalla. Para desarrollar aún más la teoría del espacio fílmico psicoacústico, el modelo de Esferas de Sonido ofrece seis niveles de experiencia sónica, comenzando por la esfera personal más interna y expandiendo hacia la más externa desconocida: pensar, ser, tocar, ver, conocer y desconocer. Experiencias del mundo real y ejercicios de percepción de estas esferas nos informan cómo se pueden aplicar a la creación de historias fílmicas”. (Disponible en:

http://sounddesignforpros.files.wordpress.com/2011/07/sound-spheres-article-sound-2011-0003_web.pdf)

La neurociencia aplicada en relación con el arte audiovisual es novedosa, empero, ya se utiliza en tecnología (neurotecnología), medicina (neuroanatomía, neurofisiología, neurología, neuropsicología), ciencias sociales (neuroeconomía, neurodesarrollo), y por supuesto en la comunicación (neurolingüística, neuromarketing). Una relación entre la neurociencia, la psicología y el cine la ha realizado Víctor Manuel Becerra en la Universidad de Córdoba, España, al investigar en el año 2010 *“El Cine en la Esquizofrenia como dispositivo terapéutico: una mirada cognitivo-conductual”*, sistematización teórico-clínica que evidencia al cine en una primera aproximación como dispositivo de rehabilitación desde la teoría cognitiva.

La neurociencia cognitiva ha permitido estudiar la percepción y la creación de sentido en lo percibido, lo que en áreas artísticas supone un gran aporte en cuanto a conocimientos y modelos que favorezcan y solidifiquen los instintos

creativos. Francisco Mora Teruel (2007) en su artículo *“Creatividad e innovación desde la perspectiva de la neurociencia: algunas reflexiones”* expresa:

“Crear es poner en el mundo algo que no existía antes. La creatividad es un proceso intrínseco al propio funcionamiento del cerebro. La puesta en marcha de ese proceso en el cerebro puede provenir bien del mundo externo, a través de estímulos nuevos, o bien a través de procesos internos, es decir, asociaciones procedentes de nuestras propias memorias. Por eso estar expuesto constantemente a estímulos nuevos, lo que implica conocer y conversar con gentes diferentes e interactuar con un medio social y cultural diferente, puede facilitar el proceso creativo en aquellas personas que son ya de por sí creativos.” (Disponible en:

http://entrenatucreatividadbiblio.files.wordpress.com/2011/09/20_bloque1_05.pdf)

Muchos estudios del sistema auditivo aportan datos que pueden vincularse al diseño de sonido, como el publicado la revista *“Journal of Neuroscience”* del Instituto de Neurociencias de Castilla y León de la Universidad de Salamanca, España, titulado *“Nuevas revelaciones sobre la respuesta del cerebro ante los sonidos de alerta”* (2012) en el que se indica:

“En concreto, un grupo de investigación estudia las neuronas que permiten distinguir los sonidos novedosos, aquellos que, por contraposición a los sonidos habituales, nos sirven de alerta, como el pitido de un coche. Dentro de esta línea, han conseguido demostrar por primera vez que estas neuronas no tienen su origen en la corteza cerebral, de manera que el procesamiento de un sonido de alerta ocurre desde partes inferiores del cerebro hacia arriba, hacia la corteza.” (Disponible en: Instituto de Neurociencias de Castilla y León de la Universidad de Salamanca, *Nuevas*

revelaciones sobre la respuesta del cerebro ante los sonidos de alerta.

(http://noticiasdelaciencia.com/not/3171/nuevas_revelaciones_sobre_la_respuesta_del_cerebro_ante_los_sonidos_de_alerta/)

Así mismo, en el año 2009 en la Universidad Gabriele d'Annunzio en Chieti, Italia, investigadores demostraron que la direccionalidad natural de un lado del cuerpo humano hacia algún estímulo, en función de la asimetría cerebral, se manifiesta en la conducta humana cotidiana, porque “Los humanos preferimos que se nos aborde por el oído derecho y tenemos más probabilidades de realizar una tarea cuando recibimos la solicitud en el oído derecho en vez del izquierdo” (<http://www.sciencedaily.com/releases/2009/06/090623090705.htm> 2009).

Aunque hasta la fecha no hay antecedentes formales académicos sobre neurociencia respecto a producciones audiovisuales en la Universidad de Los Andes, específicamente en la Escuela de Medios Audiovisuales, esta investigación pretende argumentar un modelo de interpretación del mundo a partir de la percepción auditiva, teniendo como base estudios e investigaciones existentes sobre neurociencia cognitiva y uniendo lo que se sabe que ocurre en el exterior (estudiado por la psicoacústica) con lo que realmente ocurre dentro del cerebro (neuropsicología), permitiendo involucrar también interpretaciones emocionales del mundo más allá de las netamente tecnológicas.

1.7- Metodología

Al establecer los principales componentes de la fundamentación metodológica utilizados en esta investigación sobre neurociencia cognitiva de la audición, se dedujo que este proyecto tendrá un nivel investigativo exploratorio, por tratarse de un tema novedoso que proporciona visiones aproximadas.

El diseño de la investigación es documental, ya que se ubica dentro de un enfoque cualitativo, que supone una preponderancia de lo individual y subjetivo al hacer énfasis en la interpretación y descripción de datos obtenidos de estudios procedentes de fuentes bibliográficas y artículos.

1.8- Marco Teórico

1.8.1- Teorías que sustentan la investigación:

A este nivel, resulta vital establecer un patrón de teorías y términos como asidero lingüístico-contextual para el desarrollo de la investigación. En primer lugar, hay que tener en cuenta que el protagonista de este estudio es el cerebro, del que Juan Roederer (1999) opina que:

“(...) es el sistema interactivo más complejo del universo tal como se lo conoce hoy en día. Es por tanto bien comprensible que cualquier científico (...) se enfrente con tremendos problemas al querer comprender en forma rigurosa por qué el funcionamiento de nuestro propio cerebro se nos presenta como algo tan «simple», y como «un Yo unitario» del cual tenemos absoluto control. (Estas características se llaman «la simplicidad natural de la función mental» y «la naturaleza unitaria de la experiencia consciente», respectivamente). Es bien comprensible también que se nos haga difícil aceptar el hecho de que, para alcanzar los objetivos científicos de la neuropsicología, no haya necesidad alguna de invocar por separado conceptos físicamente indefinibles, como «mente» y «alma».”(p.21)

Pero Ignacio Morgado (2009) en una entrevista sobre la *mente* declara que lo que más intriga a los científicos es conocer cómo la actividad cerebral genera el estado consciente, dando lugar al cambio cualitativo que convierte la actividad inconsciente de las neuronas y del conjunto del cerebro en percepciones conscientes específicas como el dolor de lo doloroso, el azulado de lo azul, el sentimiento emocional, lo que los filósofos llaman *qualia*. Estas teorías se aplicarán en la investigación en cuanto los modelos psicoacústicos y neurocientíficos tratados en los capítulos 2 y 3 se basan en procesos mentales y cognitivos para definirse.

La respuesta del cerebro frente a determinados estímulos procedentes del mundo exterior, o incluso interior, tiene explicaciones intangibles, las cuales, científicamente, son hipotéticas hasta que se convierten en objeto de estudio y pasan a ser aplicables. Específicamente en la cognición desde el sistema auditivo, están en juego procesos mecánicos y sensoriales que buscan ser evaluados en esta investigación mediante estudios previos existentes sobre neurociencia y psicoacústica, para así vincularlo a la creación audiovisual.

Las *Esferas de Sonido* de David Sonnenschein (2001) suponen la referencia principal de este estudio. Es un modelo que comprende una descripción de los distintos niveles de información sónica disponibles en seis esferas concéntricas que van de lo interno a lo externo teniendo en cuenta la experiencia humana con el medio ambiente, sin que sea necesario que una esfera cubra por completo a la otra. Este modelo, que debe ser también explorado, discutido y ampliado en relación con otras teorías audiovisuales con enfoques psicoacústicos y filosóficos, se resume de la siguiente manera:

1-Pensar: Si se percibe un sonido que más nadie oye, es probable que lo haya generado la mente; puede dudarse su física, su tono o ubicación en el rango de audición, pero representa un sonido que no está disponible para todos, a menos que quien lo escucha hable sobre él.

2-Ser: El cuerpo humano, por ser orgánico, está lleno de vibraciones, fricciones e impactos que generan sonidos, los cuales mayormente solo pueden ser escuchados por cada uno; aunque se esté acostumbrado a ritmos constantes a bajo nivel (como la respiración o los latidos del corazón) una vez que se hacen sonidos más altos se vuelven más audibles tanto individualmente como para otras personas (hablar, aplaudir) lo que supone un vínculo entre lo personal, privado y personal de generar un sonido y la interacción con terceros.

3-Tocar: Al entrar en contacto con el mundo exterior, manifestando movimientos corporales voluntarios, se crean vibraciones sónicas ya que el cuerpo puede utilizar al medio ambiente como una percusión.

4-Ver: La noción de esta esfera es equivalente a la del sonido diegético en audiovisuales, dónde la fuente generadora del sonido percibido está en el campo de visión. Psicológicamente, es un alejamiento de la capacidad de influir en el mundo, ya que es un acto más pasivo; sin embargo, podrían incluirse esferas anteriores si se observa el cuerpo propio creando un sonido.

5-Conocer: A partir de esta esfera, la referencia se dirige al sonido extradiegético, dónde la fuente no es visible para el oyente. El medio ambiente y los sonidos que se espera que allí ocurran crean un sentido de familiaridad con el paisaje sonoro. Algunos sonidos procedentes de un lugar se pueden hacer obvios, pero si el mismo sonido proviene de un lugar que coincide, abre paso a la esfera del desconocimiento.

6-Desconocer: Aunque no es tan común como las esferas anteriores, es muy memorable y potente. Cuando un sonido no es identificado, con el tiempo se hace necesario averiguar cuál es la fuente. Dependiendo de su estructura podría ser ignorado, pero si existe una escucha reducida (repetición, ataque) o una escucha semántica (que genere miedo, o que sea divertido), la mente consciente va a intentar localizar la fuente generadora del sonido.

Según Sonnenschein (2011), la aplicación de este modelo puede servir para manipular intencionalmente a la audiencia oyente en su orientación física y psicológica, en cuanto que la transición desde el interior hacia el exterior de las esferas dirigirá la atención de la audiencia desde el contacto íntimo con el personaje hacia una mayor conciencia sobre el medio ambiente; si se contrae o se expande el uso de las esferas, simultáneamente se limitará o ampliará la atención demandada al público; La transición de un sonido de una esfera a otra puede ayudar a manejar el drama. Estas y otras consideraciones y aplicaciones del modelo de las esferas de sonido confirman que en teorías existentes sobre la creación en la práctica cognitiva audiovisual puede afilarse las habilidades de escucha, incorporando la psicología y la significación espacial del sonido tanto en las historias como en la vida real.

Esta teoría será utilizada principalmente en el capítulo 4 del proyecto por considerarse referencia directa de la aplicación de psicoacústica y ciencia a la creación audiovisual, específicamente desde el sonido.

1.8.2- Marco Conceptual:

Estudios y descubrimientos neurocientíficos, cognitivos, psicoacústicos y del sistema auditivo son los que permitirán desarrollar esta investigación, que será comprendida a partir del conocimiento básico de métodos textuales y terminológicos usados en estas áreas.

Es importante definir términos como la *Psicofísica*, que al igual que la física, como disciplina amplia y abarcadora, intenta predecir comportamientos de sistemas específicos dependientes de sus condiciones iniciales, tal como el sistema sensorial cuyas condiciones están determinadas por los estímulos físicos que inciden en él. Es requerido que las relaciones causales entre los estímulos físicos incidentes y la respuesta de conducta se establezcan a través de la experimentación y la medición. La psicofísica debe hacer suposiciones simplificadas e idear modelos para establecer relaciones cuantitativas y aventurarse en el campo de la predicción, los cuales a su vez se basan en las funciones fisiológicas del órgano sensorial y en partes pertinentes del sistema nervioso.

Una rama de la psicofísica es la *Psicoacústica* que se encarga de estudiar la interacción entre los estímulos acústicos y las sensaciones auditivas; da respuesta a la cuestión de “por qué se oye lo que se oye” pero no de “qué es lo que se oye”, es decir, obvia los procesos de cognición, conducta y respuesta emocional. Estos términos serán utilizados en el capítulo 2 por tratar al sonido específicamente como fenómeno físico.

La disciplina que estudia los procesos y funciones del sistema nervioso que comprenden la recepción de estímulos provenientes del mundo exterior y del

organismo, con respuestas mentales y conductuales, tratando de dar fundamentos biológicos, cuantitativos y sistemáticos, es la *Neuropsicología*, que a diferencia de la psicología tradicional que es una ciencia descriptiva que trata la conducta con conceptos más intangibles como los sentimientos y el alma. El sistema principal estudiado por la neuropsicología es el cerebro, empleando modelos de interrelaciones funcionales de las partes neuroanatómicas y de los procesos fisiológicos pertinentes. Este término es relevante en el capítulo 3 de la investigación que tocará temas del sistema sensorial.

La *Neurociencia* es la ciencia que se encarga del conocimiento de las bases biológicas y neurológicas del sistema nervioso y de sus interacciones. Explora la conciencia, la memoria, la percepción, el habla, la neurotransmisión, el aprendizaje, el desarrollo neural, las redes neuronales, entre otros campos diversos. En su mayor nivel, se combina con la psicología para dar origen a la *Neurociencia Cognitiva*, rama dedicada al estudio de las capacidades cognitivas (percepción) con bases neurológicas, penetrando en la estructura y funcionalidad del cerebro humano. Entre sus propósitos está comprender la estructura mental a través del conocimiento de los mecanismos cerebrales para establecer teorías sobre sus funciones y sobre la estructura mental per se. Surge a partir de la neuroanatomía, neurofisiología y las ciencias cognitivas, y es aplicable a diversas áreas en las que se requiera la optimización de funciones. Aunque la neurociencia es el tema principal de la investigación, se enfocará la atención en este tema en los capítulos 3 y 4 al hablar de aspectos científicos del sistema auditivo y su relación con la concepción del diseño sonoro.

El *Diseñador de Sonido*, encargado de dar al diseño sonoro cualidades artísticas y narrativas necesarias para dar integridad al discurso en una producción audiovisual partiendo de elementos técnicos como microfonía, grabación, montaje y mezcla, determina los sonidos que compondrán la banda sonora de algún producto audiovisual, esto es llamado *Diseño de Sonido*. Además de su identificación, es también necesaria una planificación temporal cronológica, sincrónica y espacial. Estas no son decisiones inalterables, puesto que

generalmente, luego de reformulaciones, serán necesarias modificaciones oportunas. Estos términos se manejarán en el capítulo 4 y 5 al puntualizar y evaluar elementos de neurociencia cognitiva que ayuden a elaborar modelos de aplicación a productos audiovisuales.

En la presente investigación se tomarán las herramientas teóricas y conceptuales expuestas para intentar un desarrollo articulado del tema y así dar respuesta a las interrogantes que se planteen en cuanto a sonido como fenómeno acústico, como objeto de estudio de la ciencia y como parte fundamental del arte audiovisual.

2.- EL SONIDO COMO FENÓMENO FÍSICO

2.1- Entre lo Filosófico y lo Psico-científico

El principio de la cuestión cognitiva radica en la inclusión de todos los procesos que permiten a un cuerpo conocer el mundo exterior a través de la vivencia, dando la oportunidad de obtener información a partir de estímulos físicos incidentes. El procesamiento de dicha información involucra factores como la memoria o la atención, lo que indica que la focalización de estos factores vendrá dada por la percepción y la sensación de cada individuo.

La percepción puede designar actividades cognoscitivas generales propias del pensamiento (categorial), o funciones cognoscitivas que involucren objetos determinados y su conocimiento empírico (sensible); por otro lado, distingue ciertas operaciones del hombre relacionadas con el ambiente y su interpretación a partir de los estímulos, insistiendo en la importancia de los factores tanto subjetivos como objetivos.

En este mismo orden de ideas, la percepción supone la noción de conciencia, del objeto como ente aislable y de unidades elementales sensibles, pero al tener en cuenta la psicología de la forma¹, que se ha ocupado más de la percepción por referencias de trabajos experimentales, se obvia la existencia de sensaciones elementales y entes aislables porque todo es percibido como un todo. Esto afirma que la percepción debe concernir a una totalidad simple, clara y regular, y no por separado.

La *preparación perceptiva*, en cambio, no recurre a la noción de conciencia sino que determina prioridades, preferencias y diferencias en lo percibido, facilitando el acto de percibir al estar en predisposición frente a un estímulo, lo cual es un esquema variable de la percepción que se aprende, mayormente de forma involuntaria.

¹ **Gestaltpsychologie** o gestaltismo consiste en considerar como punto de partida el principio simétrico opuesto a la asociación: el hecho fundamental de la conciencia no es ya el elemento sino la forma total, ya que nunca será reducible a una suma o combinación de elementos.

Más allá de esto, la percepción no se concibe como un conocimiento exhaustivo sino como una interpretación que se mantiene en la esfera de lo probable, poseyendo la característica de la corregibilidad.

Hablar de percepción como aprehensión directa de una situación parece alejar los actos intermediarios de sensación e intuición, relacionándose más con el entendimiento en cuanto a ideas y significaciones se refiere; pero, de un modo más general, la percepción como consciencia empírica está ubicada entre el pensar y el sentir, así como entre lo interior y lo exterior. Por estos motivos, no puede hablarse de la percepción como una acción inmediata.

Desde la filosofía es erróneo resolver el dilema de la percepción a partir de lo que indiquen ciencias como la acústica o la óptica, pero se acepta que sus revelaciones han dado a conocer importantes conexiones.

La percepción de cualidades dadas a los sentidos o formadas por ellos, distinguibles del pensamiento pero sin oponerse a él, da paso a la sensación o *percepción sensible*, que se ubica como un modo inferior de conocimiento que permite aprehender obviando el intelecto, por ser un conocimiento sensible.

El concepto aristotélico de sensación es mucho más amplio, ya que incluye representación de movimiento, figura y número, vinculándolo a la función mental de la inteligencia respecto a lo representado. De cualquier manera, la sensación corresponde indiscutiblemente al contacto con las cosas sensibles externas al alma pero sin ser independientes de ella, produciendo ilusiones pero permitiendo el juicio porque, según doctrinas platónico-agustinianas, a través de la sensación el alma usa al cuerpo.

La sensación es una unidad híbrida entre lo subjetivo y lo objetivo, es sensible en tanto que aprehendida, y por tanto conocida, y aunque sea de origen corporal, también es anímica. Kant acogió que en un sentido, lo real es lo que corresponde a las condiciones de la sensación, situándola en el primer plano del conocimiento.

Distinguir entre sensación y percepción puede resultar paradójico por considerarse a la percepción como un complejo de sensaciones y a la vez considerar a la sensación como una percepción de las cualidades sensibles. No obstante, Descartes delimitó a la sensación como advertencia de los movimientos que salen de las cosas y distinguió a la percepción como la referencia a la cosa externa.

La percepción misma resulta el objeto de la psicología, pero la sensación como unidad psicológica elemental resulta inútil si se elimina la psicología de la forma, la cual aún habla de la sensación para indicar sonidos y colores, es decir, materiales dados al hombre en referencia a objetos exteriores.

Ahora bien, la evolución de los sentidos al ser estudiada, demuestra que se fueron constituyendo órganos receptivos especiales para ciertos tipos de formas y movimientos de materia o energía, de un modo objetivo: los receptores auditivos reflejan vibraciones sonoras, los receptores visuales reflejan oscilaciones electromagnéticas; estos receptores se insensibilizan ante la acción de otros, dejando claro que no se tienen energías específicas de los sentidos sino órganos específicos para las energías. Todo estímulo que genere sensaciones suscita reflejos, a menos que sea muy débil.

Gracias a esto, se deduce que las sensaciones tienen un carácter activo y selectivo que siempre incluye en su estructura componentes motrices, y pueden dividirse en tres grupos fundamentales:

Sensaciones interoceptivas: agrupan señales del medio interno del organismo asegurando la regulación de las necesidades elementales. Hacen llegar al cerebro los estímulos procedentes de los órganos internos donde se encuentren ubicados los aparatos receptivos; dichos estímulos son transmitidos por fibras que integran parcialmente el sistema vegetativo y los funículos laterales de la médula espinal. El aparato central que recibe estos impulsos está formado por el núcleo medial del tálamo óptico y por los aparatos de la primitiva corteza cerebral. Estas formas de sensación son las más difusas, manifestándose como algo intermedio entre las

sensaciones genuinas y la emociones, condicionando el hecho de que conservan siempre su afinidad con los estados emocionales. Entre las sensaciones interoceptivas figuran el hambre, la tensión, la comodidad.

Sensaciones propioceptivas: garantizan la información necesaria sobre la situación del cuerpo en el espacio y la postura del aparato motriz sustentador, asegurando la regulación de los movimientos; estos receptores se hallan en los músculos y superficies articulares. Sensaciones como el equilibrio y la estática pertenecen a este grupo, al igual que las náuseas y mareos debidos a los cambios bruscos en la ubicación del cuerpo en el espacio.

Sensaciones exteroceptivas: aseguran la obtención de señales procedentes del mundo exterior y crean la base del comportamiento consciente, estrictamente a partir de los sentidos (olfato, gusto, tacto, oído y vista). Suele subdividirse, a su vez, en sensaciones *por contacto* y sensaciones a *distancia*. En el primer caso se habla de las sensaciones que corresponden al gusto y al tacto, que requieren aplicación directa para percibir. Por el contrario, con el olfato, y sobre todo el oído y la vista, las sensaciones pueden suscitarse por influjos a distancia estando separados por un espacio que el efecto correspondiente deberá recorrer antes de influir en el órgano conveniente.

Existen sensaciones intermodales que dan paso a la *sensibilidad vibratoria*, como las producidas por ondas sonoras de menor frecuencia que la audible, cuya captación de vibraciones no se da directamente en el aparato auditivo sino en los huesos mediante la percepción de señales de influjos mecánicos por el tacto. Esto se ve ejemplificado en la percepción de sonido por personas sordas.

Hay formas inespecíficas de sensibilidad, como la percepción de ondas térmicas o sónicas actuando como radar en el sentido de la distancia o *sexto sentido*, lo que permite a invidentes percibir a distancia obstáculos que surgen ante ellos.

En cuanto a lo subjetivo y lo objetivo, las sensaciones se dividen en dos niveles: el de las sensaciones protopáticas (primitivas) y el de las sensaciones epicríticas (complejas). Tienen distinta organización cerebral porque sus aparatos nerviosos centrales están ubicados en diferentes niveles.

Las sensaciones protopáticas son de carácter subjetivo, inseparables de los estados emocionales, de naturaleza espontánea, y alejadas del pensamiento. Las sensaciones epicríticas entrañan un carácter objetivo por lo que están separadas de los estados emocionales, reflejando las cosas objetivas del mundo exterior y hallándose mucho más cerca de procesos intelectuales complejos.

La intensidad de un estímulo permite establecer diferencias también en la sensibilidad. La sensibilidad *absoluta* tiene su expresión en la intensidad del estímulo mínimo que por primera vez suscita la sensación: cuando en un silencio total se produce un sonido ínfimo éste se distingue muy bien, mientras que si el ambiente es ruidoso quedará imperceptible. La sensibilidad *relativa* (diferencial), en cambio, se expresa por el aumento relativo del fondo inicial siempre que sea suficiente para que pueda advertirse.

Para percibir un cambio en la percepción táctil se debe aumentar o disminuir la fuerza del contacto inicial en $1/30$; para las sensaciones visuales hay que añadir o suprimir $1/100$ de la iluminación anterior; para el oído se requiere un aumento o disminución relativa superior a $1/10$ del fondo sonoro inicial. No obstante, la sensibilidad los órganos de los sentidos no permanece invariable y sus cifras no son constantes.

Las condiciones ambientales y las circunstancias internas diversas distinguen la adaptación que se produce en el organismo respecto a los cambios en los estímulos externos, pero exige cierto tiempo para todos los sentidos².

² El oído humano se adapta al fondo circundante a los 15 segundos. En el tacto la adaptación también es breve, sin embargo, para que la vista adquiriera una sensibilidad necesaria en la oscuridad, necesita alrededor de 30 minutos.

La adaptación entraña cambios en el aumento o disminución de la agudeza de la sensibilidad; por el contrario, la sensibilización implica solo el aumento de la agudeza, y su cambio no depende de condiciones externas sino de factores fisiológicos y psicológicos del propio organismo.

Las condiciones inherentes al desarrollo de las formas complejas de la actividad consciente de la sensibilidad pueden cambiar en tanto se altere su agudeza; un músico desarrolla una sensibilidad distintiva de los sonidos que le permite captar diferencias de tonos que pudieran ser imperceptibles para los oyentes habituales.

El proceso perceptivo partiendo de las sensaciones es más complejo: requiere la unificación de los grupos de indicios esenciales y básicos y la confrontación del conjunto de rasgos percibidos con los conocimientos anteriores acerca del objeto generador del estímulo de la sensación; cuando la hipótesis del objeto en cuestión coincide con la información recibida, surge el reconocimiento que da por culminado el proceso de la percepción.

El carácter mediatizado, objetivo, generalizado, permanente y cabal de la percepción ratifican su condición de proceso activo y complejo, permitiendo conocer mejor las condiciones de las que depende. La percepción táctil y la percepción visual reflejan el mundo de los objetos situados en el espacio, mientras que el fenómeno acústico-perceptivo difiere radicalmente por estar relacionada con una serie de excitaciones que transcurren en el tiempo; las estimulaciones sonoras en el hombre se determinan por factores más que biológicos porque los componentes motores de la percepción auditiva se hallan separados del sistema acústico.

El sistema auditivo tiene 3 funciones básicas: detectar los sonidos, determinar la localización de la fuente sonora y reconocer la identidad del sonido y su significado. Los sistemas complejos que determinan el proceso de la percepción auditiva se forman a partir de la codificación de las sensaciones sonoras, y pueden ser rítmico-melódicos o fonéticos de códigos. El primer sistema,

determinante del oído musical, está constituido por las relaciones sónicas altas, que permiten componer los sonidos en acordes armonizados y formar series consecutivas de dichas conexiones sónicas, integradoras de melodías; también forman parte de este sistema las relaciones rítmicas o prosódicas de alteraciones regulares de los intervalos y duraciones de sonidos sueltos, que pueden crear complicados adornos rítmicos hasta con sonidos de una misma frecuencia. Estos dos componentes deben sintetizarse en estructuras melódicas, creando modelos sonoros expresivos de ciertos estados emocionales para conservar el sistema. Ésta es la función esencial del oído musical.

El sistema fonético de códigos (o sistema del lenguaje sonoro) supone la base donde se estructuran elementos significativos del lenguaje humano. Para percibir sonidos del habla o fonemas, hay que desglosar los indicios esenciales del sonido articulado y hacer abstracción de los indicios extraños, insustanciales para su diferenciación. Los rasgos sonoros pertinentes a estas relaciones tienen significación semántico-diferenciativa y se denominan fonemáticos; el oído articulado debe destacarlos en el flujo discursivo y hacerlos dominantes, al tiempo que se abstrae del timbre y de la altura del tono. Este sistema difiere en los diversos idiomas, y su dominio exige una condición organizativa por parte del oído para que se comprenda y se destaquen los indicios fonemáticos esenciales³.

Cada dimensión perceptiva en el organismo corresponde a su vez a una dimensión física determinada. Los eventos físicos involucrados en la percepción del sonido parten de la fisiología del aparato auditivo.

³ Sin embargo, los sonidos de idiomas no escuchados en la infancia, no se perciben con facilidad en la adultez por no estar el oído acostumbrado a él.

2.2- Fisiología de la Audición

El sistema auditivo periférico inicia en el pabellón auricular y finaliza en la cóclea. Se encarga de convertir las vibraciones mecánicas en impulsos nerviosos para que sean procesados en el cerebro. Por su delicadeza y tamaño, se encuentra en el interior del hueso temporal.

En el oído se pueden diferenciar tres grandes regiones: el oído externo, el oído medio y el oído interno. Los canales semicirculares que comparten estructuras anatómicas con el oído interno no pertenecen a la audición sino al sentido del equilibrio.

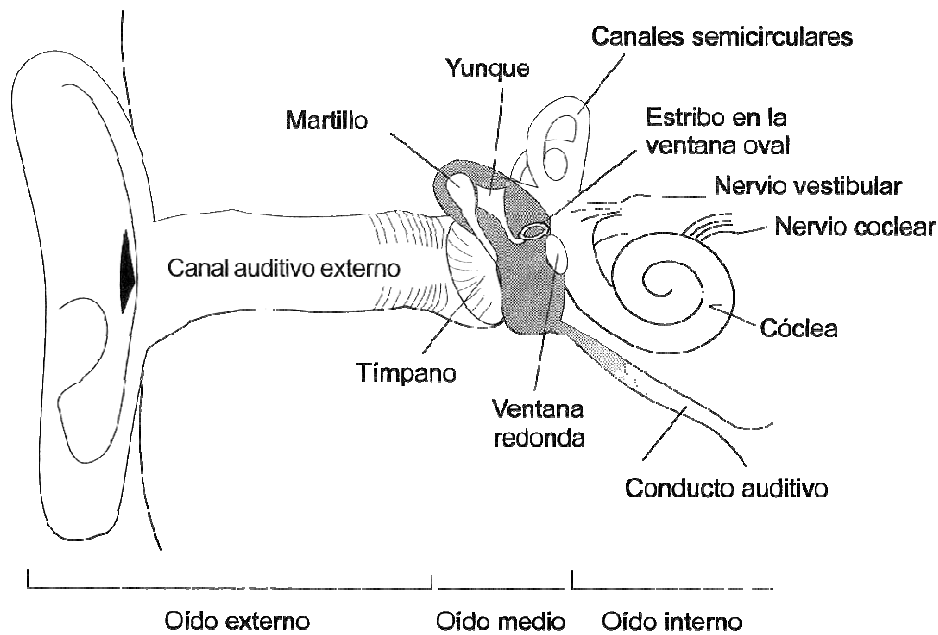


Figura 1. Sistema auditivo periférico

2.2.1- Oído Externo

El oído externo forma parte del sistema receptor de vibraciones que acopla el tímpano con el campo acústico externo, ayudado por la cabeza y la parte superior del torso. Su función es filtrar y modificar las señales que llegan del exterior y contribuir en la localización espacial de las fuentes acústicas, además de proteger ante posibles agresiones mecánicas.

Anatómicamente, desde adentro se encuentra primero el canal auditivo externo, luego la concha y afuera el pabellón auricular. El canal auditivo externo es una estructura tubular irregular de 26mm de largo por 7mm de ancho y un volumen de 1cm³ aproximadamente, con un eje central que conecta el pabellón con el tímpano; la pared consta de una porción cartilaginosa móvil continuación de la estructura del pabellón auricular, está cubierta por piel con folículos pilosos, glándulas ceruminosas y sebáceas; tiene también una porción ósea de menor longitud adherida al tímpano, recubierta por una piel muy delgada.

La concha es la parte externa del canal auditivo que se ensancha notablemente formando una cavidad, y tiene un volumen interno de aproximadamente 4cm³. El pabellón auricular u oreja es una estructura cartilaginosa que actúa como filtro direccional de las señales que llegan del exterior; éste recoge el sonido, y lo conduce hasta el canal auditivo a fin de encauzarlo desde el exterior hasta la membrana timpánica.

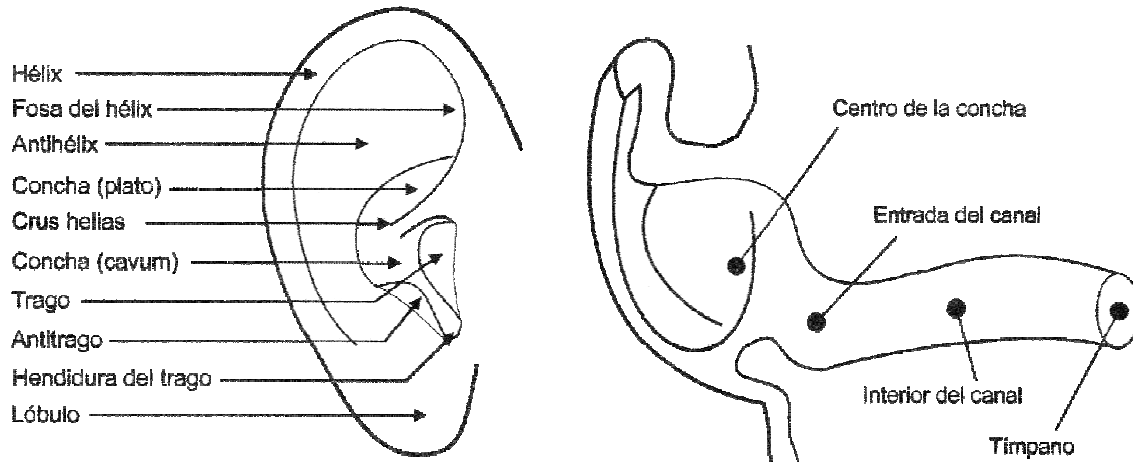


Figura 2. Vista lateral del pabellón auricular y corte esquemático superior del oído externo

Las características físicas del oído externo pueden modificar la naturaleza del sonido que llega hasta el tímpano, intensificando algunas frecuencias y debilitando otras.

2.2.2- Oído Medio

El oído medio permite conectar las señales acústicas entre el canal auditivo y el oído interno transmitiendo la vibración del tímpano hasta sus receptores con la energía correspondiente. Consta de una cavidad llamada caja timpánica ubicada en el hueso temporal constituida por el tímpano, la cadena de huesecillos (martillo, yunque y estribo) con sus ligamentos y músculos de control, la trompa de Eustaquio y las ventanas oval y redonda, que lo comunican con el oído interno.

El tímpano es una membrana semitransparente con forma de cono. Su superficie promedio es de $0,6\text{cm}^2$. Por su geometría irregular y su anclaje al manubrio del martillo, vibra como una compleja membrana elástica no homogénea. Esa vibración se transmite hacia el oído interno a través del martillo, el yunque y el estribo. El manubrio del martillo es una parte prominente que se inserta entre las láminas de la membrana timpánica; a su vez, el martillo y el yunque están conectados entre sí y a la pared ósea por medio de ligamentos. El yunque se vincula con el estribo a través de otro ligamento, y el pie del estribo se conecta por medio de un ligamento anular a la ventana oval.

Dos músculos sostienen los huesecillos y controlan la rigidez de la cadena osicular: el tensor del tímpano está ligado al martillo y el estapedial al estribo. Estos dos músculos funcionan como un control de ganancia variable del oído medio. La disposición de los huesecillos (los más pequeños del organismo) genera una gran amplificación de las diminutas vibraciones producidas en la membrana timpánica, y su movimiento se aplica a la ventana oval a través del estribo.

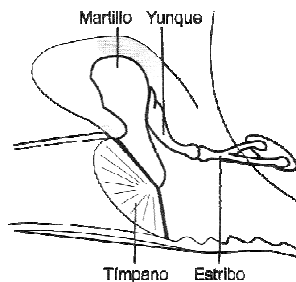


Figura 3. Cadena de huesecillos

Para permitir la ecualización de la presión estática a ambos lados del tímpano está la trompa de Eustaquio, que está cerrada la mayor parte del tiempo y se abre al tragar, masticar o bostezar; conecta al oído medio con la cavidad nasofaríngea y es un conducto de paredes blandas. Gracias al mecanismo de la trompa de Eustaquio el aire en el interior ejerce la misma presión que la atmósfera en el exterior, y la diferencia entre presiones dinámicas se traduce en un movimiento efectivo del tímpano y de la cadena de huesecillos.

2.2.3- Oído Interno

Esta región está incrustada en el hueso temporal en una cavidad irregular que recibe el nombre de laberinto óseo; comprende el vestíbulo, la cóclea y los canales semicirculares. Sus paredes están formadas por hueso recubierto de epitelio y contiene un líquido acuoso parecido al líquido amniótico. El espacio interior está ocupado en su mayoría por el laberinto membranoso, un sistema de finos conductos y sacos que constituyen una segunda capa de paredes forradas por tejido conectivo blando.

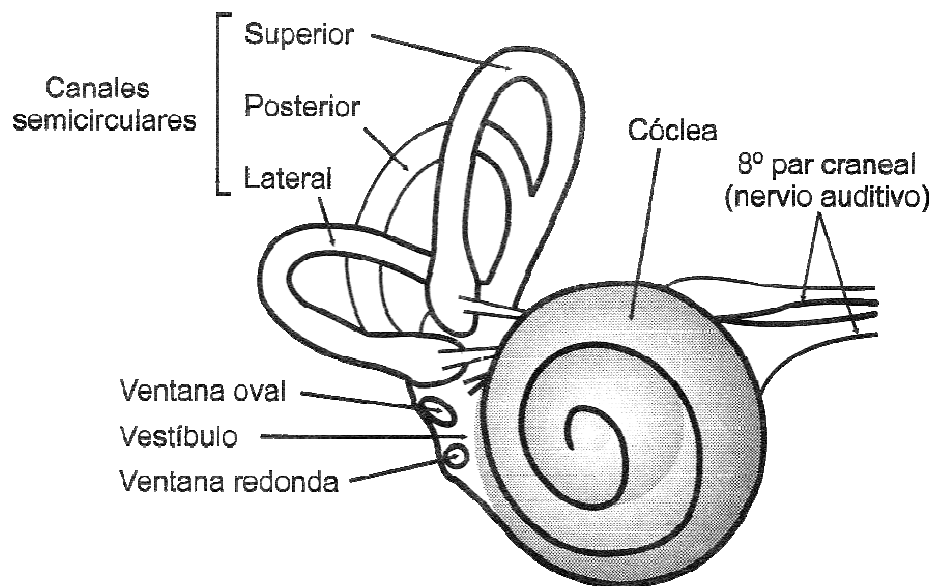


Figura 4. Laberinto óseo

La porción del laberinto óseo que sigue a la ventana oval se denomina vestíbulo, el cual está dividido en el utrículo y el sáculo. La base del estribo cubre casi por completo la ventana oval, y una delgada membrana de tejido conectivo cubre la ventana redonda. Un canal estrecho conduce del sáculo al conducto coclear o caracol membranoso, situado en el interior de la cóclea, el cual forma una espiral de dos vueltas y media de tejido conectivo que sigue el desarrollo de la espiral ósea del caracol.

El laberinto está inervado por el nervio auditivo (octavo par craneal) que en su interior se ramifica en nervio coclear vinculado a la audición, y nervio vestibular perteneciente al sentido del equilibrio. El nervio coclear está formado principalmente por los axones de las neuronas conectadas con las células del órgano de Corti.

Los canales semicirculares son tres conductos orientados en cuadratura según las tres dimensiones espaciales. Poseen células receptoras y cristales de calcio que responden a la gravedad y a la aceleración, informando al cerebro la posición y movimiento de la cabeza. Están situados en el centro del laberinto. El movimiento de la cabeza genera también movimientos relativos entre el líquido y los cristales de calcio en suspensión que estimulan a las células sensibles que cubren el tejido interior de los canales. La ventana redonda permite que el volumen de líquido en la cóclea se mantenga constante y que, por tanto, se compensen los movimientos netos con la ventana oval.

Los elementos del oído interno son extremadamente pequeños: la base de la cóclea mide menos de 9mm y el diámetro del conducto que la forma es de cerca de 1mm en su parte media y más estrecha aún en el vértice. La cóclea se divide en tres partes o escalas todavía más pequeñas: *scala tympani*, que comienza en la ventana oval y está llena de un líquido rico en sodio llamado perilinfa; *scala vestibuli*, que inicia en la ventana redonda y se comunica con *scala tympani* a través de una abertura (helicotrema) que permite el paso del líquido perilinfático en el extremo superior de la cóclea. En la mitad se encuentra la *scala media* o conducto coclear que contiene endolinfa, un líquido rico en potasio; está aislado

por la membrana basilar y la membrana de Reissner, una membrana muy liviana y delgada cuya función es separar la endolinfa de la perilinfa sin actuar mecánicamente en el movimiento de los fluidos cocleares.

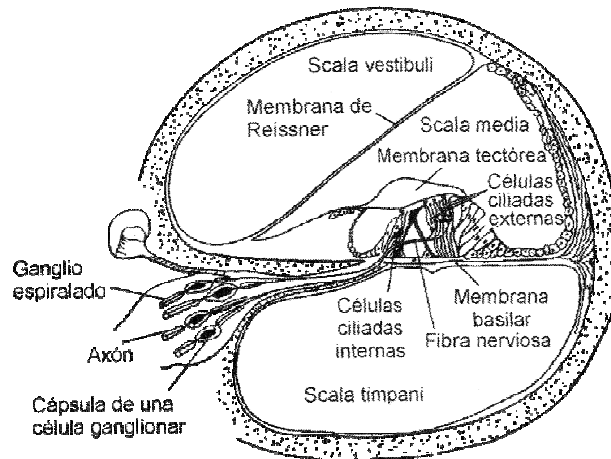


Figura 5. Corte transversal de la cóclea

La membrana basilar sigue el espiral de la cóclea y forma el piso del conducto coclear; es elástica, y si se extiende mide alrededor de 33mm de largo. Allí se encuentra el órgano de Corti, una compleja estructura compuesta por células nerviosas transductoras, células de soporte y fibras nerviosas. Tiene la propiedad de convertir las sucesivas oscilaciones en estímulo de las distintas células nerviosas especialmente distribuidas. Contiene una fila de 3.500 células ciliadas internas (aférentes) que envían información al cerebro a través del nervio auditivo, y varias filas de 25.000 células ciliadas externas (eferentes) que reciben impulsos nerviosos desde el cerebro. La membrana tectórea cubre las estereocilias de las células ciliadas ayudando a su excitación mecánica, lo que las hace responsables de convertir dicha excitación en impulsos nerviosos.

Las células ciliadas internas tienen forma globular con el núcleo ubicado en el centro y están soportadas lateralmente por células de sostén. La parte inferior de cada célula interna está en contacto directo con las fibras nerviosas que se proyectan hacia el sistema nervioso central. Las células ciliadas externas son largas y cilíndricas, con el núcleo en la parte inferior, y tienen contacto directo con

fibras aferentes y eferentes; durante la estimulación con tensión eléctrica, las células externas se acortan y alargan a una frecuencia estable, y a raíz de esa capacidad motora se sugieren como responsables de procesos cocleares activos, como la capacidad de sintonía de banda angosta y la generación de emisiones otoacústicas.

Las fibras que conducen impulsos de distintas frecuencias se hallan situadas en cierto orden: en las áreas internas están las fibras conductoras de impulsos procedentes de tonos altos, y en las áreas externas las fibras conductoras de impulsos procedentes de tonos bajos.

La corteza auditiva no solo percibe las señales acústicas sino que las estabiliza, siendo capaz de determinar la localización y el movimiento, pero su codificación depende de otros factores físicos y neurales.

2.3- Fisisoacústica y Psicoacústica

Los cambios alternativos en la presión del aire producto del movimiento de sus partículas no corresponden inmediatamente al término *sonido*. Las ondas sonoras son el resultado de una perturbación que el sistema auditivo se encargará de procesar para que pueda ser llamado así.

Las ondas transportan energía e información, y en su propagación producen cambios en la presión y densidad del medio, que retorna a su estado inicial una vez que la onda lo ha atravesado. El aire nunca está en reposo porque aunque no existan corrientes, las moléculas se mueven aleatoriamente por acción de la temperatura. Una onda sonora puede ser descrita mediante los desplazamientos instantáneos de las partículas, pero suele considerarse como magnitud acústica básica la velocidad de dichas partículas en lugar del desplazamiento; en algunos puntos del campo sonoro las partículas se juntan y en otros se separan, debido a que se produce una vibración con fase opuesta.

La velocidad de propagación de una onda sonora depende de factores físicos como la elasticidad del medio, la humedad, la temperatura y la presión. Kuttruff (2009) explica que si la propagación de la onda es libre de pérdidas, el medio es homogéneo y sin límites en todas las direcciones, la velocidad de propagación es constante con respecto al espacio y al tiempo. En condiciones normales, la velocidad de propagación en el aire a 20°C es de 344m/s aproximadamente⁴; por cada grado más de temperatura aumenta 0,6m/s. Cuando hay variaciones de temperatura entre dos zonas atravesadas por la onda, ésta sigue un camino curvilíneo en lugar de recto.

Cuando las perturbaciones se producen a intervalos regulares y con igual forma se produce una onda periódica, correspondiente a sonidos más melódicos; las ondas aperiódicas son el resultado de perturbaciones que no se producen a intervalos regulares y no mantienen constante su forma de onda. La mayoría de los sonidos naturales son aperiódicos y no producen sensación de altura, sin

⁴ En el agua, el sonido es casi 4 veces más rápido que en el aire.

embargo, ésta es la forma de onda que técnicamente se expresa como ruido. La onda plana es la solución directa para la propagación de la señal en una dimensión, mientras que en la onda esférica la superficie de presión constante o frente de onda está integrada por esferas concéntricas.

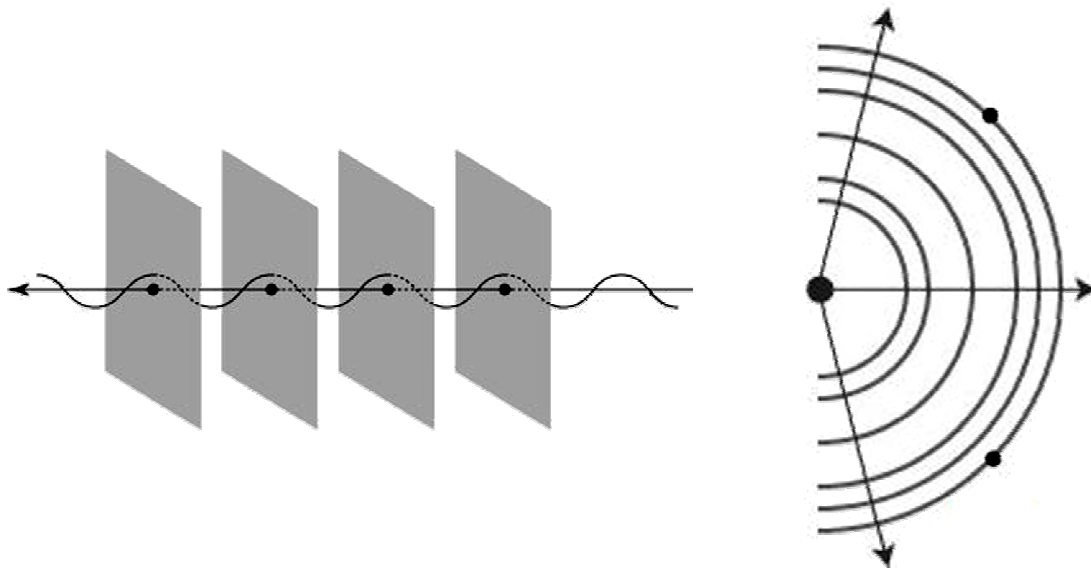


Figura 6. Frente de onda plana y frente de onda esférica

Según el teorema de Fourier⁵, cualquier forma de onda periódica puede descomponerse en una serie de ondas de forma particular denominada onda sinusoidal o senoidal, cada una de las cuales tiene una frecuencia que es múltiplo de la frecuencia fundamental (armónicos). La descripción de las ondas que componen una señal acústica dada se denomina espectro, y está íntimamente vinculado al efecto de diferentes dispositivos y modificadores de dicha señal. Además, la percepción auditiva del sonido es de naturaleza predominantemente espectral: el oído descompone la señal acústica en sus componentes frecuenciales antes de llevar a cabo algún otro procesamiento. El teorema de Fourier también se aplica a las ondas aperiódicas cuando son sonidos simples,

⁵ En honor a su descubridor, el matemático francés Jean Baptiste Joseph Fourier. Afirma que cualquier forma de onda puede obtenerse por superposición de cierta cantidad de senoides, cantidad que puede reducirse a una sola, que es lo que ocurre con las ondas senoidales.

como el ruido blanco, donde el espectro es continuo por presentarse todas las frecuencias en la misma octava; en otros casos, el espectro es discreto y las frecuencias (aunque sean claramente diferenciables) no serán múltiplos de otras.

La frecuencia de onda es el número de perturbaciones por segundo, y se expresa en Hertz (Hz) o ciclos por segundo; un ciclo es todo lo que sucede durante una perturbación completa, y el tiempo que tarda un ciclo en completarse se denomina período. La curva de audición del oído humano está comprendida entre 20Hz y 20KHz. Las ondas acústicas por debajo de 20Hz se denominan infrasonidos, y las que están por encima de 20KHz se denominan ultrasonidos.

Cuando una fuente sonora genera una onda, entrega energía que se propaga con dicha onda. Esa energía está caracterizada por una magnitud llamada densidad. Por otro lado, la intensidad de una señal acústica se atribuye principalmente a la amplitud, que es el máximo exceso de presión en cada ciclo, y se define como el valor medio de la energía acústica que atraviesa una unidad de área en el campo sonoro en una unidad de tiempo. El campo sonoro es la distribución de la presión sonora en el tiempo y el espacio. Puede ser *libre*, donde no existan obstáculos para las ondas; *difuso*, donde en un punto dado es igualmente probable cualquier dirección instantánea de la onda sonora; o *reverberante*, donde se pueden producir reflexiones debido a diversas superficies.

Al interrumpirse una señal acústica emitida por una fuente sonora existe un tiempo finito para que la energía sonora decaiga a valores inaudibles. Esta persistencia de la señal se denomina reverberación, y el tiempo que transcurre desde que la emisión de la fuente sonora se detiene hasta el momento en que la energía disminuye 60dB respecto a su valor inicial es llamado tiempo de reverberación (T_r).

El nivel de presión sonora (sound pressure level, SPL) no se expresa de forma lineal, sino que se indica en una escala logarítmica que es el decibel (dB); se utiliza para hacer manejable el gran rango de presiones sonoras existentes y hacerlo aproximado a la respuesta del oído. El límite inferior del nivel de presión

sonora está cercano al umbral de la audición y el límite superior al umbral del dolor. Por debajo del umbral de la audición la vibración del aire no es perceptible, y por encima del umbral del dolor el sonido se percibe junto a un dolor intenso que produce de inmediato daños irreversibles en el oído interno. El rango entre el umbral de la audición y el umbral del dolor es de 120dB en promedio.

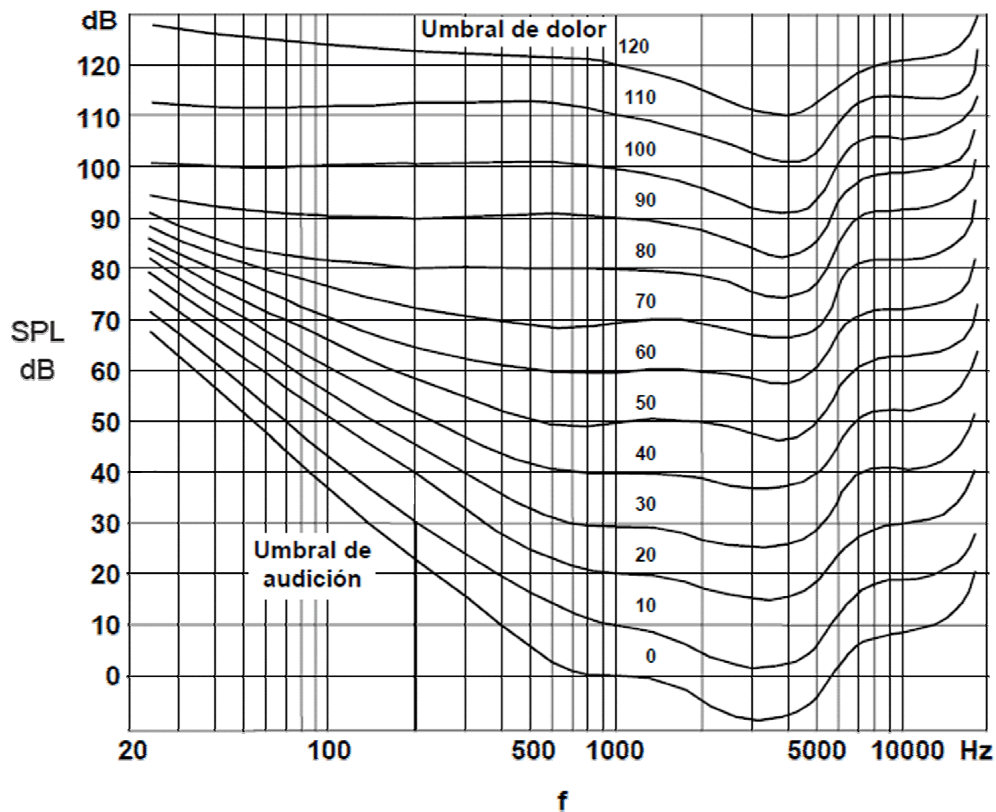


Figura 7. Umbrales de audición y dolor en nivel de presión sonora y frecuencias

La estructura de una señal acústica está constituida por elementos que contienen ciertas características que afectan la respuesta del sistema auditivo, determinadas por parámetros propios de la señal: el *tono* se refiere a la altura de la frecuencia fundamental, el *volumen* describe al sonido en términos de intensidad, el *timbre* es la característica de la calidad tonal, el *tempo* se refiere a la velocidad rítmica, siendo el *ritmo* un patrón de tiempo sonoro; el *ataque* es la manera en que un inicio comienza, la *duración* es el tiempo que tarda la fuente en

detener la emisión de la señal, y el *decaimiento* es la rapidez con la que un sonido empieza a disminuir.

Una vez que la señal acústica se convierte en un estímulo, el organismo reacciona con una intensidad que depende ciertamente de la intensidad del estímulo mismo. Cuando el estímulo genera una sensación, ésta puede identificarse únicamente por respuestas subjetivas que estarán indiscutiblemente influidas por circunstancias habituales y culturales, y serán válidas solo en determinados contextos sociogeográficos. No obstante, existen los llamados *umbrales psicológicos*, que corresponden al mínimo nivel de un determinado estímulo para provocar una reacción observable: el *umbral absoluto* es la mínima intensidad de un estímulo para que se comience a percibir un sonido, y el *umbral diferencial* es la mínima intensidad que un estímulo debe exceder a otro para reconocerlo como diferente. La Diferencia Apenas Perceptible (DAP) es el umbral diferencial indica el fenómeno de compresión que caracteriza a la percepción sensorial.

Basso, G. (2006) expresa que la sonoridad es una magnitud perceptual y como tal no puede medirse a partir de sensores físicos; aun así, está estrechamente ligada a la intensidad de la señal física original, y la percepción de la intensidad del estímulo acústico está presente en todos los aspectos de la función auditiva. La sonoridad es llamada *intensidad subjetiva*. Es el rasgo de la sensación auditiva que considera que los sonidos pueden ordenarse en una escala que se extiende del silencio a lo muy sonoro, como correlato perceptual de la intensidad física.

Leyes de psicofísica expresan que la magnitud psicológica percibida es proporcional al logaritmo del estímulo físico, es decir, que multiplicaciones similares en la magnitud del estímulo generan adiciones proporcionales en la respuesta perceptual, transformando una escala geométrica en aritmética⁶. Esto significa que la sonoridad debe seguir una escala logarítmica similar a la escala de

⁶ La ley de Weber-Fechner reza que cuando el estímulo crece en progresión aritmética, la sensación crece en progresión geométrica.

decibeles que permita usar números para calificar percepciones consistentemente⁷. Los valores numéricos de la sonoridad no son más que la magnitud del estímulo físico, y nada tienen que ver con la valoración de la intensidad de la sensación.

Para describir cuantitativamente la percepción de la sonoridad se han utilizado diferentes modelos. Algunos vienen incorporados incluso en software de sonido y acústica de salas. Los modelos siguen un esquema que parte del desarrollado por Brian Moore en 1997, que refleja que la sonoridad total es proporcional al área bajo un patrón de sonoridad específico.



Figura 8. Modelo de Moore en bloques para calcular la sonoridad

La direccionalidad y la espacialidad son dos sensaciones que requieren la capacidad de localización y estimación de dimensionalidad. El sistema auditivo es un sofisticado procesador espacial que permite al organismo detectar y discriminar la ubicación de objetos sonoros en el espacio. La precisión espacial en el dominio auditivo tiene la ventaja de extenderse en todas las direcciones permitiéndole reaccionar primero; los movimientos de la cabeza son un componente natural e importante del proceso de localización. Para localizar una fuente sonora se deben tomar en cuenta el plano horizontal o azimutal (izquierda-derecha), el plano medio o vertical (arriba-abajo), y la distancia relativa respecto a la fuente. Dos fenómenos están vinculados a la direccionalidad. Uno de ellos es la diferencia de tiempo que hay entre la percepción del sonido con un oído y el otro, debido a que el recorrido de la onda desde la fuente hasta cada oído es diferente. Otro es la diferencia de presiones o intensidad sonora que causan también las distancias.

⁷ Comportamiento logarítmico del oído.

La espacialidad depende de varios factores. El primero es la distancia entre la fuente y el oído, vinculado al conocimiento previo que se tenga de la fuente en cuestión; mientras mayor sea la distancia, menor será la presión sonora, lo que significa que si se conoce la fuente puede tenerse una idea de la distancia. El segundo factor lo constituyen las reflexiones tempranas, relacionadas con la forma del ambiente, el tamaño, y las posiciones de la fuente y el receptor. El tercer factor es la reverberación, explicada anteriormente. Por último, el cuarto factor es el movimiento de la fuente; muchas son fijas, pero las hay móviles, y dicha movilidad es percibida a través del desplazamiento evocado por la dirección de procedencia del sonido y por el llamado *efecto Doppler*, que hace que la frecuencia de la fuente móvil parezca cambiante.

Dentro de las cualidades del oído hay una que tiene consecuencias de gran importancia para la audición, y es el hecho de que los sonidos son capaces de enmascarar a otros sonidos. Enmascarar a un sonido significa ocultarlo o hacerlo imperceptible. Es una propiedad del oído, no del sonido (Miyara, 2000). El efecto enmascarador cambia la curva del umbral de la audición ante la presencia del sonido *máscara* o *enmascarante*, que al aumentar su nivel incrementará el umbral, y los demás sonidos deberán tener mayor intensidad para no ser enmascarados. El efecto de enmascaramiento es mayor hacia las frecuencias que están por encima del tono máscara porque los fenómenos no lineales dentro del oído hacen que los tonos de gran amplitud se distorsionen creando armónicos que a su vez son enmascarantes.

El sistema auditivo periférico se comporta como si estuviese integrado por varios filtros auditivos en paralelo no lineales. Al detectar una señal dentro de un ambiente ruidoso, el oído utiliza un filtro cuya frecuencia central se acerque más a la frecuencia del estímulo inicial detectado: la señal pasa, pero se atenúa gran parte del ruido de fondo, correspondiente a los otros filtros, y solo la señal que atraviesa el filtro central afecta significativamente. Estos filtros son llamados hipotéticamente *bandas críticas*. Al incrementar el ancho de banda aumenta la potencia de ruido que pasa, pero una vez que éste lo supera se detiene su

capacidad enmascarante. La parte del ruido que queda fuera del filtro sintonizado con la señal no afecta la habilidad de detectarla, en tanto se pueden utilizar varios de estos filtros para aumentar la capacidad de detección.

Las sensaciones psicoacústicas como recurso del sistema auditivo pudieran considerarse defectos del sistema auditivo en lo referente al descarte consciente de información que pudiera ser útil, pero el mecanismo cerebral, aunque con cierta dificultad, procesa igualmente esas señales que se han descartado. Como consecuencia de la capacidad de análisis en frecuencia del sistema auditivo surge la habilidad para separar los componentes espectrales de una señal. Ese análisis depende de la exploración espectral que ocurre directamente en la cóclea, que la cadena auditiva se encarga de codificar y transmitir de modo independiente por el nervio auditivo. Todas las señales son necesariamente procesadas de este modo. Es por esto que la percepción de un sonido como un todo coherente depende del rearmado que tiene lugar en algún punto superior del sistema nervioso.

3.- ASPECTOS NEUROCIENTÍFICOS Y NEUROPSICOLÓGICOS DEL SISTEMA SENSORIAL AUDITIVO

“El mecanismo parece claro: una onda acústica produce cierta presión dinámica en el aire a la entrada del oído externo y genera movimientos de amplitud proporcional en el tímpano, en los huesos del oído medio, en la ventana oval y en la membrana basilar. El movimiento de la membrana basilar, a su vez, implica la estimulación de las células ciliadas y la aparición de una cantidad de impulsos nerviosos viajando por el nervio auditivo.” (Basso, G., 2006)

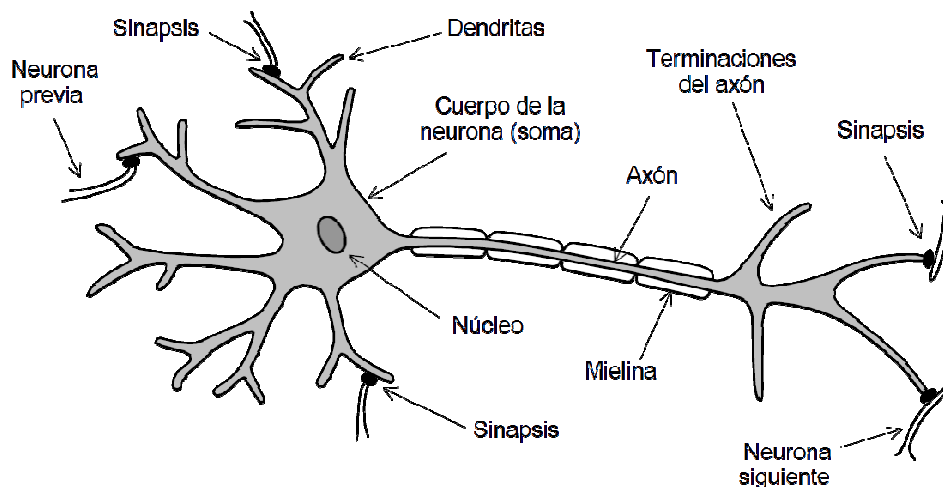


Figura 9. Neurona típica.

Una vez expuesto el proceso físico y biológico que convierte una señal acústica en sonido propiamente, es momento de pasar al proceso neural que todo esto acarrea. Una neurona es más que un conductor eléctrico que se comunica con el cerebro: es un sistema complejo con entradas y salidas que recibe potenciales de acción⁸ provenientes de otras neuronas o de células sensorias

⁸ Pulsos eléctricos. Mecanismo básico que utiliza el sistema nervioso para transmitir información. Es un fenómeno breve en el cual la corriente se propaga a través de membranas con canales iónicos que se abren y se cierran permitiendo el paso de iones eléctricamente cargados de sodio (Na+) y potasio (K+), que pasan creando gradientes químicos y eléctricos opuestos en respuesta a la despolarización eléctrica de la membrana.

(como las células ciliadas), a través de las dendritas; los puntos de contacto se llaman sinapsis. Las dendritas realizan operaciones de ponderación de las señales recibidas, y si el resultado de dicha suma ponderada excede cierto umbral, el propio cuerpo de la neurona genera un nuevo potencial de acción. Al terminar este pulso sobreviene un tiempo en el que no pueden generarse nuevos pulsos, llamado período refractario, que cuando se completa permite que inicie un nuevo ciclo generador de potenciales de acción cuya frecuencia aumentará en la medida en que se aumente el potencial constante. De este modo, la neurona se comporta como una suerte de modulador de frecuencia codificando las señales recibidas.

El potencial de acción generado se propaga en forma de onda a lo largo del axón hasta las neuronas siguientes, y su velocidad dependerá de si el axón está o no recubierto por una sustancia aislante llamada mielina⁹. Una vez alcanzadas las terminaciones del axón, el potencial de acción se transmite a las otras neuronas a través de las sinapsis.

La señal que reciben las neuronas que actúan en el oído interno proviene de las células sensoriales conectadas a la membrana basilar (células ciliadas internas). Al recibir una señal acústica, la membrana basilar se mueve hacia arriba y hacia abajo aumentando y disminuyendo respectivamente el nivel de la señal, lo que en un caso aumenta la frecuencia y en el otro la disminuye. Esta variación no se manifiesta directamente sino de forma estadística. Lo que se busca con esto es lograr un sincronismo entre la onda mecánica de la membrana basilar y las emisiones de potenciales de acción, cuya codificación será utilizada por la corteza cerebral para asignar una altura a un tono. El cerebro utiliza ciertos mecanismos para captar información, basados en la capacidad de las terminaciones nerviosas sensoriales de la membrana basilar para responder a aspectos como la amplitud de vibración y la forma de onda temporal.

⁹ La mielina reduce la capacidad eléctrica entre el axón y el medio exterior, disminuyendo el tiempo necesario para cargar esa capacidad, acelerando así la propagación de los pulsos. Para las neuronas no mielinizadas, la velocidad de propagación del potencial de acción es de aproximadamente 1 milisegundo (ms) mientras que para las neuronas recubiertas con mielina puede superar los 100 milisegundos.

La discriminación de frecuencias del oído humano no es responsabilidad solo de las características elásticas pasivas de la membrana basilar, sino también de un mecanismo de control en el que intervienen las células ciliadas externas como elementos contráctiles¹⁰, realimentando el sistema para agudizar la resonancia.

En los niveles superiores del sistema auditivo concurren grupos de detectores neurales altamente especializados. En la corteza cerebral no se analiza solo la frecuencia o la intensidad de las señales: algunas neuronas corticales responden directamente a los picos transitorios de la señal de entrada, otras reaccionan ante cambios unidireccionales de frecuencia¹¹, otras son sensibles a la tasa de modulación que opera en la inteligibilidad del habla, otras a los datos necesarios para la localización espacial. La codificación de las señales a nivel neural da lugar al llamado *mapa tonotópico*¹². Aunque dicha tonotopía llegue hasta el cerebro, se propone un mapeo que incluye también una relación isomórfica, tomando a la cóclea como un sistema unidimensional y a la corteza cerebral como un sistema bidimensional con varios pliegues.

Independientemente de esto, es indiscutible que la información acústica llega al sistema auditivo central con un grado elevado de precisión, y el máximo nivel de detalle espectral se define a la entrada del sistema de transducción, el cual se mantiene intacto a lo largo de toda la cadena sensoneural. Una vez que la información acústica abandona el sistema auditivo llega a la corteza cerebral.

¹⁰ Las células ciliadas externas, al abrirse y contraerse, emiten sonidos como respuesta a un sonido entrante, los cuales fueron descubiertos por el Dr. David T. Kemp en 1978 al detectar un eco generado en el interior del oído luego de estimular el tímpano con un impulso de baja intensidad. Estos sonidos son denominados emisiones otoacústicas (EOA), y tienen un retardo de entre 5 y 60 ms, lo que sugirió que su origen es coclear. La energía que se refleja puede en algunos casos superar a la energía incidente, poniendo de manifiesto que se produce un proceso activo no lineal de amplificación biológica.

¹¹ En literatura especializada son llamadas *frequency sweep detectors*.

¹² Incluye hechos como que las frecuencias más altas estimulan las células ciliadas que se hallan en la zona basal de la cóclea, y las frecuencias más bajas las de la zona apical.

3.1- La Ruta Auditiva

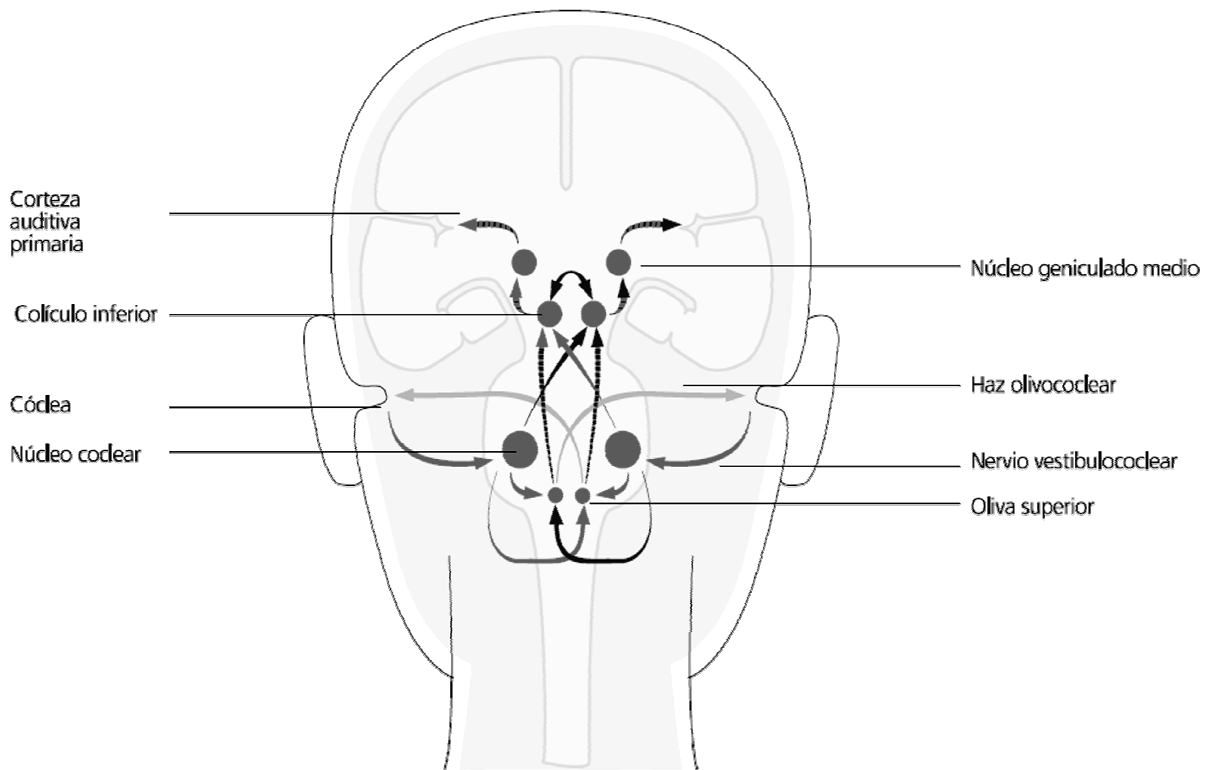


Figura 10. Representación esquemática de las vías auditivas.

En el tronco encefálico se encuentran dos centros de relevo en la ruta auditiva procedente de la cóclea: el núcleo coclear y la oliva superior. El nervio vestibulococlear llega al núcleo, y aunque la mayoría de las conexiones son aferentes, aproximadamente un 10% de axones son eferentes y regresan a la cóclea; proceden de neuronas de la oliva superior y forman el haz olivococlear, que tiene una función determinante en la discriminación auditiva¹³ manteniendo una retroalimentación que reduce la sensibilidad coclear y ayuda a proteger el oído frente a sonidos intensos.

¹³ Principalmente en ambiente ruidosos. Sin embargo, en estas tareas complejas como la capacidad de comprender el habla en ambientes de gran contaminación por ruido (denominado *cocktail party effect*, por el psicólogo cognitivo experimental Donald Broadbent), es necesaria la interacción de ambos hemisferios: el izquierdo (temporal) procesa la palabra, mientras que el derecho (espacial) procesa la localización de la fuente.

En el núcleo coclear se dan respuestas neuronales más complejas que en las fibras del nervio coclear, que se ven afectadas tanto por entradas inhibitorias procedentes de otras neuronas del mismo núcleo o de rutas más centrales, como por diferentes patrones de entradas aferentes según distintos tipos de neuronas. Por esa interacción entre excitaciones e inhibiciones se dan diferentes patrones de activación como respuesta al mismo estímulo tonal, sugiriendo que la parte dorsal del núcleo coclear es determinante en la apreciación del sonido percibido.

Del núcleo coclear surge una bifurcación cuyas vías van hacia el colículo inferior en el mesencéfalo desde la parte dorsal, y hacia la oliva superior en el tronco encefálico desde la zona ventral. En esta última vía están las fibras ipsilaterales y las contralaterales, encargadas de permitir a la oliva superior llevar a cabo comparaciones binaurales para situar los sonidos en el espacio; los métodos para comparar las entradas procedentes de un oído con las del oído opuesto son diferentes en los núcleos olivares.

En los núcleos laterales se detectan las diferencias interaurales de intensidad, y en los núcleos medios las neuronas codifican las diferencias interaurales de tiempo, midiendo la diferencia entre la llegada de las señales del oído derecho y el oído izquierdo para realizar una aproximación espacial a la fuente sonora, que al estar más cerca de un oído provocará activaciones más tempranas e intensas en esa vía auditiva que en la del lado opuesto, porque en el recorrido aéreo que hace el sonido para llegar de un oído al otro se produce retraso temporal y pérdida de intensidad.

En la zona dorsal del mesencéfalo se encuentran dos prominencias que son los colículos inferiores, estación próxima de la ruta auditiva que al salir de la oliva superior llega hasta aquí a través del lemnisco lateral; encima se hallan los colículos superiores, que están relacionados con el procesamiento visual. Es por

esto que algunas respuestas motoras que coordinan la visión y la audición subyacen en las conexiones entre los dos pares de colículos¹⁴.

La vía de localización auditiva procedente de la oliva superior se une con la del núcleo coclear en el colículo inferior, donde se hallan grupos de neuronas que forman capas de isofrecuencia (en las que todas las neuronas están “calibradas” a la misma frecuencia). Allí se encuentran otras varias especies de mapas tonotópicos: en uno, las frecuencias altas están en las capas interiores y las frecuencias bajas en las capas exteriores; superpuesto a éste, hay otro relacionado con la intensidad en el que las neuronas que están en el centro de cada capa y formando anillos concéntricos tienen menor umbral absoluto siendo son más sensibles a la intensidad, detectando intensidades bajas, mientras que las neuronas exteriores necesitan un mayor valor de intensidad para excitarse¹⁵.

Otro tipo de mapa de codificación lo constituyen las diferentes neuronas del colículo inferior que responden mejor a diferentes amplitudes de modulación. Las respuestas de otras neuronas de los colículos inferiores están vinculadas a la posición del sonido en el espacio, ya que sus salidas se dirigen a los colículos superiores donde el mapa visual del espacio organiza el mapa auditivo.

Algunas conductas relacionadas con el sonido involucran directamente a los colículos inferiores: intervienen en las respuestas que alteran la tensión de los músculos del oído medio para proteger al oído interno; también contribuyen al giro

¹⁴ La llamada *interacción de sensaciones* en psicología indica que los órganos no trabajan aisladamente y que pueden estimularse o deprimirse entre ellos; verbigracia, una excitación sonora u olfativa pueden agudizar el funcionamiento de la sensación visual. Al hablar de esto a niveles más profundos surge la denominada *cinestesia*, en la que se pone de manifiesto la transmisión o transferencia de un tipo de sensación a otro tipo diferente. Sus motivos depende de factores tanto externos como internos: los olores de sustancias cuyas moléculas contienen un elevado número de átomos de carbono se relacionan directamente con matices oscuros tanto tonales como cromáticos, mientras que las sustancias con menor número de los mismos de refieren a matices claros; en cuanto a las características propias de cada organismo, la cinestesia suele ponerse de manifiesto en personas con una elevada excitabilidad de las formaciones subcorticales, siendo predominante en casos de histeria, en períodos de gestación y, artificialmente, mediante el empleo de diversos fármacos, como la mezcalina. También existen patologías o fenómenos similares con personas que colorean los días de la semana o los meses del año. La labor sintética de los órganos en estos casos reside en la conexión entre las zonas donde se encuentran las neuronas relacionadas con cada modalidad.

¹⁵ Con esto se puede deducir que la intensidad está relacionada con la propagación de la excitación.

de la cabeza y de los ojos como respuesta de orientación a un sonido debido a que de allí salen fibras hacia el puente de Varolio y el cerebelo.

Algunas de las proyecciones que se dan en el colículo inferior son descendentes (vuelven a la oliva superior y el núcleo coclear), lo que crea un bucle retroalimentado entre estas estructuras. No obstante, el recorrido continúa hacia el núcleo geniculado medio en el tálamo, que está dividido en zona ventral, dorsal y medial. La zona ventral está organizada tonotópicamente de forma similar al colículo inferior, y proyecta sus axones a la corteza auditiva primaria. En la zona dorsal las neuronas responden mayormente solo a sonidos complejos, y sus proyecciones se dirigen a las áreas auditivas que rodean a la corteza auditiva primaria. La zona medial recibe entradas desde fuentes somatosensoriales, vestibulares y visuales, y sus neuronas responden a una o más de estas modalidades realizando de forma difusa sus proyecciones a áreas corticales auditivas y zonas adyacentes.

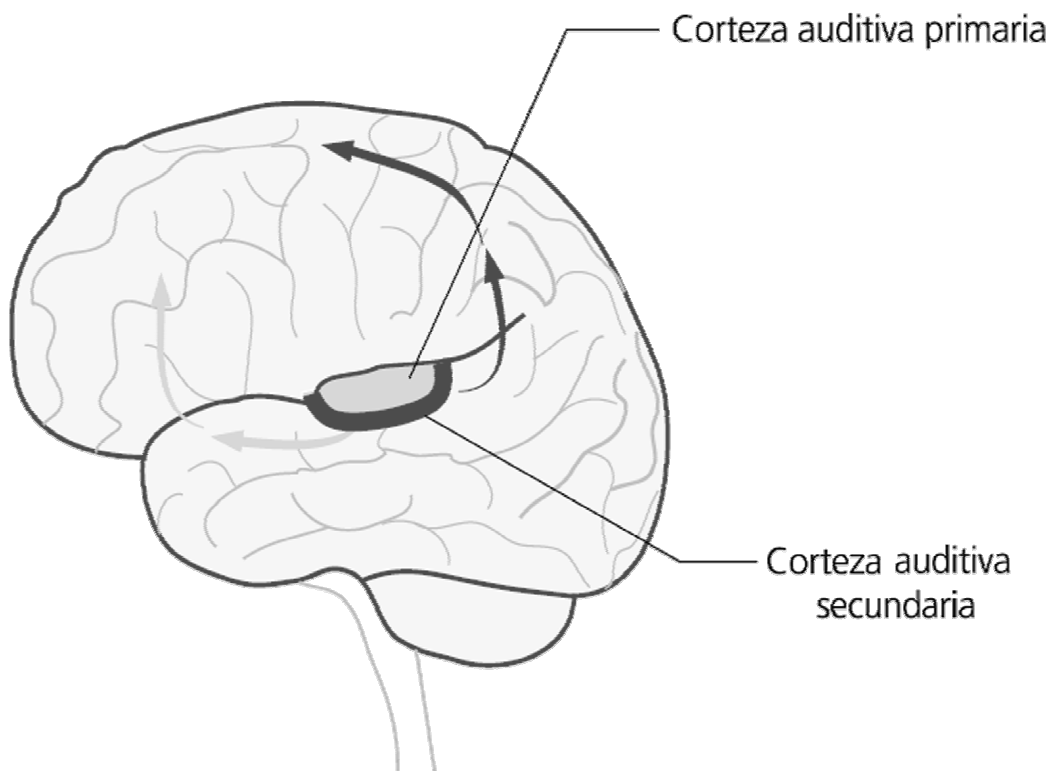


Figura 11. Corteza auditiva primaria y secundaria.

La corteza auditiva primaria está situada en la parte superior del giro temporal superior en el plano supratemporal, una de las regiones con más pliegues en el cerebro humano¹⁶. Está rodeada de áreas de asociación auditiva, localizadas en el surco circular y el giro temporal superior. Tiene una organización tonotópica al igual que otras zonas secundarias de la información auditiva como el plano polar y el plano temporal. Las áreas auditivas que codifican la intensidad envuelven más que solo la corteza auditiva primaria, pero allí se hace evidente que hay una naturaleza no lineal entre la intensidad sonora y la extensión de la excitación.

Existe una vía auditiva dorsal que cruza desde la corteza auditiva primaria hasta el surco frontal parietal en la corteza parietal posterior, análoga a la vía visual dorsal, que corresponde a movimientos de la dirección de la información auditiva. También hay una vía auditiva ventral que se distribuye a lo largo de la zona ventral del temporal para adentrarse en el frontal inferior.

La ruta auditiva semántica discurre mayormente hacia zonas ventrales y anteriores. La mayoría de los sonidos se procesa en mecanismos que tienen como finalidad el análisis de propiedades acústicas simples (la frecuencia y la intensidad), propiedades acústicas complejas (patrones en función del tiempo), y propiedades semánticas (asociaciones de patrones sonoros y significados). El análisis de propiedades acústicas simples es ya obvio, pero algunas de las estructuras neuronales que dan cuenta de ese análisis también intervienen en las complejas, como el área auditiva primaria y algunas estructuras previas. El procesamiento temporal se centra en la corteza auditiva primaria y algunas redes corticales que la rodean; la vía ascendente que incluye la corteza auditiva proporciona un mecanismo suficiente para procesar propiedades espectrotemporales de sonidos individuales. Las redes corticales tienen una actividad que permite procesar patrones temporales de alto nivel al estar formadas por proyecciones auditivas emanadas desde la corteza auditiva primaria, que pasan paralelamente a la ruta ventral visual hasta el polo temporal, y luego a las

¹⁶ El patrón de pliegues es altamente variable entre las personas.

áreas frontales. Así, se proporciona una primera etapa en el procesamiento neuronal de la música y el habla.

Peretz (2000) expone evidencias de la neuropsicología que sugieren la existencia de al menos tres sistemas distintos para el reconocimiento auditivo: los sonidos ambientales, los musicales y los del habla, pero las investigaciones a menudo se entremezclan encaminándose en la línea de que el procesamiento de los sonidos musicales y del habla comparten algunas zonas concretas dependiendo del atributo perceptivo al cual se atienda. La percepción del habla es específica si se comparan aspectos del procesamiento semántico con procesamientos de la melodía musical (variación tonal), porque se ponen de manifiesto algunos principios cognitivos generales, pero si se analiza esto desde la estructura temporal, hay efectos similares a los que se dan en la percepción musical (ritmo).

Por otra parte, la neuropsicología en lo referido a la percepción musical se centra en la diferenciación funcional de los dos hemisferios, sabiendo que existe una superioridad clara de las fibras auditivas cruzadas sobre las ipsilaterales, porque al recibir distintos estímulos en ambos oídos¹⁷ la superioridad de la vía contralateral bloquea la vía ipsilateral para seguir procesando. De este modo se pone de manifiesto que el hemisferio izquierdo domina en el lenguaje y el derecho en la música¹⁸.

¹⁷ Presentación dicótica de sonidos.

¹⁸ La música tiene fuertes bases en la neurobiología humana. Existen terapias y programas que la utilizan para modificar el comportamiento, mejorar la integración y la percepción auditiva, logrando mejoras en trastornos de lenguaje, de escritura, de desarrollo cerebral y de desempeño.

3.2- El Rol de la Conciencia

La ciencia ha ubicado a la conciencia en la cima de la evolución del sistema nervioso. Como función mental y proceso neuronal, combina la identidad propia con las interacciones recíprocas en el dominio del tiempo y el espacio. La actividad cerebral es medible por lo objetivo de su naturaleza, pero la conciencia como fenómeno subjetivo no es observable.

El estado consciente es una representación neural, flexible y dinámica de la conciencia, que es entendido por quien lo experimenta como algo privado. La correlación con la actividad neuronal subyacente es detectada por registros combinados con medidas psicofísicas.

La conciencia es exclusiva del tejido nervioso, y se infiere su existencia por datos que implican la capacidad de elección de alguna acción determinada: la atención selectiva, que demuestra que la conciencia es dirigible; la manipulación de ideas abstractas; la capacidad de expectativa o de predicción de situaciones futuras; la advertencia propia e impropia; los valores estéticos y éticos. Se caracteriza por factores como la percepción y la memoria, porque es un estado intrínseco del cerebro independiente de la entrada sensorial¹⁹, y es inherente al tiempo.

Mediante tomografías se han logrado vislumbrar las áreas del cerebro que corresponden con estados conscientes y alteraciones de la conciencia²⁰, y se deduce que en el tálamo y zonas profundas adyacentes se produce un aumento de la actividad neural, pero en la corteza cerebral el patrón de actividad varía dependiendo del contenido de los estados y alteraciones.

Anteriormente se explica que el estímulo que recibe el organismo se fragmenta en distintas partes del cerebro para ser analizado, pero la peculiaridad de mantenerlo como una experiencia unificada coherente de la realidad externa, y

¹⁹ Se pueden minimizar todas las entradas sensoriales sin que se extinga la conciencia.

²⁰ Las alteraciones de la conciencia caracterizan a los conjuntos de entidades clínicas presentes en la psicopatología.

contextualizada en el tiempo y el espacio, es responsabilidad de la conciencia. Esta unidad perceptual es estudiada principalmente por la neurobiología²¹. El cerebro se encarga de reconstruir el estímulo fragmentado mediante la activación simultánea de todas las neuronas implicadas en la percepción de dicho estímulo, de manera que sea coherente en un instante.

Durante la ejecución de actos cognitivos o estimulación sensorial, las neuronas en la corteza cerebral oscilan a 40Hz debido a sus propiedades eléctricas intrínsecas, y el sistema nervioso puede oscilar a esa frecuencia a nivel celular y multicelular, lo que sugiere la existencia de un sistema sincronizador cortical que puede darse en las sinapsis. Estos son estados resonantes globales del cerebro, la base funcional de la conciencia. Estudios con magnetoencefalografía muestran que la oscilación de 40Hz se genera primero en las regiones corticales y frontales, y luego en las caudales, desfasándose de modo que el cerebro se comporta como si tuviera un sistema de escaneo que recorre toda la corteza cerebral. Dicho escaneo se genera secuencialmente en circuitos recurrentes entre diferentes áreas de la corteza, enlazando toda la información sensorial en un instante o *quantum* de conciencia de 12.5ms, valor que corresponde al estimado de estudios psicofísicos de la vía auditiva²².

El proceso de la conciencia es discreto y discontinuo en la interacción entre el tálamo y la corteza cerebral, pero al estar modulado por los sentidos permite percibir el mundo externo de manera unificada como un continuo en el tiempo. El estado consciente pone de manifiesto que el comportamiento es flexible y adaptable a diferentes circunstancias.

²¹ El problema del enlace o *binding*. Los conjuntos de neuronas especializados en analizar atributos distintos de cada objeto de la realidad externa se encuentran localizados en distintas áreas del cerebro, pero la conciencia es el mecanismo que enlaza temporalmente la actividad de los conjuntos de neuronas de manera que el estímulo se reconstruya, permitiendo experimentarlo como una unidad perceptual unificada. El problema es entender el sincronismo con que los conjuntos de neuronas se activan.

²² La vía auditiva es la vía sensorial que tiene el mayor poder discriminatorio entre los estímulos aplicados en secuencia temporal. Para que dos estímulos auditivos se perciban como señales separadas, deben estar distanciados uno del otro por un intervalo de tiempo de al menos 12.5ms, de lo contrario se percibirán como uno solo.

3.3- Criterios sobre Neurociencia Cognitiva de la Audición

El conocimiento que se tiene actualmente sobre el comportamiento de las áreas cerebrales respecto a procesos auditivos, se debe a las diferentes investigaciones que realizan expertos en el estudio de la actividad cerebral por medios tecnológicos, proceso que viene desarrollándose en las últimas décadas y que avanza con rapidez. Múltiples estudios demuestran que lo que antes se intuía ahora está comprobado, y que cada vez surgen descubrimientos que permiten que la neurociencia aplicada presente nuevos planteamientos en distintos campos. A continuación algunos de ellos que competen a la finalidad de esta investigación:

- 🧠 Si se extraen frecuencias concretas del entorno acústico se producen efectos en la corteza auditiva que se expresan en cambios bruscos en la sintonización de las neuronas. Este fue el resultado de un estudio con magnetoencefalografía expuesto por Pantev, Wollbrink y Roberts en *Short-term plasticity of the human auditory cortex* (1999), en el que los participantes escuchaban por 3 horas durante 3 días música con una supresión de una banda estrecha de frecuencias centradas en 1KHz, y luego se comparó con una supresión de una banda centrada en 500Hz. Durante el estudio, la representación neuronal en 1KHz fue significativamente menor que la de 500Hz, y se mantuvo sin incrementarse ni reducirse; al finalizar, volvió a su línea base original, sugiriendo que se producen cambios rápidos en la sintonización de las neuronas de la corteza auditiva primaria si se manipula el entorno acústico. Esto supone una expresión dinámica de la plasticidad neuronal que demuestra que la organización cortical auditiva no es fija sino que responde a las capacidades cerebrales para adaptarse a los requerimientos del ambiente.

- 🧠 Griffiths (2004) mediante un estudio de neuroimagen funcional y lesiones cerebrales, señala que hay una organización relativamente jerárquica del sustrato neuronal para el procesamiento de secuencias sonoras: para determinar sonidos significativos es importante el análisis de las

propiedades temporales en primer lugar²³, luego las espectrales y por último las espaciales.

- 🗂 En cuanto a la localización espacial de una fuente sonora, se han realizado estudios para contrastar la aplicación del modelo dual de la visión al procesamiento auditivo. Arnott, Binns y Grady, en el año 2004, realizaron un metanálisis de estudios con tomografía por emisión de positrones y resonancia magnética funcional, evidenciando modelos de vía dual en los que la información sobre la identificación del sonido se halla en la ruta ventral y la localización en la ruta dorsal, indicando que la audición espacial activa el parietal inferior.

Lewis, Wightman, Brefczynski y Phinney desarrollaron varios estudios comparativos con la finalidad de identificar las zonas cerebrales involucradas en el reconocimiento de sonidos ambientales. Utilizaron neuroimagen funcional en individuos expuestos a un amplio rango de sonidos:

- 🗂 En el año 2004²⁴, compararon la actividad cerebral que provocaban sonidos reconocibles respecto a sonidos irreconocibles. Resultó que con sonidos reconocibles se activaban zonas del hemisferio izquierdo asociadas con el procesamiento semántico, en conjunto con una fuerte actividad bilateral en porciones posteriores del giro temporal medio, entre la ruta auditiva dorsal y la ventral. Estos focos bilaterales de activación se unen parcialmente con áreas implicadas en el procesamiento visual del movimiento biológico y en el reconocimiento de utensilios y artefactos. El giro temporal medio procesa información multimodal sobre objetos y movimientos asociados a él, donde

²³ Griffiths considera el análisis temporal en dos niveles: estructura temporal fina (milisegundos o decenas de milisegundos) y estructura temporal de alto nivel (centenares de milisegundos).

²⁴ Lewis, Wightman & Brefczynski: *Human brain regions involved in recognizing environmental sounds*.

se ve representado un conocimiento de la acción que influye en el reconocimiento de las fuentes sonoras en el entorno familiar.²⁵

🗂️ Posteriormente, en el año 2005, aportaron evidencias de que las personas diestras activan una red motora en el hemisferio izquierdo cuando oyen sonidos de utensilios manejables con las manos. Es decir, la actividad hemisférica durante la audición de sonidos ambientales depende de la lateralización motora.²⁶

🗂️ En el 2006 se comparó la actividad cortical en diestros y zurdos, categorizando sonidos de animales²⁷. Los resultados mostraron que los sonidos evocaban actividad predominante en el hemisferio opuesto a la mano dominante en zonas corticales multisensoriales y motoras. Así se refleja la idea de que el significado de un sonido se aprende en el contexto de su uso con la mano dominante, de forma que las redes subyacentes a los esquemas de acción pueden ser aprovechadas para facilitar el reconocimiento perceptivo.

En lo referente a la música, las décadas de los 60 y 70 fueron determinantes en la demostración de la relevancia del hemisferio derecho; pero algunos limitaban esa relevancia a melodías, y otros a acordes. Más adelante, la idea de dominancia cerebral se reemplazó por la noción de redes interconectadas en ambos hemisferios, afectados ambos por factores congénitos y adquiridos. Se desarrollaron experimentos que indicaron las diferencias en la selectividad de las neuronas en la corteza auditiva primaria del hemisferio derecho y las de la misma zona del hemisferio izquierdo:

²⁵ El trastorno auditivo que provoca problemas en el reconocimiento de fuentes sonoras del entorno familiar (excepto el lenguaje y la música) se denomina agnosia auditiva pura. El trastorno en el reconocimiento de los sonidos musicales es llamado agnosia musical. Existen otros tipos de agnosias auditivas en los que se dificulta el reconocimiento de las fuentes sonoras en general, pero es necesario descartar la hipoacusia (alteración de la cóclea).

²⁶ Lewis, Phinney & Brefczynski: *Lefties get it 'right' when hearing tool sounds*.

²⁷ Lewis, Brefczynski & Phinney: *Distinct cortical pathways for processing tool versus animal sounds*.

- 🗣️ Bever y Chiarello en 1974²⁸ realizaron un experimento con un grupo de músicos y un grupo de inexpertos musicales. Los participantes debían identificar una secuencia de dos notas presentes en una melodía. Los músicos mostraron cierta ventaja en el oído derecho y los inexpertos en el oído izquierdo; el resultado es una consecuencia de la estrategia adoptada, ya que los inexpertos identificaban las notas de forma global (hemisferio derecho) y los músicos de un modo analítico (hemisferio izquierdo).

- 🗣️ No obstante, Basso, A. en 1999²⁹ concluyó que si bien está establecida una dominancia del hemisferio derecho en el reconocimiento de acordes en personas inexpertas en música, los resultados en músicos han sido heterogéneos: en los músicos domina el hemisferio derecho para tareas fáciles y el izquierdo cuando se trata de tareas musicales más complejas. Conclusiones del año 2004 explican esto indicando que las neuronas del hemisferio derecho se hallan sintonizadas a frecuencias de una forma precisa, mientras que las del hemisferio izquierdo son sensitivas a los rasgos temporales de la información auditiva.³⁰

La información neuropsicológica sobre percepción musical se basa en investigaciones sobre lesiones cerebrales:

- 🗣️ Vignolo en el año 2003 expuso que las personas con lesiones en el hemisferio derecho tendían a fallar en la percepción de los sonidos ambientales, conservando intacta la percepción musical, o bien en las melodías, conservando adecuadamente la percepción del ritmo. En cambio, las lesiones en el hemisferio izquierdo tendían a mantener la percepción de la melodía y a fallar en el ritmo, de forma selectiva o en asociación con la identificación semántica de los sonidos ambientales. Este estudio sobre la

²⁸ *Cerebral dominance in musicians and nonmusicians.*

²⁹ *The neuropsychology of music: Handbook of clinical and experimental neuropsychology.*

³⁰ Liégeois-Chauvel, Giraud & Badier: *Intracerebral evoked potentials in pitch perception reveal a functional asymmetry of human auditory cortex.*

disociación entre el reconocimiento de la música y el reconocimiento de sonidos ambientales consistía en la administración de pruebas estándar de música y sonidos.³¹

- 👤 Se tomaron como referencia investigaciones con pacientes con lesiones en el lóbulo temporal, para resumir que el lóbulo temporal derecho tiene un cierto grado de especialización en la elaboración de algunos atributos de los estímulos musicales, aunque para una elaboración más compleja es necesaria la interacción de los dos lóbulos temporales³². Esta fue la base que permitió patentar la amusia en el año 2005³³, condición que lleva aparejada algún tipo de pérdida de la capacidad musical, como la comprensión y la capacidad de leer o escribir notaciones musicales.³⁴

Teniendo en cuenta estos avances en el conocimiento del comportamiento cerebral, el proceso auditivo se puede tornar manipulable para fines creativos. Si se aplican a ciertos métodos que incluyan movimiento, narrativa, ritmo, ubicación espacial, manipulación de objetos, psicología de personajes y patologías, puede generarse una atmósfera que aporte beneficios y sume verosimilitud a la creación, siendo verificable y comprobable mediante métodos de neurociencia aplicada.

³¹ *Music agnosia and auditory agnosia.*

³² Basso: *The neuropsychology of music: Handbook of clinical and experimental neuropsychology.* (1999)

³³ Pearce: *Selected observations on amusia.*

³⁴ Existen dos tipos de amusia dependiendo de su procedencia: la adquirida y la congénita. En la última, las personas fundamentalmente no discriminan diferentes tonos; el entrenamiento en la discriminación no consigue ningún beneficio.

4.- NEUROCIENCIA Y DISEÑO DE SONIDO

4.1- Neurociencia Aplicada

Según Correa (2008) la neurociencia aplicada es una disciplina que utiliza el conocimiento sobre la estructura y el funcionamiento del cerebro para la solución de problemas prácticos. Se nutre de otras disciplinas clásicas y de múltiples técnicas para estudiar y desarrollar herramientas aplicables buscando impactar de forma positiva al cerebro.

En la unión de la neurofisiología y la psicología está la base de la neurociencia aplicada, y los métodos que se utilizan para la implementación de ésta parten de dichas áreas.

En la psicomotricidad y la integración sensorial, la función cerebral que compete al movimiento es la base sobre la que se tratan de normalizar o mejorar las funciones cognitivas o de comportamiento por la unión entre el cerebro, el cuerpo y el medio ambiente, y la comunicación multidireccional que hay entre ellos. Comportamiento sin movimiento es inexplicable y comportamiento sin funciones cognitivas y emocionales es imposible³⁵ (Novo, 2009).

Directamente en la neuroestimulación, se ha logrado realizar estimulación cerebral por control remoto con la finalidad principal de mejorar ciertas conductas, pero desarrollos más recientes han mostrado una técnica que consiste en la aplicación sobre la superficie del cráneo de una serie repetitiva de pulsos magnéticos que alcanzan una estructura cerebral específica, dando lugar a cambios duraderos en el funcionamiento neuronal, sin que sea necesaria la implantación de electrodos dentro del cráneo para realizar la estimulación³⁶.

³⁵ La terapia psicomotriz tiene su base en movimientos conscientes y voluntarios, con direccionalidad y orden, integrando funciones cognitivas y de comportamiento con actividades motoras.

³⁶ rTMS (*repetitive Transcranial Magnetic Stimulation* o *Estimulación Magnética Transcraneal Repetitiva*). Fregni & Pascual-Leone en *Technology insight: noninvasive brain stimulation in neurology perspectives on the therapeutic potential of rTMS and tDCS* (2007).

La retroalimentación (*feedback*) es un término que describe el concepto de ida y vuelta de la comunicación, utilizado en múltiples áreas y ciencias. Cuando sucede desde el organismo es llamado bio-retroalimentación (*biofeedback*) y consiste en la utilización de alguna medida fisiológica o información biológica que salga del organismo y que pueda convertirse en un estímulo que entre de nuevo, con el fin de entrenar al organismo para que modifique esa medida o información.

Al implementarse, es un proceso de condicionamiento operante donde se enseña al individuo a modificar una conducta de manera condicionada utilizando uno o varios estímulos. En la bio-retroalimentación, se produce un estímulo en el organismo y electrónicamente se transforma a otro tipo de estímulo, es decir, se utilizan procesos biológicos como la respiración, el ritmo cardíaco, la sudoración y la actividad muscular, y se transforman a estímulos externos como sonidos, imágenes y sensaciones, con la finalidad única de que el sujeto aprenda a modificarlos de forma semi-voluntaria³⁷.

Esta explicación se ejemplifica del siguiente modo: puede generarse un ataque de pánico internamente aumentando el ritmo y la variabilidad cardíaca mediante pulsos eléctricos. Psiconeurofisiológicamente³⁸, existe una relación entre el cerebro y el corazón que es básica para la supervivencia y el comportamiento.

Para medir la bio-retroalimentación existen varias técnicas³⁹ pero la más común es la llamada EEG bio-feedback o *neurofeedback*, en la que se utiliza electroencefalografía a fin de hacerlo desde el exterior del cráneo midiendo los pulsos eléctricos. El entrenamiento con neurofeedback busca enseñar en tiempo real a modular y autoregular la actividad cerebral utilizando medidas eléctricas,

³⁷ Este proceso debe llevarse a cabo con terapeutas y un organizado control de terapias, por lo que requiere tiempo ejecutarlo.

³⁸ La psiconeurofisiología se encarga de estudiar las relaciones entre el cerebro y el corazón. El ritmo cardíaco está en gran parte medido por el encéfalo tanto a nivel cortical como subcortical; el sistema nervioso autónomo conecta al cerebro con el resto del organismo, especialmente con el corazón, el sistema endocrino y el digestivo, por lo que es una vía bidireccional que puede tener como zona de origen de un estímulo a cualquiera de las zonas involucradas.

³⁹ fMRI (*functional Magnetic Resonance Imaging* o *Imagen por Resonancia Magnética Funcional*), NIRS (*Near-Infrared Spectroscopy* o *Espectroscopia de Infrarrojo Cercano*), MEG (*Magnetoencephalography* o *Magnetoencefalografía*), entre otras.

permitiendo a la persona controlar la amplitud de determinadas frecuencias en ciertas partes del cerebro mediante el conocimiento de la propia actividad eléctrica cerebral. Un modo de hacerlo es convirtiendo la actividad cerebral eléctrica a estímulos visuales o auditivos, a través de una interfaz computacional⁴⁰.

En el desarrollo de la tecnología referida al estudio del cerebro, el área computacional juega un papel esencial. Avances apreciados en la robótica, la inteligencia artificial y la bioinformática dan fe de que se están integrando la física, la neurofisiología, la psicología cognitiva, entre otros, para crear equipos de trabajo multidisciplinarios y aportar soluciones innovadoras. La neurociencia ha venido facilitando el surgimiento de nuevos campos de aplicación de los conocimientos del cerebro a muchos ámbitos.

⁴⁰ Desórdenes cerebrales como epilepsia, ansiedad, déficit de atención y depresión, son tratados con esta terapia, logrando beneficios clínicos. Además, otras aplicaciones del neurofeedback se dirigen a potenciar el rendimiento en el deporte, la música, la danza y la meditación, mediante el control de los ritmos cerebrales relacionados con las funciones cognitivas de concentración, atención y memoria.

4.2- Principios aplicables al Diseño Sonoro

4.2.1- Diseño de Sonido en Audiovisuales

El diseño de sonido en artes audiovisuales tiene como finalidad dar al segmento sonoro la cualidad artística y narrativa necesaria para que se integre a la creación total. En todas las etapas del proyecto audiovisual están presentes elementos que contribuyen con la práctica concreta del diseño de sonido.



Figura 12. Esquema de trabajo en la fase de Pre-Producción.

La pre-producción es la etapa de análisis y planificación de un producto audiovisual. Una vez planteado el proyecto al diseñador de sonido, éste inicia su labor partiendo del análisis del guión literario, en el que encontrará sugerencias y manifestaciones sonoras implícitas y explícitas, que pueden verse afectadas por condicionantes geográficos, ambientales, temporales, históricos y culturales. Al disponer del guión técnico realizado por el director conjuntamente con el director de fotografía, el diseñador de sonido podrá considerar factores técnicos determinantes en la fase de producción, relacionados principalmente con la microfonía.

Las reuniones con el equipo de trabajo son necesarias para afianzar las relaciones laborales, pero también para que se discutan planteamientos y recomendaciones desde cada área de trabajo respecto a la lectura general de la obra; que todos tengan claro lo que se pretende contar o expresar, y lograr así una estética armónica, tanto visual como auditiva e interpretativa.

Una vez discutido el proceso creativo, el diseñador de sonido investigará en temas pertinentes a factores condicionantes de la obra para documentarse y tomar decisiones en cuanto a la configuración del diseño sonoro, desde la identificación mediante visitas a la locación de las cualidades físicas del entorno donde se desarrollarán las acciones (que determinarán los rasgos acústicos de los sonidos), hasta la escogencia metodológica de tipologías de los sonidos, cualidades, origen, carácter y función.

Las funciones de los sonidos admiten posibilidades narrativas, expresivas y significativas. La determinación puede ser geográfica, climática, cultural, social o temporal; la enfatización e intensificación de la acción aclaran y ahondan en un carácter específico; la representación está vinculada a la identidad de un personaje, situación dramática o suceso; la creación incluye contrapuntos significativos, atmósferas, ambientes, evocación de sentimientos y estados de ánimo, símbolos y metáforas; la unificación genera hilos conductores durante transiciones y saltos de eje.

A nivel técnico, el sonidista debe tener en cuenta la definición espacial, que si bien no está íntimamente relacionada con los usos narrativos, expresivos o significativos, es necesaria para ubicar las distancias de las fuentes sonoras, localizarlas y definir la direccionalidad, entre otros parámetros acústicos a considerar en la etapa de producción y post-producción.

Para elaborar el planteamiento general del diseño de sonido se determinan los sonidos a utilizar mediante un desglose estructurado por secuencias, que posteriormente establecerá el plan de trabajo a desarrollar en las fases posteriores de la producción.

SEC ____		
DÍA_ NOCHE_		
Sonidos que se requieren grabar	INT.	EXT.
Sonidos existentes en librerías	Efectos de archivo	Música

Figura 13. Tabla de desglose de sonido.



Figura 14. Esquema de trabajo en la fase de Producción.

En la etapa de producción propiamente, se compilan, se crean y se graban los materiales sonoros necesarios para llevar a cabo el plan de trabajo. Es importante tener un registro organizado de lo adquirido y lo faltante para que la etapa de post-producción se desarrolle sin contratiempos. Los sonidos, efectos y música existentes se adquieren de librerías de sonidos de determinadas firmas comerciales y autores que venden o distribuyen sus productos⁴¹. Al momento de grabar, bien sea en un rodaje o en un estudio, el conocimiento sobre microfónica y acústica es de vital importancia, al igual que el manejo de hardware, software y equipos de grabación.

En la grabación de sonido directo se debe garantizar un audio en perfectas condiciones, con niveles y timbres continuos. Para esto es necesario el conocimiento previo de los detalles de la locación y de los alrededores, la adecuada planificación de la microfónica y el cuidado del soporte y formato en el que se grabará. En grabaciones de estudio para animación o música, las condiciones son diferentes. Es un trabajo que se ubica entre la producción y la post-producción, lo que hace más controlable la grabación pero sin dejarla solo a la última etapa de trabajo.

⁴¹ Algunos sonidistas desarrollan trabajos personales de práctica la creación de librerías temáticas de sonidos.



Figura 15. Esquema de trabajo en la fase de Post-Producción.

En esta fase se modifican y alteran los materiales obtenidos para ajustarlos a los requerimientos del diseño de sonido planteado. En el montaje y edición se organizan por canales y grupos los distintos componentes de la banda sonora, y es aquí donde se da forma a la propuesta artística: se ubican las regiones de audio y se editan para proceder al proceso de mezcla. También se graba el material faltante, como foleys y ADR⁴².

En la mezcla se combina la utilización de ecualizadores, compresores, filtros, plugins, entre otros. Los avances tecnológicos y computacionales permiten una infinidad de posibilidades de manipulación del sonido; experimentar es una decisión pertinente en cualquier momento. No obstante, las variantes del planteamiento inicial del diseño de sonido que surjan en este momento de la producción, deben atender a sugerencias de mejoras en la obra final. En el arte no es preciso seguir con rigor un método de creación, pero es importante cumplir con lo organizado y planificado a pesar de que en el proceso se generen nuevas propuestas.

Los trabajos del diseño de sonido en todas las etapas son generalmente desempeñados por un equipo de sonidistas, microfonistas y operadores. Sin embargo, independientemente de la cantidad de personas involucradas, deben estar supervisados por un director de sonido que se encargue de hacer cumplir a cabalidad lo establecido, ya que es él quien conoce el proyecto.

⁴² *Automated Dialogue Replacement* (doblaje).

4.2.2- Hipótesis de Aplicación

Es el momento de vincular al ámbito audiovisual todo lo expuesto en el desarrollo de esta investigación. Hasta ahora, la neurociencia ha sacado a la luz pequeños indicios de un conocimiento que promete expandirse; estos primeros brotes ya permiten plantear posibilidades. Todo tendrá sentido en función de los intereses particulares que encuentre el artista, especialmente el diseñador de sonido, en lo planteado en esta investigación, que si bien no es absoluto permite ir apuntalando las bases científicas de la profesión.

Ahora bien, definir la orientación física y psicológica de un sonido puede realizarse a partir del esquema esférico propuesto por Sonnenschein (2011), donde muestra las transiciones desde el nivel más íntimo de ubicación hasta el más apartado, manejando la focalización de la atención y la memoria mediante la contracción o expansión de las esferas. Es un modo de manipular la acción dramática en un audiovisual, por ejemplo, al hacer que un sonido pase de estar relacionado íntimamente con un personaje a ser parte de un ambiente general.

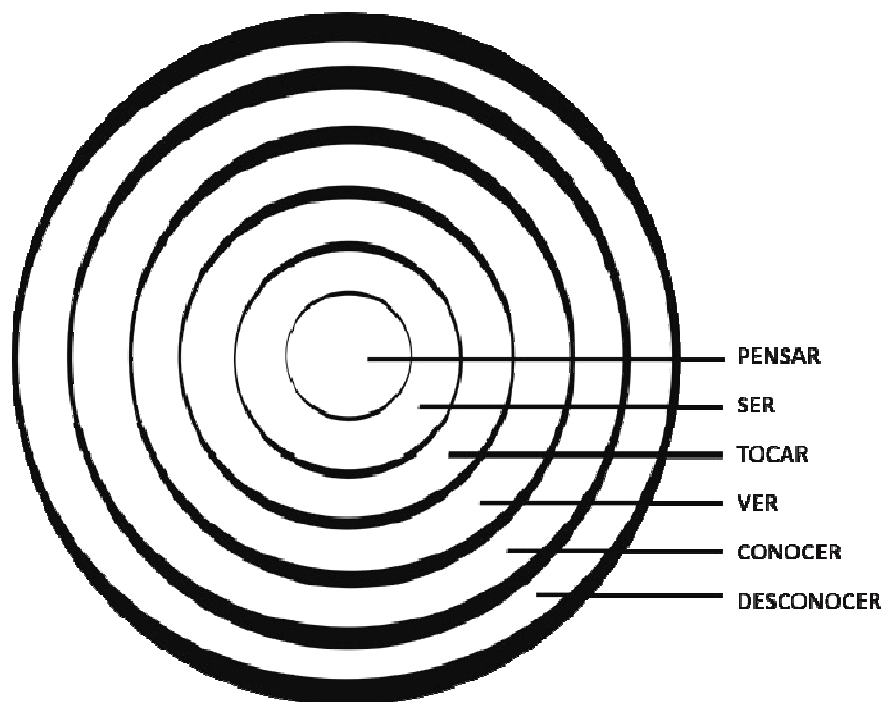




Figura 16. Modelo de las esferas de sonido.

Esta deducción de la localización psicoacústica de un sonido está más relacionada con el instinto artístico que con una concepción científica. La neurociencia es más ambiciosa en el refinamiento del trabajo del artista, sin perder de vista que lo que busca es acompañar al arte, no reemplazarlo. Ciertamente, los principios sobre neurociencia cognitiva deben ser considerados en el diseño de sonido desde la primera etapa esquemática propuesta, la más importante a nivel de conceptualización, y mantenerse hasta el final:

- 🗣 Niveles de percepción: La plasticidad neuronal se expresa en términos de adaptación al entorno. Aunque el sistema auditivo tarda varios segundos en adaptarse a un nuevo sonido, las neuronas reaccionan inmediatamente al cambio. Esto abre un camino de exploración en la utilización de muchos sonidos consecutivos de rápida transición o superposición para generar una atmósfera: aunque los sonidos se enmascaren o se ubiquen en menos de 12.5ms de distancia entre sí, las neuronas los procesaran, es decir, de modo inconsciente se procesará esa información en el cerebro. Es un modo de introducir una suerte de mensajes subliminales en un audiovisual, que no han tenido un tratamiento adecuado y han entrado en desuso⁴³. Durante mucho tiempo se ha tenido la idea de que los mensajes subliminales deben evadir la atención del espectador, pero estando presentes en su forma original, con la intención de que influya en su conducta. Psicológicamente, es una idea errada porque la atención, al igual que la memoria, viene dada por factores subjetivos, mientras que lo subliminal se refiere a lo ubicado bajo el umbral de la conciencia y sus límites normales de percepción, y aunque no se produzcan efectos fuertes o duraderos, funcionan para acciones momentáneas.

⁴³ Existen curiosos eventos en la línea de los mensajes subliminales, sin éxito a nivel de respeto científico. Tal es el caso del I-Doser, software que se ha denominado “la droga que se escucha” por ofrecer la reproducción de *dosís* de audio que a través de pulsos binaurales pretende producir estados alterados de conciencia. La comercialización de estos archivos .drg propone que se pueden alcanzar sensaciones semejantes en un 50% a las producidas por el consumo de drogas ilícitas. Estos estados mentales inducidos inconscientemente por ondas sonoras no van más allá de una especie de efecto placebo.

 Identificación de los sonidos: Desde la parte inferior del cerebro va ascendiendo a nivel neuronal hacia la corteza el procesamiento de un sonido considerado reconocible o significativo, cerca de las zonas asociadas con el procesamiento semántico, mientras que con los sonidos novedosos o desconocidos sucede a la inversa, desde la corteza hacia la parte inferior. Sabiendo que la significación de un sonido viene dada jerárquicamente por propiedades temporales, espectrales y espaciales, se propone que un sonido considerado significativo porte dichas propiedades de un modo distinguible para que el espectador pueda familiarizarse y dotarlo de significado. Para lograrlo podría experimentarse con sonidos con curvas envolventes⁴⁴ cuyos parámetros tengan una dinámica armónica que sea estéticamente atractiva. Por el contrario, para que un sonido resulte novedoso o desconocido debería tener propiedades más aisladas a nivel temporal, y enfocadas en el espectro y el espacio, por ejemplo, cuanto más corto sea un evento sonoro, mayor composición espectral poseerá⁴⁵. Por este camino se vislumbra un desarrollo en la creación de un leitmotiv⁴⁶ a partir de sonidos concretos.

 Localización espacial: La identificación de un sonido se halla en una zona cerebral y la localización en otra, al igual que en la visión con las áreas de procesamiento visual y reconocimiento. La habilidad para localizar fuentes sonoras es óptima si la fuente se encuentra ubicada dentro del campo visual, pero en los planos horizontal y vertical la localización espacial debe atender a diferentes particularidades. En el plano horizontal existen las diferencias interaurales de tiempo y de intensidad que se dan por la llamada


⁴⁴ La curva envolvente o *envolvente acústico* es la definición de la evolución temporal en amplitud de cualquier sonido en términos de 4 parámetros globales: ataque, decaimiento, sostenimiento y relajación (ADSR). El ataque o *attack* es el tiempo que tarda el sonido desde el silencio hasta alcanzar su máximo volumen, el decaimiento o *decay* es la bajada desde el ataque hasta el nivel en el que el sonido se mantiene, es decir, el sostenimiento o *sustain*; la relajación o *release* es cuando empieza a descender y desvanecerse el sonido hasta el silencio.


⁴⁵ Principio de indeterminación acústico. Según el teorema de Fourier, si una señal es infinita se puede definir con exactitud su espectro, mientras que siendo finita no es posible tener precisión.

⁴⁶ Motivo sonoro asociado a un personaje o a un estado; Richard Wagner acuñó el término como definición de un tema musical recurrente en una composición.

sombra acústica en la que la cabeza impide la transmisión del sonido al otro lado actuando como barrera física, así que si una fuente sonora emite una señal desde la derecha de cuadro, en la mezcla el sonido debe iniciar en la derecha y retrasarse un poco su inicio en la izquierda; igualmente debe tener mayor intensidad en el oído correspondiente al lado donde está ubicado y menor intensidad en el otro. Hay excepciones en el caso del *passby*, porque el sonido se panea en la misma dirección de la fuente sonora en movimiento, teniendo en cuenta el efecto Doppler; la frecuencia inicial no se mantiene constante durante todo el paneo. En el plano vertical, dado que no se cuenta actualmente con una convención comercial para realizar paneos arriba-abajo en el sonido para audiovisuales que favoreciera el rol esencial de los movimientos de la cabeza, el trabajo de diseño de sonido que se realiza gira en torno a la percepción de la altura de una fuente sonora, que se determina en función de las ondas de alta frecuencia, cuando llegan al pabellón auricular y rebotan hacia el interior de la oreja. Las fuentes sonoras ubicadas a distancias lejanas tienen una mayor pérdida de componentes de alta frecuencia por la absorción del aire y los materiales, por esto, un sonido con más componentes de alta frecuencia se percibe a una menor distancia. La frecuencia influye en la percepción de la distancia junto con la intensidad y la reverberación; a mayor distancia menor intensidad, y viceversa; si se trata de interiores principalmente, las reflexiones tempranas y la reverberación tardía serán menores si la distancia es lejana, y mayores para fuentes cercanas⁴⁷.

⁴⁷ Estos elementos son utilizados por Tommasini (2012) en su Sistema de simulación acústica virtual en tiempo real. La neuroergonomía utiliza los conocimientos sobre el cerebro para mejorar la interacción hombre-máquina, y predecir estados cognitivos específicos incompatibles con el desempeño de actividades de alto riesgo. Sus bases están en los estudios realizados por el psicólogo israelí Daniel Kahneman en 1973, sobre la dilatación de la pupila como índice de la sobrecarga mental de un individuo mientras desempeña una tarea cognitiva. La clave principal de la neuroergonomía es la realidad virtual, que consiste en diseñar por ordenador escenarios virtuales, lo cual permite numerosas aplicaciones mediante la inmersión de una persona a un entorno virtual en el que esté expuesto a distintas simulaciones. Tommasini estableció un sistema de realidad acústica virtual para simular entornos acústicos cerrados con el propósito de producir en el usuario la sensación de inmersión en dicho entorno. Su objetivo consistió en desarrollar un sistema experimental dinámico e interactivo de realidad acústica virtual, basado en arquitectura de computadoras, modelando la fuente sonora, el recinto, el medio de propagación y al oyente.

 Lateralización motora: En función de la asimetría cerebral, las acciones motoras ponen de manifiesto la direccionalidad natural del cuerpo hacia algún estímulo sonoro. Así, desde el sonido también se puede aportar al tratamiento de subjetivas: las órdenes que reciba un personaje es recomendable que se dirijan hacia el oído derecho, e igualmente todo lo relacionado con sonidos ambientales, naturales y de manipulación de artefactos y objetos; el hemisferio izquierdo será el que reaccionará a estos estímulos por ser el relacionado al procesamiento semántico y analítico. Una excepción de esta hipótesis la comprende un grupo estadísticamente significativo de personas zurdas, porque la actividad predominante se da en el hemisferio opuesto a la mano dominante, con la que se aprende en el contexto del uso el significado de un sonido; también las personas con condiciones cerebrales invertidas. Aunque escape al campo técnico del sonidista, puede ser pertinente que estos detalles sean tomados en cuenta por los actores al momento de la grabación de un audiovisual, para sumar verosimilitud a la conducta de un personaje, vinculando sus reacciones ante determinados estímulos sonoros a la lateralización motora. El lado derecho del cuerpo corresponderá con el hemisferio izquierdo para rasgos temporales, aleatorios y momentáneos, mientras que el lado izquierdo corresponderá al hemisferio derecho para tareas precisas y permanentes.

 Dominancia hemisférica y música: Lo que se conoce a nivel científico con más claridad sobre la percepción musical apunta a la dominancia hemisférica. El hemisferio izquierdo se encarga del procesamiento semántico y analítico; allí se aloja la percepción del ritmo. El hemisferio derecho es más global, y permite la percepción de los acordes y melodías. Un músico utiliza ambos hemisferios para el procesamiento de la música, porque la concibe como general desde el hemisferio derecho, pero cuando debe esforzarse en tareas más complejas utiliza el hemisferio izquierdo para el análisis. Para la dirección de actores puede ser importante este

dato, ya que si se trabaja con un personaje que se dedica a la música, sus libertades en la lateralización motora son mayores.

Los sonidos en su individualidad permiten un estudio más científico, mientras que en grandes rasgos generales representan algo más simple que la música. Más asociada con la experiencia individual de la conciencia que con la actividad cerebral registrada científicamente, es imposible explicar a nivel neuronal el impacto de la estética musical. La música está dotada de un gran poder y es expuesta como una forma privilegiada de conocimiento. Es un lenguaje universal influyente y expresivo, y sería una osadía intentar explicar en términos científicos el infinito aporte emotivo de la música a las artes, y a la vida.

La relación que tiene la música con las artes figurativas está dada por lo que físicamente tiene de materia el sonido.

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1- Conclusiones

Es importante conocer elementos que puedan ser útiles al momento de conceptualizar y justificar un tratamiento determinado en el diseño de sonido. La percepción, desde el punto de vista físico y psicológico, es un marco que rodea todo un proceso electroquímico a nivel neuronal, y la neurociencia, como disciplina moderna, abre un mundo de posibilidades con aportes que benefician el trabajo tratado. Específicamente en la audición, son significativos los estudios e investigaciones que muestran elementos de gran importancia y utilidad, aplicables a los esquemas de trabajo propuestos para el diseñador de sonido.

La comprensión de mecanismos ordinarios en la audición se ha dado gracias a situaciones poco habituales. Sin embargo, la superposición, repetición y variación de sonidos con la intención de crear ilusiones auditivas ha quedado en el pasado; ahora, las creaciones audiovisuales están dotadas de solidez argumentativa. El manejo de factores como la temporalidad, la direccionalidad, la localización y la lateralización motora, en pro de mejorar la obra, hace más controlable el concepto y acerca la posibilidad de innovar cuando la originalidad ya no es un término válido.

Las técnicas de medición de la actividad cerebral como encefalografías, resonancias magnéticas y tomografías, que se complementan con el seguimiento ocular o el ritmo cardíaco, permiten estudiar las reacciones cerebrales y corporales de los individuos ante determinados estímulos que se generan según el proceso deseado. En este caso, el proceso concierne a la manipulación positiva de las reacciones cerebrales desde la audición, y si se utilizaran métodos de neurociencia aplicada en un espectador mientras ve/escucha una obra audiovisual que tiene un tratamiento neurocognitivo, se pondrán de manifiesto los elementos descritos referidos a los criterios sobre neurociencia cognitiva de la audición.

Lo más importante no es lo que se conoce, sino lo que está por venir. Esta investigación aspira dar un paso adelante en un largo pero prometedor recorrido en la búsqueda de fundamentos más detallados de lo objetivamente medible, que refinen y faciliten el trabajo del artista del sonido, sin hacerle perder humanidad.

El arte no es absoluto porque está en la individualidad humana, y las creaciones audiovisuales son sumas de individualidades.

5.2- Recomendaciones

En todo proyecto audiovisual que se desee ejecutar, el sonido debe tener una participación fundamental desde el primer momento. La presencia de una figura representativa de la dirección de sonido no puede limitarse a los momentos en los que otros miembros del equipo de trabajo crean que su participación es necesaria. En la Escuela de Medios Audiovisuales, en Venezuela, y en las producciones a nivel mundial, el respeto por cada área debe ser igualitario. Todos los involucrados en un proyecto están allí porque su trabajo es importante y útil.

Para que el planteamiento del diseño de sonido sea óptimo es necesario que se tenga en cuenta desde el inicio del proyecto, visualizando el porcentaje que aportará a la obra, el cual es tan considerable como el de las demás áreas. Desde el sonido también se generan ideas y propuestas, no para sobresalir de modo independiente sino para contribuir con la obra final.

La finalidad de esta investigación es combinar arte audiovisual y neurociencia de la audición, para poner el resultado a disposición de quienes puedan aprovecharlo. Para los profesionales del sonido puede ser pertinente profundizar y entrenarse en relación a los nuevos conocimientos que han empezado a surgir desde el mundo de la neurociencia cognitiva, ya que son ellos los que podrán darle sentido y utilidad a partir de su experiencia en el campo.









Socialmente debe existir un criterio con bases sólidas que permita a cada individuo diferenciar lo que realmente tiene un fundamento neurocientífico y lo que no. Cada vez será más común la promoción de formas de “manipular” al cerebro y potenciar las facultades mentales, bien sea aplicado a las artes o a cualquier otra área, pero allí entrarán en conflicto los principios básicos de la ética que permitirán aceptar o rechazar esas formas.






REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 📖 ABBAGNANO, N., *Diccionario de Filosofía*, 3era edición. Fondo de Cultura Económica. México, 2000.
- 📖 ALTEN, S., *El manual del audio en los medios de comunicación*. Escuela de Cine y Video de Aldoain. España, 1997.
- 📖 ÁLVAREZ-LEEFMANS, F., *La última frontera de la neurociencia*. Letras Libres. México, 2002.
- 📖 BASSO, G., *Percepción Auditiva*, 1era edición. Universidad Nacional de Quilmes Editorial. Buenos Aires, 2006.
- 📖 CHION, M., *La Audiovisión. Introducción a un análisis conjunto de la imagen y el sonido*. 1era edición. Paidós Comunicación. España, 1993.
- 📖 DESPINS, J., *La música y el cerebro*, 3era edición. Gedisa Editorial. Barcelona, España, 1996.
- 📖 FASTL, H., ZWICKER, E., *Psychoacoustics: facts and models*, 3era edición. Editorial Springer. New York, 2007.
- 📖 FERRATER M., J., *Diccionario de Filosofía*, Tomo II, 5ta edición. Editorial Sudamericana. Buenos Aires, 1964.
- 📖 GOLDSTEIN, E. B., *Sensation and Perception*, 8va edición. Editorial Cengage Learning. Wadsworth, 2010.
- 📖 GRIFFITHS, T., *The neural processing of complex sounds*. Oxford University Press. New York, 2004.

- 📖 IGLESIAS, P., *El diseñador de sonido: Función y esquema de trabajo*. ADE-Teatro. Madrid, 2004.
- 📖 KUTTRUFF, H., *Room Acoustics*, 5ta edición. Spon Press. Londres, 2009.
- 📖 LURIA, R. A., *Sensación y Percepción*, Editorial Planeta m.r. técnicos. México, 1994.
- 📖 MATTERA, C., *Filosofía de la Música en Nietzsche. Antecedentes estético-musicales fundamentales*. Maestría en Filosofía, Universidad de Los Andes. Mérida, 2007.
- 📖 MIYARA, F., *Control de Ruido*. Jornadas Internacionales Multidisciplinarias sobre Violencia Acústica. Rosario, 2000.
- 📖 NOVO, C., *Técnicas de Neurociencia Aplicada: Salud cerebral integral y personalizada*. Novobrain. México, 2009.
- 📖 PERETZ, I., *Music, Perception and Recognition: The Handbook of Cognitive Neuropsychology*. Psychology Press. Philadelphia, 2000.
- 📖 RANDEL, D. M., *Diccionario Harvard de Música*, 7ma edición. Editorial Diana. México, 1999.
- 📖 ROEDERER, J., *Acústica y Psicoacústica de la música*. Editorial Ricordi. Buenos Aires, 1997.
- 📖 TOMMASINI, F., *Sistema de Simulación Acústica Virtual en Tiempo Real*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, 2012.

REFERENCIAS WEB

-  ARQUIRED, Universidad de California, *Tecnología aplicada a la arquitectura: Neurociencia aplicada al diseño arquitectónico*. [en línea]. Disponible en: <http://noticias.arquired.com.mx/shwArt.ared?idArt=8>
-  CIBERMITANIOS, el genio que todo idiota lleva por dentro, *Las mejores ilusiones auditivas*. [en línea]. Disponible en: <http://www.cibermitanios.com.ar/2008/04/las-mejores-ilusiones-auditivas.html>
-  CIENCIA COGNITIVA, *Neurociencia aplicada: el cerebro al servicio de la humanidad*. [en línea]. Disponible en: <http://medina-psicologia.ugr.es/cienciacognitiva/?p=30>
-  DIARIO LA OPINIÓN, *Neurociencia aplicada al marketing*. [en línea]. Disponible en: <http://www.diariolaopinion.com.ar/Sitio/VerNoticia.aspx?s=0&i=61963>
-  ESTRAFALARIUS, *Ilusiones auditivas*. [en línea]. Disponible en: <http://www.estralfarius.com/2007/10/09/ilusies-auditivas/>
-  FEEDBACK, Audio y Producción Musical. *¿Qué es el sonido directo?*. [en línea]. Disponible en: <http://fdbaudio.blogspot.com/2012/02/que-es-el-sonido-directo.html>
-  I-DOSER, *Binaural Brainwave Simulated Experiences*. [en línea]. Disponible en: <http://www.i-doser.com/>
-  INFOAUDIFONOS, *Binauralidad: ¿por qué 2 oídos?*. [en línea]. Disponible en: <http://www.infoaudifonos.net/adaptacion-audifonos/binauralidad>

-  INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS, Castilla y León de la Universidad de Salamanca, *Nuevas revelaciones sobre la respuesta del cerebro ante los sonidos de alerta*. [en línea]. Disponible en:
http://noticiasdela ciencia.com/not/3171/nuevas_revelaciones_sobre_la_respuesta_del_cerebro_ante_los_sonidos_de_alerta/
-  INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, *Mente y Cerebro*, *Emociones musicales: Ilusiones Auditivas*. [en línea]. Disponible en:
http://www.investigacionyciencia.es/03063270000541/Ilusiones_auditivas.htm
-  MORA TERUEL, F., *Creatividad e innovación desde la perspectiva de la neurociencia: algunas reflexiones*. [en línea]. Disponible en:
http://entrenatucreatividadbiblio.files.wordpress.com/2011/09/20_bloque1_05.pdf
-  SONNENSCHNEIDER, D., *Sound Spheres: A Model of Psychoacoustic Space in Cinema*. [en línea]. Disponible en:
http://sounddesignforpros.files.wordpress.com/2011/07/sound-spheres-article-sound-2011-0003_web.pdf
-  UNIVERSIDAD GABRIELE D'ANNUNZIO, *Need something? Talk to my right ear*. [en línea]. Disponible en:
<http://www.sciencedaily.com/releases/2009/06/090623090705.htm>