



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil Acústica

Profesor Patrocinante:

Dr. Alfio Yori

Instituto de Acústica

Universidad Austral de Chile

Profesora Co-Patrocinante:

Ing. Claudio Poo

Instituto de Acústica

Universidad Austral de Chile

Profesor Informante:

Ing. Roberto Flores

Instituto de Acústica

Universidad Austral de Chile

“EFECTOS DE LOS INFRASONIDOS EN LA CONDUCTA HUMANA”

Tesis para optar al grado Académico de:

Licenciado en Acústica

Y al Título Profesional de:

Ingeniero Civil Acústico.

NICOLÁS FELIPE LLANCAFIL VICENCIO

VALDIVIA — CHILE

2013

AGRADECIMIENTOS

Son tantas personas a las que debo agradecer por tiempo y comprensión en esta decisión de mi vida llamada Acústica, gracias a mis padres por enseñarme cuanto debo apreciar el conocimiento además del apoyo económico, gracias a mis compañeros y a mi compañera Reina, que más que amigos fueron hermanos de batallas en cada uno de los ramos que compartimos, en general gracias a tod@s los que han sido un aporte en mi vida Universitaria.

Gracias a las Ayudantías en las que participe, sobre todo en el área de Matemáticas que me mostraron un mundo más extenso de personas valiosas.

Gracias también a Marlen, Claudio, Pablo y Feña de la productora Suite por enseñarme lo valioso de la responsabilidad y el trabajo en equipo.

Pero sobre todo gracias a ti, ya que sin tu apoyo nada de esto sería posible, muchas gracias Yin.

Qué onda con las ondas?... napo! wena onda.

INDICE

1. RESUMEN	v
2. ABSTRACT.....	vi
3. INTRODUCCIÓN.....	1
4. OBJETIVOS.....	2
4.1. OBJETIVO GENERAL	2
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
5. MARCO TEÓRICO.....	3
5.1. EL SONIDO	3
5.2. EL SISTEMA AUDITIVO.....	3
5.2.1. El Oído Externo	4
5.2.2. El oído medio	5
5.2.3. El Oído Interno	6
5.3. EL CEREBRO	7
6. INFRASONIDOS	11
6.1. DEFINICIÓN.....	11
6.2. FUENTES.....	11
6.2.1. Fuentes Infrasónicas Naturales	11
6.2.2. Fuentes Infrasónicas Artificiales.....	14
6.3. INCIDENCIA EN EL REINO ANIMAL	15
7. ONDAS CEREBRALES	18
7.1. DEFINICIÓN.....	18
7.2. CLASIFICACIÓN	18
7.3. CASOS DOCUMENTADOS	20
8. INCIDENCIA DE INFRASONIDOS EN LA CONDUCTA HUMANA.....	23
8.1. EFECTOS DE LOS INFRASONIDOS EN EL ESTADO DE LAS PERSONAS	23
8.2. SONIDOS BINAURALES.....	23
8.2.1. Definición	23

8.2.2.	Historia de los Sonidos Binaurales	27
8.2.3.	Investigaciones y Aplicaciones.....	29
8.2.3.1.	Pulsos Auditivos en el Cerebro	29
8.2.3.2.	Sonidos Binaurales en Medicina y Psicopatología.....	30
8.2.3.3.	Entrenamiento Cerebral	31
8.2.3.4.	Sincronización Hemisférica	33
8.3.	DROGAS DIGITALES.....	35
9.	CONCLUSIONES.....	38
10.	BIBLIOGRAFÍA	39

1. RESUMEN

Este trabajo de tesis está enfocado principalmente en definir cómo ciertos infrasonidos creados por el hombre tienen una incidencia en la salud y el comportamiento humano. Dichas ondas de baja frecuencia que viajan por el aire tienen un efecto nocivo en el estado de las personas, produciendo generalmente mareos, fatiga y una sensación de malestar. Esto se debe a que estas particulares ondas viajan grandes distancias y llevan una gran cantidad de energía, y al incidir sobre el cuerpo humano, dependiendo de su intensidad y frecuencia, fuerzan al organismo (órganos, tejidos, extremidades) a entrar en resonancia.

Por otra parte, el cerebro humano es una compleja red neuronal, la cual está compuesta por millones de células especializadas que transportan una carga eléctrica, formando ondas electromagnéticas. Esta actividad eléctrica denominada *Ondas Cerebrales*, mantienen una estrecha relación con nuestro comportamiento, siendo clasificadas en cuatro grupos; *Alfa*, *Beta*, *Delta* y *Theta*, cada una vinculada con determinados estados de conciencia.

Análogamente, el cerebro adquiere señales del medio a través de órganos especializados como el oído. Éste al estar conectado a audífonos reproduciendo un sonido estéreo con dos tonos puros levemente distintos, *crea* un tercer sonido de baja frecuencia que es el resultado de la resta de ambos tonos, afectando de manera directa a estas ondas cerebrales y por ende, a nuestro comportamiento. Esta técnica se ha denominado *Sonidos Binaurales* debido a la diferencia de frecuencias en cada oído.

El estudio de los *sonidos binaurales* parte hace más de 150 años, teniendo especial énfasis en medicina, psicopedagogía, estudios del sueño y relajación natural (sin la presencia de químicos). Además, se han estudiado técnicas de entrenamiento cerebral que mejoran el desarrollo de la capacidad del potencial humano.

Finalmente, este trabajo obtiene como principal conclusión que los infrasonidos, ya sean naturales o artificiales, son ondas acústicas que tiene una incidencia directa sobre la salud y principalmente sobre la conducta humana. En resumen, el resultado del análisis de esta tesis es determinar que existe una estrecha relación entre las ondas acústicas y las ondas cerebrales electromagnéticas.

Palabras Claves: infrasonidos, conducta humana, ondas cerebrales, sonidos binaurales.

2. ABSTRACT

This thesis is principally focused in the definition of how some man-made infrasound has some impact in the human health and behavior. These low-frequency waves that travel by the air have some harmful effect in the people, generally producing some dizziness, fatigue and discomfort feeling. It's all due to the long distances traveled and the big amount of energy carried by these particular waves and has some influence over the human body, depending in their intensity and frequency, it forces the organism (organs, tissues, extremities) to enter in resonance.

On the other hand, the human brain is a complex neural web, which is compound by millions of specialized cells that carry an electric charge, forming electromagnetic waves. This electric activity so-called *Brainwaves*, maintain a close relationship with our behavior, being classified in four groups; *Alpha*, *Beta*, *Delta* and *Theta*, each linked with determined states of consciences.

Analogously, some signals from the environment are acquired by the brain through specialized organs like the ear. This while being connected to headphones playing a stereo sound with two slightly different pure tones, it creates a third low-frequency sound which is the subtraction result of both tones, affecting in a direct way these brainwaves and therefore to our behavior. This technique has been called *binaural sounds* due to each ear frequency differences.

The *binaural sound* study has taken part over 150 years ago, having a special emphasis in medicine, psicopedagogy, dream studies and natural relaxation (without the presences of chemists). Moreover, cerebral training techniques have been studied that improve the development of the human potential capacity.

Finally, this report obtains as a main conclusion that the infrasound, being naturals or artificial, are acoustic waves that have a directly incidence over the health and principally in the human behavior. To summarize, the analysis result of this thesis is to determinate that exist a close relationship between the acoustic waves and electromagnetic brainwaves.

Keys word: infrasound, human behavior, brainwaves, binaural sounds.

3. INTRODUCCIÓN

Los infrasonidos son sonidos inaudibles de baja frecuencia (bajo los 20 Hz), que poseen gran cantidad de energía y recorren una gran distancia.

Estas particulares ondas han sido parte de nuestro medio ambiente desde el comienzo del mundo entre erupciones volcánicas, tormentas, terremotos, tsunamis, etc.

Los infrasonidos también se encuentran en el reino animal, como las comunicaciones de los elefantes que a través del movimiento de sus orejas y sensores en sus patas detectan vibraciones en el suelo. Asimismo, los tigres hacen resonar en bajas frecuencias su caja torácica antes de atacar para poder inmovilizar a su víctima, algunas aves utilizan estas ondas para poder conocer su posición exacta durante el vuelo.

Las ondas cerebrales que nuestro cuerpo emite son de carácter infrasónico electromagnético, pero a través de ondas acústicas se pueden inducir estas ondas electromagnéticas a frecuencias específicas. Esta técnica es llamada *Sonidos Binaurales*.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- Generar un texto introductorio de los Efectos de los Infrasonidos en la Conducta Humana.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir los conceptos asociados en los efectos de los infrasonidos.
- Establecer las principales incidencias de los infrasonidos sobre la salud y la conducta humana.
- Determinar si existe una relación entre la Acústica infrasónica y la Conducta humana.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. EL SONIDO

El Sonido es causado por una variación de presión o de la velocidad de las moléculas del medio. El sonido es una forma de energía que es transmitida por una colisión sucesiva de las moléculas del medio, unas contra otras. Por lo tanto, el sonido puede ser representado por una secuencia de compresiones y rarefacciones del medio en el que se propaga, a partir de una fuente sonora. [1]

Además el sonido posee esencialmente 2 características: Volumen y Tono. El volumen se relaciona con la magnitud física de presión sonora y el tono con la frecuencia. Esta última corresponde al número de periodos por unidad de tiempo y la unidad de medida es el *Hertz* (Hz). El rango de frecuencia de interés no está limitado solo al rango de la audición Humana, el que se extiende aproximadamente desde los 16 Hz hasta los 16000 Hz (16 kHz). El sonido por debajo de este rango de frecuencias se denomina *Infrasonidos* y raramente juega un papel importante en fenómenos de propagación a través del aire, relacionándose más con las vibraciones de cuerpos sólidos. Sobre el límite superior de la audición humana se denomina *Ultrasonido*.

En acústica el término frecuencia va unido al concepto de tono puro, bajo el cual se extiende una variación temporal sinusoidal que raramente se puede encontrar en los sonidos naturales.

Una señal arbitraria se puede representar por una suma de tonos puros (con diferentes amplitudes y frecuencias). Esta representación de las señales, como una mezcla de muchas componentes de frecuencia. [2]

El sonido es parte de la vida diaria y se presenta, por ejemplo, como: música, canto de los pájaros, el golpe de una puerta, el timbre de un teléfono, las olas del mar, etc. Por otra parte, en la sociedad moderna, muchos sonidos son desagradables e indeseables y esos son definidos como ruido. El efecto del ruido en el individuo no depende solamente de sus características (amplitud, frecuencia, duración, etc.), sino también de la actitud del individuo frente a él.

5.2. EL SISTEMA AUDITIVO

El sistema auditivo es uno de los sistemas más complejos que ha adquirido el ser humano durante su evolución, ya que convierte energía acústica en energía bioeléctrica.

Los sonidos son recogidos de entorno mediante especializaciones anatómicas que los dirigen al interior del oído interno, y que el conjunto forman los oídos externos y medio. Dentro del oído interno, la energía acústica, es transformada en información bioeléctrica que, a través del nervio coclear, llega al cerebro. Ya en el cerebro, la información auditiva es procesada en las distintas agrupaciones neuronales que constituyen la vía auditiva central. En ellas se extraen de forma secuencial y parcelada los distintos aspectos de los complejos mensajes acústicos.

A continuación se describen los 3 segmentos en que se divide el oído humano.

5.2.1. EL OÍDO EXTERNO

Este primer receptor está compuesto por el pabellón auricular, que capta y refleja los sonidos incidentes, y por el conducto auditivo externo, que los dirige a la membrana timpánica, que constituye el límite entre los oídos externos y medio. Por la especial forma del pabellón auricular, los sonidos de determinadas frecuencias son reflejados con mayor eficacia y alcanzan la membrana timpánica con mayor intensidad. Además, la forma, el diámetro y la longitud del conducto auditivo favorecen la resonancia de los sonidos en ciertas frecuencias, lo que también supone un incremento en su intensidad. Estos dos mecanismos juntos favorecen la percepción de frecuencias entre **1,5 y 7 kHz**.

Adicionalmente, el oído externo contribuye a la localización espacial de la fuente sonora, particularmente para determinar si la fuente está situada delante o detrás del oyente y su grado de elevación. [3]

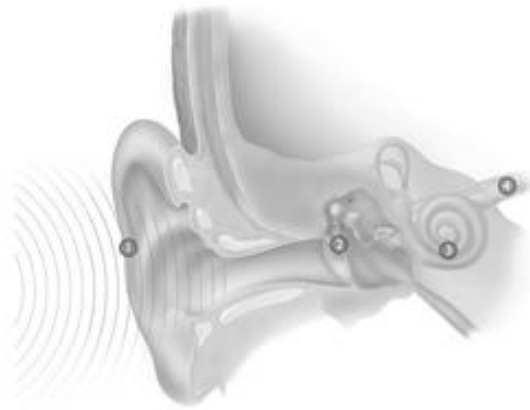


Figura 1: Anatomía del oído externo

5.2.2. EL OÍDO MEDIO

Este segundo receptor transmite la energía acústica desde la membrana timpánica hasta la cóclea mediante un sistema de tres huesecillos: *el martillo*, adherido a la membrana timpánica; *el yunque*, que actúa de bisagra; y *el estribo*, cuya base llena la ventana oval, una pequeña abertura en la pared de la rampa vestibular de la cóclea.

El diámetro de la membrana timpánica es mucho mayor que el de la ventana oval, con lo que toda la energía de la vibración timpánica se concentra en una superficie reducida de la pared coclear. Con ello se logra superar la enorme diferencia de impedancia que existe entre el aire, medio compresible, y los fluidos cocleares, que por su escasa compresibilidad ofrecen una mayor resistencia a la transmisión, es por este motivo que se trata al oído medio como un autentico ‘*transformador de impedancia*’.

La función del oído medio es modificada por dos pequeños músculos estriados de contracción refleja: el *tensor del tímpano*, que se inserta en el martillo, cerca de la membrana timpánica, y que es inervado por la rama mandibular del nervio trigémino, y el *estapedio*, que se inserta en el estribo y es inervado por el nervio facial. Su contracción es siempre bilateral y aumenta la cadena de huesecillos, lo que disminuye la eficacia de la transmisión, sobre todo los sonidos de baja frecuencia. Este mecanismo protege al oído de traumas acústicos y ayuda a percibir mejor los sonidos de frecuencia altas en un entorno ruidoso de frecuencias bajas. [3]

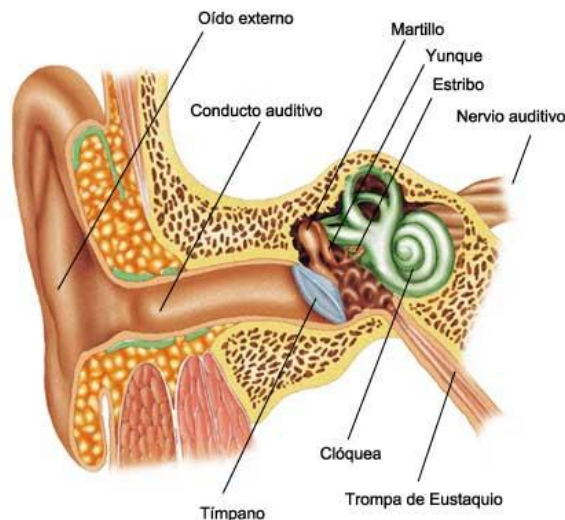


Figura 2: Anatomía del oído medio.

5.2.3. EL OÍDO INTERNO

Este tercer receptor representa el final de la cadena de procesamiento mecánico del sonido, y en él se llevan a cabo tres funciones primordiales: procesamiento de la señal sonora, transducción y generación de impulsos nerviosos.

En el oído interno se encuentra la cóclea (o caracol óseo), que es una cavidad alargada situada en la parte superior y lateral del hueso temporal y que se enrosca alrededor de un eje óseo, asemejando la concha de un caracol. En la cóclea pueden distinguirse tres compartimientos: *la rampa vestibular*, *la rampa timpánica* y *la rampa media*. La rampa vestibular y timpánica contienen un líquido denominado perilinfa, mientras que la rampa media está relleno de endolinfa.

La rampa media está separada de la rampa vestibular por la membrana de Reissner, y de la rampa timpánica por la membrana basilar (más gruesa y de composición fibrosa). La rampa vestibular se relaciona con la ventana oval y la rampa timpánica limita con la ventana redonda. Ambos conductos se interconectan por una pequeña abertura situada en el vértice del caracol, llamada Helicotrema.

La membrana basilar sostiene al *órgano de Corti*, que a su vez alberga las *células ciliadas*, que son las células sensoriales del oído. El órgano de Corti posee dos tipos de células ciliadas: las internas que forman una única fila a lo largo de este órgano y las externas, que se disponen en tres filas paralelas. A diferencia de las ciliadas internas, las ciliadas externas poseen propiedades contráctiles, y los estereocilios más largos de cada célula ciliada auditiva están en contacto con la membrana tectoria (masa gelatinosa que cubre al órgano de Corti). De esta manera, las ciliadas internas son los receptores auditivos responsables de la información sensorial que es transmitida al cerebro, y las ciliadas externas, por medio de su contracción, modulan la función de las ciliadas internas.

Al moverse la membrana tectoria, hace que las células ciliadas se deformen poniendo en marcha el mecanismo de transducción, estableciendo sinapsis con procesos neuronales. Es decir, en la base de las células ciliadas existen canales de calcio dependientes de voltaje que se abren con la despolarización de la célula permitiendo la entrada de iones de calcio. Esto lleva a dichas células a liberar su neurotransmisor que actúa sobre las neuronas auditivas primarias

Además, cada célula ciliada responde específicamente ante sonidos de un estrecho rango de frecuencias. Esta selectividad viene determinada por la posición relativa que ocupa la célula dentro de la cóclea. Cuando una onda de presión de una determinada frecuencia se propaga a través de los fluidos cocleares, la anchura y la composición de la membrana basilar hacen que entre en resonancia una estrecha porción de la membrana, pero no las situadas en el vértice superior o inferior. Solo las células ciliadas situadas sobre la

porción que más vibra transducen el sonido. La anchura de la membrana basilar disminuye progresivamente desde la cima hasta la base de la cóclea, por ello los sonidos graves provocan la vibración de las zonas en la cima de la membrana basilar, y sonidos más agudos de las zonas de la base.

En definitiva, las células ciliadas son los transductores que transforman la energía acústica en energía bioeléctrica. [3]

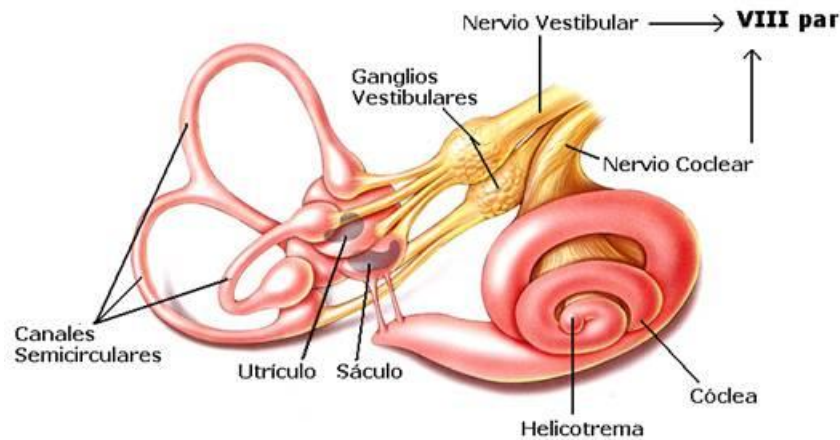


Figura 3: Anatomía del oído interno.

5.3. EL CEREBRO

El cerebro es un órgano electroquímico y en él existen miles de millones de neuronas, que son esencialmente similares a todas las demás células, pero que tienen la particularidad de recibir y transmitir impulsos eléctricos.

Cada neurona está comunicada con decenas de miles de otras neuronas, a través de las redes neuronales. Cuando nacemos poseemos la totalidad de las neuronas, pero las conexiones entre ellas son el producto de procesos de aprendizaje. Esta capacidad de cooperación entre los millones de pequeñas unidades de procesamiento sería la causa del funcionamiento de nuestro cerebro.

La vía auditiva del cerebro contiene un componente ascendente y un componente descendente. Ambos sistemas están estrechamente interrelacionados, ya que la *vía auditiva ascendente* procesa y transmite información desde el nervio coclear hasta la corteza cerebral auditiva (localizada en el lóbulo temporal, en las circunvoluciones transversas de Heschl), mientras que la *vía auditiva descendente* circula paralela a la primera procesando y transmitiendo información desde la corteza hasta el receptor auditivo.

La corteza auditiva es la unidad cerebral de procesamiento de sonidos. Esta área cortical es crucial para la audición, y en los seres humanos, también para el lenguaje y la música. La corteza auditiva se divide en tres partes diferenciadas: las cortezas auditivas primaria, secundaria y terciaria. Estas estructuras se disponen de manera concéntrica, encontrándose la corteza primaria en el centro, y la terciaria en la periferia.

La corteza auditiva primaria se sitúa al interior de la Cisura de Silvio, en el giro temporal transversal y está tonotópicamente organizada, lo que significa que las células de la corteza que son vecinas entre sí, responden a frecuencias similares. Su función es recibir los impulsos eléctricos y analizarlos como sensaciones sonoras (rings, murmullos, clicks, zumbidos, etc), dado que es el área que recibe una entrada directa del núcleo geniculado medial del tálamo. Además, presenta fibras binaurales que permiten la localización de un evento sonoro, puesto que al percibir un sonido ambos hemisferios son estimulados por los oídos derecho e izquierdo.

La corteza auditiva secundaria se localiza en el área de Wernike, en la superficie lateral del lóbulo temporal izquierdo y envuelve a la corteza auditiva primaria. Su función es reconocer como unidades mínimas del lenguaje a las sensaciones auditivas provenientes de la corteza auditiva primaria. Ello, gracias a un proceso de análisis-síntesis fonémico dependiente de conocimientos previos. En el segmento derecho de esta corteza son procesados los sonidos no verbales y los elementos suprasegmentales del lenguaje.

Por último, la corteza auditiva terciaria, si bien no forma parte de la vía auditiva, utiliza información proveniente de la corteza auditiva secundaria para otorgar significado a las palabras, es decir, es la encargada de integrar toda la información hasta crear la experiencia global de la percepción sonora. Además, sustenta las capacidades representativas mentales que posibilitan el lenguaje como actividad simbólica. Está constituida por el córtex prefrontal, parietal inferior (girosupramarginal y pliegue curvo) y giro fusiforme de la corteza inferotemporal.

Por consiguiente, una vez que las células ciliadas transducen la energía acústica en impulsos nerviosos (energía bioeléctrica). Esta señal viaja a través del nervio auditivo hasta los Núcleos Cocleares, en el Tronco Encefálico, donde finaliza la fase periférica de la audición y se inicia el procesamiento central de la señal auditiva, es decir, comienza la vía auditiva central.

La vía auditiva central cumple la función de decodificar, procesar, integrar e interpretar la información sensorial. Con este fin, dicha vía, contempla varias estaciones de relevo, comenzando en los Núcleos Cocleares, pasando por el Complejo Olivario Superior, el Cuerpo Geniculado Medial, para finalizar a nivel del córtex auditivo del lóbulo temporal, en la zona primaria de recepción auditiva.

De esta manera, en el *Núcleo Coclear* ocurre la primera sinapsis del Sistema Nervioso Auditivo Central. Este se divide en dos ganglios: dorsal y ventral. El primero, es el encargado de recoger pequeñas variaciones de frecuencia del sonido, y de analizar la calidad acústica del mismo para disminuir el ruido de fondo. Sus fibras se dirigen directamente al colículo inferior, a través de un tronco nervioso llamado lemnisco lateral. El segundo, con el fin de que el primer ganglio realice su función, conserva la señal auditiva durante microsegundos. Las neuronas de los núcleos cocleares tienen la particularidad de ser excitadas por tonos que estén dentro de un determinado rango e inhibida por tonos que estén fuera de este.

Luego, el *Complejo olivar superior* representa la primera estación en la cual es posible la integración binaural en la localización del sonido. Se divide en dos núcleos: medial y lateral. El primero se relaciona con la localización del sonido, basado en la diferencia del tiempo interaural, el segundo, con la ubicación del estímulo sonoro en base a las diferencias de intensidad interaural.

Posteriormente, los *Colículos inferiores* conciernen la zona de integración binaural. Sus neuronas realizan el análisis temporal de las estructuras del sonido y el mapeo de los eventos auditivos para lograr su localización. Gran parte de sus fibras aferentes provienen desde el complejo olivar superior, a través del lemnisco lateral.

Finalmente, el *Cuerpo geniculado medial* es el núcleo talámico que recibe las entradas de los Colículos inferiores y corresponde a la cuarta sinapsis de la vía auditiva aferente. Sus células son sensibles para combinaciones de frecuencias en intervalos temporales específicos. Se divide en una porción ventral, que se proyecta hacia la corteza auditiva primaria, y una dorsal, que asciende a la secundaria. La porción ventral es la principal estación de relevo auditivo y tiene una organización tonotópica. [3]

Existen en el cerebro al menos tres niveles diferenciados de procesamiento de los datos que transmiten los nervios acústicos. En un primer nivel el cerebro identificaría el lugar de procedencia del sonido (asociación de lugar, localización). En un segundo nivel el cerebro identificaría el sonido propiamente dicho, es decir, sus características tímbricas. Recién en un nivel posterior se determinarían las propiedades temporales de los sonidos, es decir, su valor funcional a partir de su ubicación en el tiempo y su relación con otros sonidos que lo preceden y lo suceden, hechos de particular importancia en sistemas acústicos de comunicación como el habla o la música.

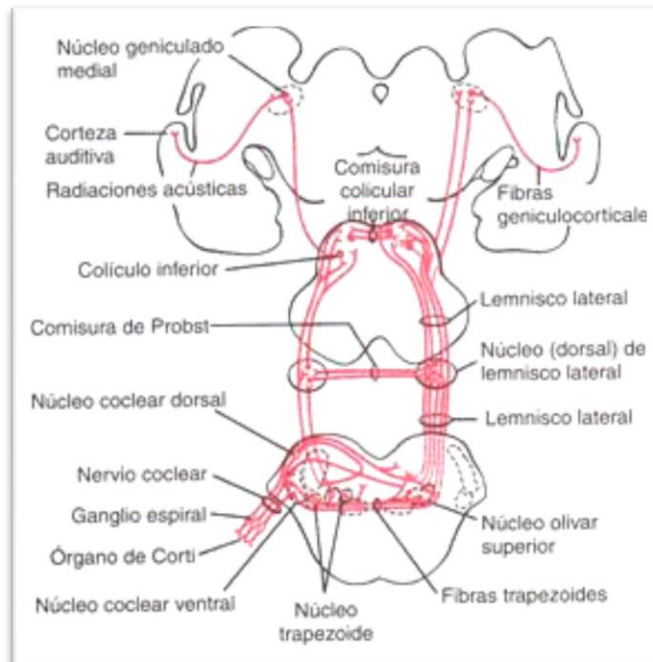


Figura 4: Vía Auditiva del cerebro.

6. INFRASONIDOS

6.1. DEFINICIÓN

El margen de frecuencia del oído humano se encuentra, normalmente, entre 20 y 20.000 Hz (*zona de audiofrecuencia*). Cada individuo tiene una frecuencia límite superior, cuyo valor se reduce con la edad, y una frecuencia límite inferior que representa la transición entre escucha y percepción con todo el cuerpo. Así, la sensibilidad del oído decrece a medida que la frecuencia disminuye (a partir de aproximadamente 250 Hz) llegando, finalmente, a frecuencias a las que todo el cuerpo responde a la presión pulsante. Entonces, un *Infrasonido* es una onda acústica cuya frecuencia está por debajo del espectro audible del oído humano. Es decir, es el nombre que se ha dado al estudio de la reacción humana a frecuencias por debajo de 20 Hz. [4]

Los infrasonidos son muy poco direccionales, y por su gran longitud de onda son más difíciles de generar; están asociados tanto a fenómenos transitorios de gran magnitud (erupciones volcánicas, explosiones) como a fenómenos estacionarios y periódicos (mareas, auroras boreales), presentándose en la naturaleza por diferentes causas; presentan una débil atenuación, pudiéndose propagar a distancias muy lejanas desde la fuente. [5]

6.2. FUENTES

Según Alfred J. Bedard, Jr. y Thomas M. Georges, científicos del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), el rango de frecuencias infrasónicas puede ser clasificado en tres segmentos:

- a) *Infrasonido cercano* que se encuentra en el rango de frecuencias entre 1 a 20 Hz.
- b) *Infrasonido* propiamente tal entre 0.01 hasta 1 Hz.
- c) *Ondas acústicas de gravedad* que tienen frecuencias menores a 0.01 Hz.

Asimismo, las fuentes generadoras de infrasonidos se dividen según su origen en dos grandes grupos; Fuentes Naturales y Fuentes Artificiales.

6.2.1. FUENTES INFRASÓNICAS NATURALES

Las fuentes infrasónicas naturales se refiere a aquellos eventos que ocurren en la naturaleza sin la acción del hombre.

- **Erupciones Volcánicas:** Dependiendo de la escala y violencia de las erupciones volcánicas se pueden generar sonidos de baja frecuencia del tipo impulsivo cuyo rango de frecuencias se encuentra entre los 1.2 a 20 Hz.

Las señales debidas a este tipo de ondas por lo general son bastante complejas ya que se deben a un conjunto de explosiones y no a un evento singular, lo que resulta en un conjunto de varias señales de diferentes períodos solapadas. Por lo general se presentan dos tipos de ondas; un conjunto de señales impulsivas debidas a las explosiones y un largo tren de onda con señales periódicas irregulares de diferentes frecuencias debidas a los cambios de temperatura y movimientos de la tierra alrededor del macizo.

- **Auroras Boreales y Australes:** Ondas infrasónicas del tipo no explosivo detectadas en los polos del planeta, en altas latitudes y en períodos de gran actividad geomagnética y solar. Las auroras son provocadas por partículas con grandes cantidades de energía térmica provenientes de tormentas solares. Los valores típicos de estas ondas tienen períodos de 10 a 100 segundos, es decir, frecuencias de 0.01 a 0.1 Hz, amplitudes entre los 0.5 y los 20 microbars y velocidades aparentes desde los 300 hasta los 1000 m/s. Las ondas infrasónicas provocadas por auroras tienden a ser continuas con pequeños intervalos de altas amplitudes.
- **Explosiones e Ingreso de Meteoritos en la Atmósfera:** La magnitud explosiva de meteoritos ha llegado a ser estimada en 760 kT a través de señales infrasónicas. La mayoría de las señales generadas por estos eventos tienen frecuencias de entre 0.1 a 5 Hz y amplitudes que van desde 1 hasta 10 microbars.

El ingreso y paso de meteoros por la atmósfera produce infrasonidos de carácter no explosivo; estas señales son utilizadas para determinar la velocidad de caída y la magnitud antes de su explosión o impacto con la superficie terrestre.

- **Sismos:** Los desplazamientos de tierra que producen los sismos generan infrasonidos con frecuencias de 0.01 a 10 Hz. Estas ondas infrasónicas están compuestas por dos fenómenos.

En las ondas sísmicas de Rayleigh de un temblor, los componentes verticales de los movimientos mueven las partículas de aire que se encuentran en la capa atmosférica sobre la tierra provocando ondas infrasónicas. Puesto que la componente horizontal de la velocidad de las partículas en la interfase tierra-atmósfera debe ser idéntica, las velocidades de trazo horizontal de las ondas infrasónica y sísmica son las mismas. De esta forma, las velocidades de trazo horizontales son altas.

El movimiento impulsivo de la tierra en la región del epicentro genera ondas infrasónicas directamente en la atmósfera.

- **Microbaroms:** Las tormentas atmosféricas marinas generan un tipo de infrasonido llamado microbaroms, que se caracteriza por encontrarse continuamente en todos los puntos del globo. Tienen variaciones de amplitud dependiendo de la distancia al mar y las condiciones de la atmósfera, y las frecuencias características de este tipo de onda están entre los 0.125 a 0.333 Hz. Los microbaroms son una fuente continua de infrasonido que tiene alto grado de coherencia para distancias alrededor de los 0.6 Km y baja coherencia para 5 Km.
- **Avalanchas:** Generan frecuencias relativamente altas, entre 1 a 3 Hz, con períodos de alrededor de 20 segundos de duración y amplitudes típicamente bajas de aproximadamente 2 microbars.
- **Causas Meteorológicas:** En la atmósfera existen fenómenos como los tornados, los truenos y fuertes vientos que pueden generar infrasonidos. Las grandes tormentas producen ondas infrasónicas con períodos entre 10 y 50 segundos con amplitudes de pocos microbars. Los tornados generan ondas de períodos de 0.4 a 1.0 segundos y amplitudes de 10 microbars. [6]
- **Resonancia de Schumann:** La señal de Resonancia de Schumann es generada por tormentas eléctricas tropicales. Esto se debe a que el espacio entre la superficie terrestre y la Región D de la ionosfera actúa como una cavidad resonante para las ondas electromagnéticas.

La resonancia de Schumann es un conjunto de máximos en la banda de frecuencia extremadamente baja (ELF) del espectro radioeléctrico de la Tierra. La frecuencia más baja, y al mismo tiempo la intensidad más alta, se sitúa en aproximadamente 7.8 Hz. [7]

Actualmente, en complemento a la predicción de algunos fenómenos naturales a través del análisis de las ondas infrasónicas, están siendo utilizadas, por ejemplo, técnicas para complementar la información de los radares Doppler para la ubicación y estudio de tornados.

Fuente	Frecuencia (Hz)	Niveles típicos
Olas del océano	0.125 – 0.5	0.01 – 1 Pa
Auroras boreales y australes	0.01 – 0.1	0.1 – 0.5 Pa
Meteoritos	0.056 – 5	0.05 – 1 Pa a 200 – 1200 km
Avalanchas	0.5 – 2	0.02 – 0.05 Pa a 100 km
Erupciones volcánicas	< 0.01	15 Pa a 10000 km (observado para Mt. St. Helens)
Terremotos	0.033 – 0.125	0.1 Pa a miles de km para grandes sucesos
Ondas asociadas a cordilleras	0.02 – 0.1	0.1 – 3 Pa
Tormentas	0.02 – 10	0.05 – 0.3 Pa a 30 – 800 km

Tabla 1: Fuentes de infrasonidos naturales. Tomada y modificada de Handbook of Acoustics. Crocker, M.J., 1998.

6.2.2. FUENTES INFRASÓNICAS ARTIFICIALES

Las fuentes infrasónicas artificiales son aquellas que se deben a procesos o eventos relacionados con artefactos o maquinarias creadas por el ser humano.

- **Resonadores y bocinas:** Los resonadores de Helmholtz y las bocinas de grandes dimensiones son utilizados como generadores experimentales para calibración y estudio de propagación de ondas de baja frecuencia. Estas fuentes obtienen su energía del compresor que les entrega el aire que vibra a la frecuencia determinada por sus dimensiones físicas.

Por ejemplo, una esfera de 375 litros con un cuello de 1 metro, constituye un resonador de Helmholtz afinable entre 10 a 50 Hz. De manera similar, una bocina de 3.05 metros es capaz de generar sonidos audibles de 100 Hz. Pero teóricamente, una bocina capaz de reproducir frecuencias cercanas a los 20 Hz, poseería dimensiones exageradamente grandes, por esta razón, las bocinas de baja frecuencia se construyen de forma plegada para reducir el espacio físico que ocupan.

- **Boom Sónico:** El boom sónico que provocan los aviones supersónicos al traspasar la barrera del sonido tienen frecuencias entre 0.1 a 6 Hz (señales detectadas por sobre los 4000 Km de distancia), y sus amplitudes pueden ir de pocos microbars a varios cientos.
- **Despegue y reingreso de cohetes, transbordadores y satélites:** El despegue o reentrada de dispositivos espaciales poseen frecuencias de entre 0.3 a 3 Hz, y dependiendo de las componentes de viento en la estratosfera, las amplitudes de estas señales van desde unos pocos microbars hasta 20 microbars.

- **Maquinarias:** Los motores de combustión interna, compresores, ventiladores, turbinas, bombas, máquinas de impacto de envergadura y maquinaria industrial en general, emiten una gran cantidad de energía infrasónica.

Puesto que la banda de bajas frecuencias es difícil de amortiguar, se extiende fácilmente en todas direcciones y puede ser oído a muchos kilómetros. Estas características hacen que una reducción del nivel de emisión de la fuente sea a menudo la única solución posible para disminuir los niveles de exposición.

Por ejemplo, los pasajeros de un automóvil o de un tren pueden estar sometidos a frecuencias entre 1 a 20 Hz. En mediciones de presión sonora a vehículos motorizados en movimiento, se encuentra que el nivel total de ruido es mayor que la intensidad medida, sobre todo cuando el vehículo va con las ventanas abiertas.

- **Explosiones Nucleares:** La energía de una explosión nuclear está confinada a un volumen relativamente pequeño donde los gases alcanzan temperaturas mayores a los 10.000.000 °C y presiones extremas de 1.000.000 de atmósferas. Después de la explosión, la bola de fuego de alta luminosidad puede llegar a tener un diámetro de 100 metros en los primeros milisegundos. Luego, la velocidad supersónica de expansión comienza a desacelerar hasta alcanzar los 100 m/s, momento en que la bola de fuego da paso a la forma toroidal de una explosión atómica, la cual sube a través de la atmósfera hasta alcanzar la parte superior de la troposfera.

Las frecuencias de estas señales que se propagan a grandes distancias, tienen características explosivas y periódicas que se encuentran entre 0.02 a 4 Hz, y la amplitud está directamente relacionada con la potencia de la bomba. [6]

6.3. INCIDENCIA EN EL REINO ANIMAL

Ciertos animales son capaces de emitir y detectar infrasonidos que les son útiles para sobrevivir. Es decir, mediante los sonidos de baja frecuencia obtienen información para aparearse, ubicar a su presa (caza), navegación (localización, ubicación), seguir a sus crías, o advertir el peligro. Asimismo, a través de los infrasonidos, una gran cantidad de animales pueden extender enormemente los rangos de sus señales y algunos depredadores pueden desarrollar incluso, la percepción de señales infrasónicas para detectar la respiración o los latidos de su presa. [8]

Para emitir y detectar dichos sonidos de baja frecuencia, los animales necesitan mecanismos excepcionales a los que poseen los humanos, esto es, poseen diferencias anatómicas, como por ejemplo, un aparato auditivo especializado.

A continuación se describen brevemente tres casos de utilización de infrasonidos en el reino animal, que corresponden a: el elefante, la paloma y las ballenas.

- **Elefantes:** Los elefantes son mamíferos que pueden emitir y detectar sonidos tanto audibles como inaudibles (infrasonidos).

Los sonidos más conocidos de los elefantes son el trompeteo y los ronroneos (ambos audibles para el ser humano). Sin embargo, la mayor parte de las comunicaciones entre elefantes se desarrolla mediante infrasonidos. Por ejemplo, el elefante africano (*Loxodonta africana*), emite llamadas con una frecuencia de entre 15 a 40 Hz, las cuales son producidas en la garganta y pueden ser escuchadas por otros elefantes hasta a 10 km de distancia.

Además, emplean unas ondas que, por su frecuencia, se llaman sísmicas y que se propagan a través del suelo a una velocidad de 1,5 veces mayor que las ondas mencionadas anteriormente. Estas ondas sísmicas se generan por medio de pisoteos o sacudidas de las orejas contra la cabeza. Estas vibraciones tienen fines como; enviar mensajes a otras manadas para que se acerquen o huyan, localizar una posible pareja, detectar agua o comida, e incluso informar a otras manadas sobre su localización y su estado anímico.

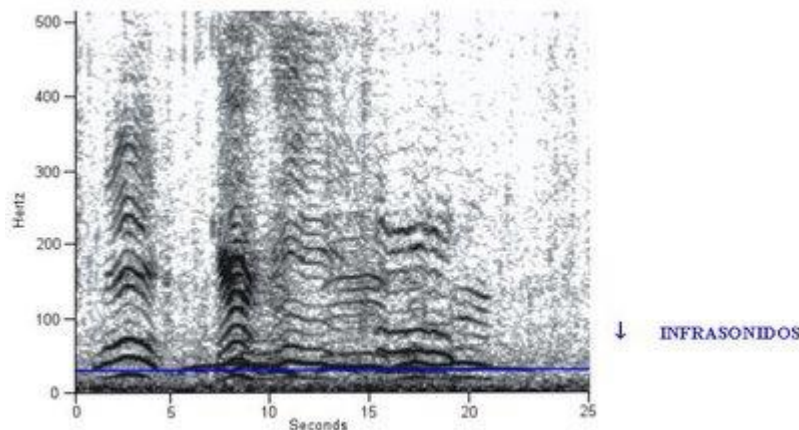


Figura 5: Espectrograma de un elefante africano de la selva (*Loxodontacyclotis*) grabado para el Proyecto de Escucha de Elefantes (ELP, Elephant Listening Project) del Programa de Investigación de Cornell Bioacoustics.

- **Palomas:** Las palomas utilizan los infrasonidos que se propagan por el aire (cuyas fuentes son las olas del mar, el viento que choca contra los acantilados y las montañas) para determinar su posición, pero no los utilizan para comunicarse entre sí.

Por ejemplo, la paloma doméstica (*Columba livia*) percibe infrasonidos que le permiten conocer su localización exacta durante el vuelo. Asimismo, las palomas también pueden detectar explosiones nucleares a más de 1000 km de distancia.

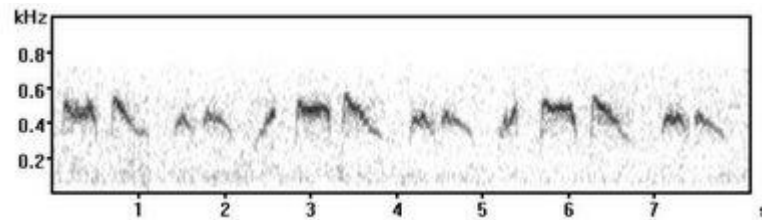


Figura 6: Espectrograma de la paloma torcaz (*Columba palumbus*) grabado por AVISOFT en Berlin-Schönholz, Alemania.

- **Ballenas:** Las ballenas son mamíferos pertenecientes al orden *Cetacea* y al suborden *Misticeti*. Por medio de los infrasonidos, las ballenas pueden comunicarse a cientos de kilómetros, ya que el agua salada del mar es un buen conductor de las ondas de baja frecuencia.

Por ejemplo, el rorcual azul (*Balaenopterus musculus*) emite “quejidos” con un rango de frecuencia de 10 Hz a 39 Hz.

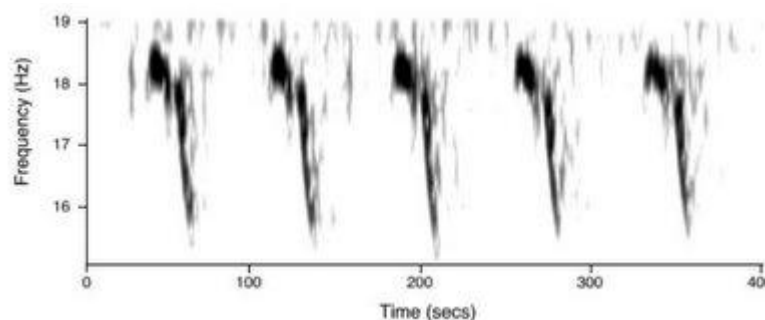


Figura 7: Espectrograma de los “quejidos” de la ballena azul (*Balaenopterus musculus*). Grabación de la Armada de Estados Unidos realizada con un micrófono de vigilancia de los fondos oceánicos en el Noroeste del Océano Atlántico.

7. ONDAS CEREBRALES

7.1. DEFINICIÓN

Las ondas cerebrales se refieren a la actividad eléctrica que es producida por células cerebrales. Esta actividad eléctrica cerebral es medida en microvoltios, y es el resultado de la suma de potenciales *post-sinápticos-exitatorios* (flujo de iones positivos hacia dentro de la célula postsináptica) e inhibitorios (flujo de iones negativos hacia el lumen celular) generados de las células piramidales, las cuales están dispuestas perpendicularmente hacia la corteza cerebral.

Las ondas cerebrales, como cualquier onda, poseen frecuencia y amplitud. Así, la frecuencia o velocidad de pulsos eléctricos se mide en ciclos por segundo o Hz, variando de 0,5 a 38 Hz, y la amplitud representa cuán intensa es la onda cerebral.

Además, existe una relación entre el voltaje, la frecuencia y la amplitud de las ondas cerebrales con los distintos estados de conciencia. Esto es, las ondas cerebrales son la manifestación de la actividad cerebral en la cual aparecen los diferentes procesos de la conciencia; Vigilia, Relajación, Sueño/Meditación profunda y Sueño Profundo. Entonces, entendiendo el comportamiento de las ondas cerebrales comprenderemos también los estados que se experimentan en cada una de estas fases. [9]

7.2. CLASIFICACIÓN

Las ondas cerebrales se clasifican en cuatro categorías, de mayor a menor frecuencia: Beta, Alfa, Theta y Delta.

- a) **Ondas Beta:** Se producen cuando el cerebro está despierto e implicado en actividades mentales. Es la más rápida de las cuatro, su frecuencia es de 14 a 30 Hz. Denota actividad mental intensa, estudiando y resolviendo problemas.

Estas ondas están presentes cuando hay mayor extroversión, actividad mental e identificación con aspectos externos. Se realizan el análisis intelectual y la percepción a través de los cinco sentidos, así como trabajos del tipo físico o corporal.

- b) **Ondas Alfa:** Se producen en un estado de no actividad y relajación. Son más lentas y de mayor amplitud, su frecuencia oscila entre 6 a 13 Hz.

Durante la emisión de estas ondas la mente racional y los sentidos disminuyen su actividad, mientras que parte del potencial latente en el cerebro puede entrar en acción. Algunos de los efectos que produce el predominio de las ondas alfa son:

- Experiencia placentera de descanso, ausencia de ansiedad y tensión.
- Concentración sin esfuerzo.
- Aumento de la creatividad.
- Distinción de información que no es accesible a través de los órganos de la percepción.
- Existe mayor capacidad y claridad para resolver los problemas propios.
- Puede influir sobre funciones autónomas, como: el ritmo cardíaco, la circulación sanguínea, el umbral del dolor-placer, la función digestiva, exudación, la temperatura corporal, etc.

- c) **Ondas Theta:** Son de mayor amplitud y menor frecuencia, 4 a 5 Hz. Aparecen en el sueño, así como en estados de meditación profunda, dependiendo de su cantidad por página del registro.

Estas ondas tienen un ritmo más lento que las ondas alfa. Se manifiestan con intensa creatividad y mayor capacidad de aprendizaje.

- d) **Ondas Delta:** Son las de mayor amplitud y menor frecuencia. Entre 0.5 a 3 Hz, y aparecen en un estado de sueño profundo.

En estas ondas la mente opera de forma totalmente integrada. Sus estados psíquicos correspondientes son el dormir sin sueños, el trance y la hipnosis profunda. Si se consigue entrar y permanecer consciente en el nivel delta, se alcanza el estado de superconsciencia que es el último peldaño de la meditación, donde desaparecen las barreras entre consciente, subconsciente e inconsciente.

Las ondas cerebrales, también son indicadoras de algunas enfermedades y ayudan a descartar otras. Esto es muy útil en pacientes con alteración de las funciones cerebrales, bien de forma persistente o bien de modo episódico.

Estas ondas pueden detectar alteraciones de todo el cerebro o de algunas áreas, es decir, sirven para observar alteraciones en lesiones (tumores, hemorragias, encefalitis, traumatismos entre otras) o lesiones difusas (tóxicas, metabólicas, infecciosas). Para ello, es fundamental realizar el Electroencefalograma (EEG) en pacientes cuyos síntomas o quejas sean deterioro del nivel de conciencia (somnia, estupor, coma), pérdida de facultades intelectuales (pérdida de memoria, demencia) o episodios que hagan sospechar de crisis epilépticas (ya que la epilepsia es una enfermedad en la que el cerebro descarga de modo brusco impulsos eléctricos produciendo los ataques).

Además, el EEG es muy útil en casos de intoxicaciones y otras enfermedades que pueden afectar al cerebro de modo difuso. En pacientes aparentemente epilépticos, fuera del episodio y especialmente durante el episodio, el EEG ayuda al diagnóstico de epilepsia (ya que hay otras enfermedades que pueden semejarla; síncope, migraña), trastornos del sueño, trastornos del control motor (tics, mioclonías), procesos psiquiátricos trastornos endocrinos (feocromocitoma o síndrome carcinoide). En niños, especialmente en recién nacidos, es fundamental para detectar anomalías tanto de daños establecidos, como para señalar defectos en la maduración y crecimiento cerebral. En pacientes con otros síntomas los EEG pueden ayudar a conocer mejor la enfermedad, el daño que están produciendo y si existen más riesgos, siendo complementarios a los métodos diagnósticos de imagen cerebral; entre ellos van a estar por ejemplo la cefalea, nerviosismo, inestabilidad, que pueden ser manifestaciones de enfermedades o de lesiones más graves.

Con cada paciente hay que pensar qué es lo que se quiere descartar para adecuar las condiciones del registro. En algunos pacientes será preciso registrar sueño, y en ocasiones de modo prolongado durante toda la noche (24 horas o más), para observar si existe actividad que haga sospechar la presencia de procesos epilépticos. [9]

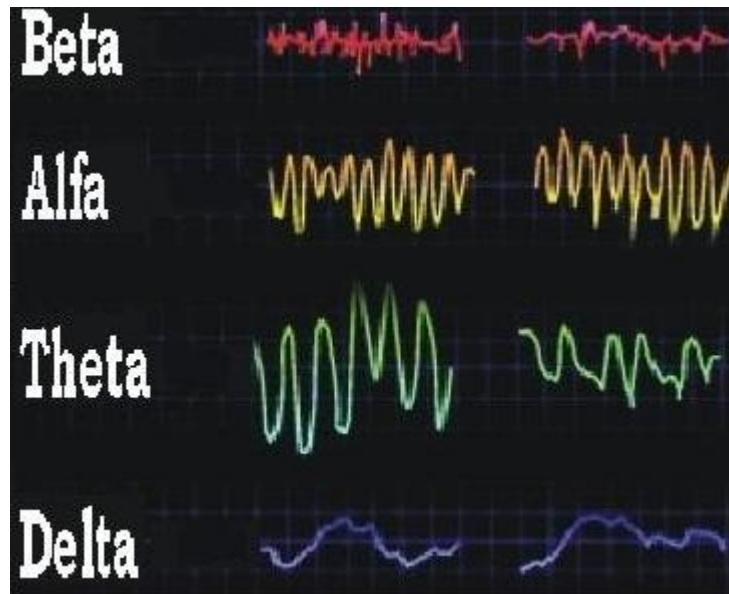


Figura 8: Clasificación de las Ondas Cerebrales.

7.3. CASOS DOCUMENTADOS

El ingeniero electrónico Vladimir Gravreau, perteneciente al Centro Nacional Francés de Investigación científica de Marsella, se interesó en el infrasonido como consecuencia de lo sucedido a su grupo de investigación electroacústico cuando se mudó a un nuevo edificio

en 1964. El personal comenzó a quejarse de dolor de cabeza y náuseas. Se suspendió el trabajo y todos dejaron el lugar. Entonces, uno de los técnicos pensó en las bajas frecuencias y sacó a la luz un viejo detector infrasónico.

Sus investigaciones los llevaron hasta un gigantesco ventilador industrial ubicado en un edificio contiguo. Su descubrimiento hizo que se modificara la forma de trabajar del ventilador industrial anulando su efecto dañino. Animados por este descubrimiento, el equipo de Marsella insistió en sus experimentos infrasónicos encontrando que la frecuencia de 7 Hz es fatal. Una persona expuesta a un infrasonido de 7 Hz tiene una vaga impresión de sonido y una sensación de incomodidad general, siendo totalmente incapaz de realizar un trabajo mental, aún de simple aritmética. Al aumentar la intensidad del sonido (que no se percibe), se siente desvanecimiento, fatiga nerviosa y mareos. Si la intensidad es todavía mayor, los órganos internos vibran y la fricción resultante provoca una rápida pero dolorosa muerte.

Asimismo, los experimentos llevados a cabo por el doctor P Grognot y colegas del centro de Estudios e Investigaciones de Paris, expusieron a ratas a vibraciones infrasónicas aéreas de 7 Hz haciendo variar su intensidad entre 174 a 190 dB. Después de un tiempo de exposición que oscilaba entre 7 a 20 minutos se produjeron lesiones pulmonares debidas a la congestión de los capilares de las paredes y hemorragias intra-alveolares. [10]

Por otra parte, el ingeniero británico Vic Tandy, trabajaba en una empresa que manufacturaba equipo de soporte médico. Una mañana, notó que una persona del servicio de limpieza se encontraba angustiada porque había presenciado “algo en el lugar”. A continuación, Tandy observó eventos extraños en el laboratorio; existía una sensación de incomodidad, de vez en cuando daban escalofríos, y en una ocasión, un colega ubicado en el puesto contiguo a su escritorio le dijo algo pensando que estaba junto a él, pero se sorprendió cuando vio que Tandy se encontraba al otro lado de la sala.

Una noche, después de que todos se habían ido, Tandy se encontraba trabajando en el laboratorio. Sentado en su escritorio, comenzó a sentirse incómodo y abatido, induciéndole un sudor frío. Revisó los cilindros de gas para estar seguro de que no se filtraban y cuando todos sus chequeos resultaron bien, se preparó una taza de café y regresó a su escritorio. Mientras escribía, estaba convencido de que era vigilado, pero no había manera de ingresar al laboratorio sin pasar por enfrente de su escritorio. Cuando miró de reojo, notó una figura gris que salía a la deriva lentamente de su visión periférica, pero cuando se dio la vuelta para hacerle frente, se había ido. Aterrorizado, se fue directamente a casa.

Al día siguiente, Tandy, aficionado a la esgrima, llevó su espada al laboratorio para ajustar el mango para una competencia. Luego, puso la hoja de la espada hacia abajo sobre una silla y fue a buscar un poco de aceite. Cuando regresó se dio cuenta de que la hoja estaba vibrando y tuvo la misma sensación que había experimentado la noche anterior.

Entonces, notó que esas vibraciones causaban una onda estacionaria que iba rebotando entre las paredes del laboratorio y alcanzaba un máximo de intensidad en el centro de la habitación, justo donde él estaba la noche anterior. Se le ocurrió que un sonido de baja frecuencia proveniente de una máquina podría haber causado dicha onda. De esta manera, calculó la frecuencia estacionaria (de posición) de la onda como se detalla a continuación;

$$\text{Donde; } f = v/\lambda \quad (1)$$

$$\lambda = 2 \times l \quad (2)$$

f = frecuencia del sonido

v = velocidad del sonido en el cuarto (347,15 m/s)

l = longitud de la sala = (9.144 m)

λ = longitud de onda ($l \times 2 = 18.288$ m)

Entonces tenemos; $347,15 / 18.288 = 18.98$ Hz

Pronto descubrió que la energía era producida por un extractor de aire que estaba funcionando y cuando apagó el ventilador de la máquina, la onda de sonido desapareció. Y con ella, su nocivo efecto.

En suma, Tandy demostró que las ondas de baja frecuencia pueden afectar a los seres humanos, al igual que lo hacen con los animales, causando malestar, mareo, hiperventilación y miedo, pudiendo dar lugar incluso a ataques de pánico. Constató también, que los infrasonidos provocan una pseudopercepción de movimientos a los costados del campo visual, ya que cerca de los 18 Hz se encuentra la frecuencia de resonancia del globo ocular, produciendo visión borrosa y la ilusión de ver “fantasmas”.
[11]

8. INCIDENCIA DE INFRASONIDOS EN LA CONDUCTA HUMANA

8.1.EFECTOS DE LOS INFRASONIDOS EN EL ESTADO DE LAS PERSONAS

Desde el punto de vista físico, el cuerpo humano puede ser considerado como un sistema mecánico complejo. Las diversas estructuras internas del cuerpo responden de diferentes maneras a los estímulos sonoros. De esta manera, la cantidad de energía acústica que ingresa al organismo depende de los cambios de impedancia que la perturbación acústica experimenta al atravesar los medios de propagación que encuentra en su camino. Existe un cambio de impedancia acústica entre el aire y la piel, lo que significa que el cuerpo humano impone cierta resistencia a que la onda sonora ingrese a él. Esta desadaptación de impedancias depende de las características físicas de ambos medios, como la densidad, la elasticidad y la viscosidad. Es decir, las características intrínsecas de la piel y los tejidos determinan la cantidad de energía acústica que se transmite al interior del cuerpo humano. Además, la energía transmitida al organismo depende de factores relativos al estímulo sonoro como, la intensidad, la frecuencia, el ángulo de incidencia y la superficie corporal excitada. [12]

Debido a las características de los infrasonidos, las personas expuestas a estas ondas de baja frecuencia, a menudo las describen como un zumbido o como una presión en la cabeza y vibraciones en el cuerpo. Los principales efectos que causan estas ondas son; disgusto, pérdida de concentración y perturbaciones en el sueño. Además, existen otros síntomas como; pérdida de la audición, vértigo, dificultad en el equilibrio y efectos psicológicos que influyen en la respiración, la audición y niveles de cortisol en la sangre. Sin embargo, los estudios disponibles sobre los efectos psicológicos son limitados. [13]

Las vibraciones del cuerpo generalmente afectan los ojos, las manos y la boca. La frecuencia de resonancia de las partes del cuerpo como la cabeza (2 a 20 Hz) causan malestar general, y el globo ocular (sobre 8 Hz) causan dificultad en la visión. [11]

8.2. SONIDOS BINAURALES

8.2.1. DEFINICIÓN

La Audición Binaural se refiere a que los oídos forman canales receptores que son independientes entre sí. Es decir, no hay interferencias entre ellos, ni combinaciones de las frecuencias recibidas por cada uno; los sonidos se reciben independientemente por cada

oído y crean efectos diferentes en distintas partes del cerebro. La información recibida es procesada en el cerebro, donde, comparando los impulsos nerviosos que produce cada sonido, interpreta finalmente todos los aspectos de la onda sonora, generando la fusión binaural.

Por lo tanto, los seres humanos son capaces de determinar, con un considerable grado de precisión, la dirección de una fuente sonora. El método de localización es denominado audición binaural, existiendo dos factores que permiten determinar la dirección de llegada de un sonido: la intensidad relativa en los dos oídos y el intervalo de tiempo de llegada a los dos oídos, o lo que es lo mismo, la diferencia de fase entre la llegada de las ondas al oído derecho y al izquierdo.

Por otro lado, el efecto de la fase relativa con las que las ondas sonoras llegan a los oídos, es tal que la diferencia de fase no sólo es función de la distancia entre los oídos y de la orientación de la cabeza, sino también de la longitud de onda del sonido. Para tonos puros de muy baja frecuencia y por lo tanto gran longitud de onda, la diferencia de fase entre el sonido recibido por los dos oídos es una fracción de la longitud de onda comparativamente pequeña, aunque un oído se gire directamente hacia la fuente. Entonces, a medida que aumenta la frecuencia, disminuye la longitud de onda, con lo que aumenta la diferencia de fase.

Estos es, si la diferencia entre las dos frecuencias aumenta, la razón de "pulsos" también aumenta, y para una razón de 6 ó 7 "pulsos" por segundo el sonido conserva su variación característica, suavemente. Para una razón de "pulsos" elevada, el nivel no parece prolongarse variando suavemente, y un aumento considerable en la diferencia de frecuencias, hace que el sonido parezca duro y discordante. [4]

Cuando dos tonos puros en el rango audible difieren en frecuencia, una cantidad que se encuentra en este rango, percibe esta diferencia de frecuencia. La diferencia resultante se llama sonido diferencial y su presencia es un resultado directo de la no linealidad del oído. Para intensidades sonoras grandes, el sistema mecánico del oído deja de ser lineal y, por consiguiente, al recibir un tono puro (senoidal) de suficiente intensidad, se produce una distorsión caracterizada por la generación de una serie de armónicos. Estos armónicos audibles, existen en la membrana basilar y excitan las correspondientes zonas. En efecto, la transferencia no lineal entre la entrada x y la salida y es de la forma;

$$y = f(x) \quad (3)$$

Entonces para $x(t) = \sin \omega t$ se tiene:

$$y(t) = f(\sin \omega t), \quad (4)$$

Que es una función periódica de igual frecuencia que $x(t)$ que, según el teorema de

Fourier, posee armónicos, 2ω , 3ω , etc. Éstos se denominan *armónicos aurales*, por estar generados en el propio oído. Un caso similar lo constituye la superposición de dos tonos puros e intensos. En este caso, si llegan al oído dos sonidos $A_1 \sin \omega_1 t$ y $A_2 \sin \omega_2 t$, resulta

$$y(t) = f(A_1 \sin \omega_1 t + A_2 \sin \omega_2 t). \quad (5)$$

Reemplazando $f(x)$ por su desarrollo de Taylor:

$$f(x) = \sum_{h=0}^{\infty} b_h x^h \quad (6)$$

Cuando $x = x_1 + x_2$ resulta:

$$f(x_1 + x_2) = \sum_{h=0}^{\infty} b_h (x_1 + x_2)^h = \sum_{h=0}^{\infty} b_h \sum_{n=0}^h \binom{h}{n} x_1^n x_2^{h-n} \quad (7)$$

También, puede invertirse el orden de las sumatorias tomando en consideración de que $h \geq n$:

$$f(x_1 + x_2) = \sum_{h=0}^{\infty} b_h \sum_{n=0}^h \binom{h}{n} x_1^n x_2^{h-n} = \sum_{m,n=0}^{\infty} b_{m+n} \binom{m+n}{n} x_1^n x_2^m \quad (8)$$

Luego, reemplazando obtenemos:

$$y(t) = \sum_{n,m=0}^{\infty} a_{nm} \sin^n(\omega_1 t) \sin^m(\omega_2 t) \quad (9)$$

Donde:

$$a_{nm} = b_{m+n} \binom{m+n}{n} A_1^n B_1^m \quad (10)$$

Las potencias de una onda senoidal se pueden expresar como una serie de Fourier finita:

$$\sin^n(a) = \sum_{k=0}^n C_{nk} \sin(ka + \varphi_{nk}) \quad (11)$$

Luego,

$$\sin^n(\omega_1 t) \sin^m(\omega_2 t) = \sum_{k=0}^n \sum_{h=0}^m C_{nk} C_{mh} \sin(k\omega_1 + \varphi_{nk}) \sin(h\omega_2 + \varphi_{nh}) \quad (12)$$

Aplicando la siguiente fórmula trigonométrica a cada función de seno:

$$\sin(a) \sin(b) = \frac{1}{2} [\cos(a - b) - \cos(a + b)] \quad (13)$$

Se puede observar que la fórmula 12 queda en términos de frecuencias angulares de la siguiente forma:

$$\omega = k\omega_1 \pm h\omega_2 \quad (14)$$

Agrupando y reescribiendo la fórmula, queda:

$$y(t) = \sum_{n,m=0}^{\infty} b_{nm} [\cos((n\omega_1 - m\omega_2)t + \varphi_{nm}) - \cos((n\omega_1 - m\omega_2)t + \tau_{nm})] \quad (15)$$

Resulta así, que en el espectro de la salida aparecen tonos de frecuencias:

$$f = nf_1 \pm mf_2 \quad (16)$$

Con n, m enteros. Estos tonos se llaman *sonidos combinacionales*, de los cuales en general el más intenso es el denominado *sonido diferencial*, de frecuencia $|f_1 - f_2|$. Este sonido es perfectamente audible.

En definitiva, los armónicos que el oído puede separar en un sonido complejo existen en general objetivamente en la vibración sonora, pudiendo ponerlos en evidencia mediante un receptor sin distorsión y un análisis armónico, pero en la práctica indica que la audición de un sonido simple o compuesto, puede conducir a percibir frecuencias que no existen objetivamente en la vibración que actúa, debiéndose su apreciación al funcionamiento del oído. [14]

Los sonidos binaurales pueden ser detectados por las personas cuando los sonidos audibles están sobre los 1000 Hz. La sensación de escucha binaural se produce cuando dos sonidos de similar frecuencia (sonidos audibles) se presentan en forma independiente para cada oído y el cerebro detecta diferencias de fase entre estos sonidos. Esta diferencia de fase normalmente proporciona información direccional para el oyente, pero cuando se presenta con audífonos o altavoces el cerebro integra las dos señales, produciendo una sensación de un tercer sonido llamado *pulso binaural*. La percepción de pulsos binaurales parece tener su origen en el núcleo olivar superior del tronco cerebral, que es el sitio de integración de la información auditiva contralateral. Esta sensación auditiva está orientada neurológicamente a la formación reticular y dirige simultáneamente el volumen a la corteza cerebral, donde se puede medir objetivamente como una respuesta del diferencial de frecuencia. La medición objetiva de la respuesta del diferencial de frecuencias proporciona pruebas de que la sensación de sonidos binaurales tiene una efectividad neurológica. [15]

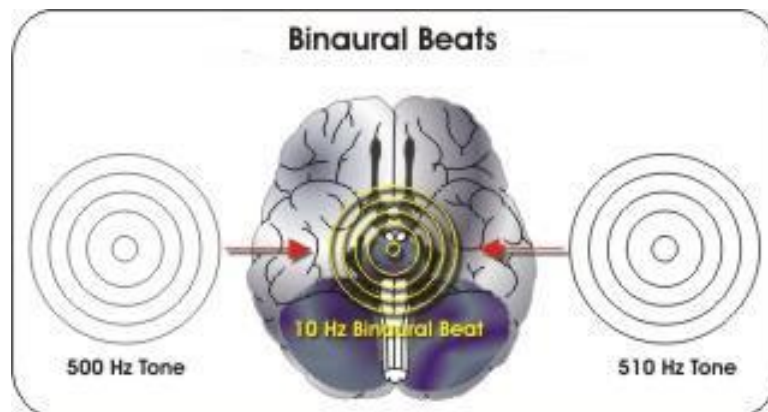


Figura 9: Cuando tonos de diferentes frecuencias se presentan separadamente para cada oído, las pulsaciones que ocurren en el cerebro se denominan sonidos binaurales. El resultado en todo el cerebro comienza incorporando los pulsos internos y la resonancia para esa frecuencia.

8.2.2. HISTORIA DE LOS SONIDOS BINAURALES

El físico y meteorólogo prusiano Heinrich Wilhelm Dove (1803-1879) descubrió en 1839 la técnica de *Escucha Binaural*, donde diferentes frecuencias aplicadas separadamente en cada oído producen una sensación de un tono de interferencia igual al que se percibiría si fuera creado físicamente.



Figura 10: Heinrich Wilhelm Dove [Liegnitz, 6 de octubre de 1803 - 4 de abril de 1879]

Posteriormente, el neurólogo y psiquiatra alemán Hans Berger (1873-1941), poco después de la II Guerra Mundial, demostró con un aparato denominado electroencefalograma (EEG) que existía un potencial eléctrico (oscilaciones de tensión) en el cerebro humano. En su investigación sobre la lateralización de las funciones cerebrales, los primeros tipos de frecuencia que descubrió fueron las frecuencias *Alpha* y *Theta*. Cada uno de estos tipos de onda cerebral se convertía en un estado psico-neuro-fisiológico diferente. Es decir, mente, cuerpo, actividad física y fisiológica son completamente diferentes en cada uno de estos estados. Además, descubrió que el tipo de sustancias neuro-químicas y de hormonas vertidas al flujo sanguíneo varía según el tipo de frecuencia. Y según la presencia y cantidad de dichas sustancias, como el estado de ánimo que se tenga, interactúan entre sí para producir un estado físico-fisiológico-mental-comportamental final.

Luego, William Gray Walter (1910-1977) neurólogo y experto en robótica y neurofísica, influido por la obra del fisiólogo ruso Ivan Pavlov, visitó el laboratorio de Hans Berger para medir la actividad eléctrica en el cerebro. A raíz de esto, Walter produjo su propia versión del EEG con capacidades mejoradas, lo que le permitió detectar una variedad de tipos de Ondas Cerebrales que van desde la alta velocidad de las ondas Beta hasta la lenta velocidad de las ondas Delta, observadas durante el sueño. De esta manera, descubrió que los sonidos binaurales, alteraban los ritmos cerebrales y por consiguiente la actividad cerebral de todo el córtex. Dicha estimulación cerebral por medio de sonidos binaurales, en las frecuencias que van de 1 a 20 Hz, producen en la persona efectos de paz, bienestar y relajación. A principios de los 60, también descubrió que estas estimulaciones mantenidas en la misma frecuencia durante varios minutos inducían anestesia, iniciándose así el estudio de la activación de las endorfinas con relación a las estimulaciones sensitivas.

Más adelante, Robert A. Monroe, hombre de negocios y pionero en la exploración del uso de los estimuladores cerebrales, inició su investigación a partir de la década de 1950. Descubrió que utilizando patrones específicos de sonidos binaurales se lograba optimizar y potenciar las capacidades cerebrales de las personas. Por ejemplo, utilizando ciertas combinaciones de sonidos binaurales se conseguía aumentar los estados de atención y alerta, o por el contrario, inducir el sueño, así como evocar otros estados de conciencia. Monroe fue Inventor de la técnica *Binaural Hemi-Sync* (sincronización de los hemisferios cerebrales) y fundador del *Instituto Monroe* (organización mundial dedicada a la expansión del potencial humano).



Figura 11: Robert Allan Monroe [30 de octubre 1915- 17 de marzo 1995]

Finalmente, el biofísico norteamericano Gerald Oster, a raíz de su publicación de 1973 titulada *Auditory Beats in the Brain*, descubrió que si se estimulaban los dos oídos simultáneamente y por separado con dos frecuencias levemente distintas, el cerebro percibe un "pulso binaural", cuya frecuencia es igual a la resta de las frecuencias iniciales. Por ejemplo, si estimulamos el oído derecho con una frecuencia de 500 Hz y el oído izquierdo con otra frecuencia de 510 Hz, se producirá un pulso de 10 Hz. Esta técnica demostró un importante efecto, ya que al enviar cada oído su señal nerviosa dominante al hemisferio cerebral opuesto (cada hemisferio cerebral rige la mitad opuesta del cuerpo; el hemisferio derecho rige la parte izquierda y el hemisferio izquierdo rige la parte derecha), los hemisferios finalmente actúan al unísono. Es decir, el sonido se convierte en una señal eléctrica que sólo puede ser creada por ambos hemisferios funcionando al unísono. [16]

8.2.3. INVESTIGACIONES Y APLICACIONES

8.2.3.1. Pulsos Auditivos en el Cerebro

El Dr. Gerald Oster, utilizó los Sonidos Binaurales para llevar a cabo pruebas clínicas. Examinó pacientes con enfermedades neurológicas y descubrió que algunos no podían percibirlos. Esto fue significativo en su investigación, ya que los pacientes que no podían localizar los sonidos producidos por el chasquido de los dedos del Dr. Oster, sufrían de la enfermedad de Parkinson, un trastorno del sistema nervioso central caracterizado por una falta de actividad muscular espontánea, parálisis facial y temblores. Uno de sus pacientes en particular, un violinista, al cual se le aplicaba un tratamiento de escucha binaural, era

incapaz de oírlos cuando inició su tratamiento e ingresó al hospital, pero a medida que su tratamiento avanzaba, comenzó a percibir los sonidos producidos por los tonos de más bajo nivel, y poco a poco fue progresando hacia las frecuencias más altas. Al final, cuando su condición se consideró satisfactoria, podía oír sonidos producidos por tonos de hasta aproximadamente 650 Hz. Entonces, el Dr. Oster concluyó que aunque se produjera una pequeña respuesta neuronal a través de los sonidos binaurales, éstas son útiles para el diagnóstico de ciertos trastornos neurológicos.

En la publicación *Foundations of Modern Auditory Theory* de 1972, J. V. Tobias reveló que existía una diferencia relacionada con el sexo en la capacidad para oír sonidos binaurales. Analizó el espectro de sonidos binaurales en voluntarios de la Administración de Aviación Federal en la ciudad de Oklahoma y encontró que el límite superior de la frecuencia aplicada, es mayor para los hombres que para las mujeres. Observó las percepciones de tres mujeres durante un período de seis semanas y encontró el espectro extendido en los tonos más altos en el comienzo de la menstruación, luego éste disminuyó antes de alcanzar un segundo máximo 15 días después de su inicio. El último máximo puede corresponder con el momento de la ovulación, cuando una mujer es más fértil. Para comprobar esta investigación, el Dr. Oster examinó mujeres en edad reproductiva, con resultados que tienden a confirmar los de Tobias. Al parecer, algunas mujeres presentan variaciones notables en la percepción de los sonidos binaurales durante el ciclo menstrual. Cuando los sonidos no son audibles, las mujeres a menudo escuchan dos tonos distintos. Los hombres, por el contrario, no muestran ninguna variación durante el mes. Estos resultados sugieren que el espectro de los pulsos binaurales puede estar influenciado por el nivel de estrógeno en la sangre. [17]

8.2.3.2. Sonidos Binaurales en Medicina y Psicopatología

Los efectos de los Sonidos Binaurales han sido estudiados mayormente en el ámbito de psicopatología y medicina comportamental. Sin embargo, también existen publicaciones sobre la aplicación de sonidos binaurales en cirugía, especialmente ligadas al efecto anestésico para controlar el dolor en los pacientes. Así, Kliemptsch describe, en 1999, que la escucha de sonidos binaurales, comparada con la escucha de *sonidos placebos*, disminuye significativamente la dosis de anestesia necesaria durante una intervención quirúrgica leve. De modo similar, Padmanabhan, Hildreth & Laws estudiaron en 2005, los efectos sobre la ansiedad pre-operatoria de los pacientes a los que se le aplicaba sonidos binaurales, llegando a la conclusión de que la ansiedad antes de la intervención, era significativamente más baja en aquellos pacientes que escuchaban estos sonidos.

Por otra parte, Cox puso de manifiesto en 1996, que la escucha de sonidos binaurales de frecuencia *Alfa* disminuyen la presión arterial, la velocidad de las pulsaciones cardíacas, la sensación de dolor y el porcentaje de melatonina en la sangre, mientras que la escucha de

sonidos binaurales de frecuencia *Beta* aumenta el porcentaje de endorfinas. Cox también notó un aumento de serotonina del 23% y una disminución de norepinefrina del 18%.

En 1989, Peniston y Kulkosky estudiaron los efectos fisiológicos debidos a la administración de ondas cerebrales *Alfa* y *Theta* en pacientes alcohólicos. Más tarde, en 1995, Peniston y Saxby confirmaron la eficacia del entrenamiento cerebral mediante dichas ondas en pacientes alcohólicos que presentaban síntomas depresivos asociados. El tratamiento consistía en 20 sesiones de entrenamiento cerebral de 40 minutos cada uno, y provocó una disminución significativa en la calificación de las subescalas de la personalidad (esquizoide, dependiente, hipomaníaca, distímica, histriónica, pasivo-agresiva, autodestructiva, de abuso de alcohol, de abuso de drogas, pensamiento psicótico y depresión psicótica). Un seguimiento de 21 meses no mostró la reanudación del paciente al alcohol. La elección de las ondas se determinó con respecto a la acción que producen; las ondas *Alfa* reducen la ansiedad y las ondas *Theta* inducen estados próximos al sueño (capacidad para generar imágenes mentales y “sueños despiertos”), habitualmente escasos en los pacientes alcohólicos. Estos resultados fueron también confirmados en 1997 por Sanders & Waldkoetter, quienes estudiaron a pacientes nativos de Alaska, que presentaban una dependencia alcohólica. [18]

En resumen, existen variadas publicaciones investigativas asociadas a los efectos que producen los sonidos binaurales en el estado de las personas como; los cambios en los estados de excitación, foco de atención y niveles de conciencia que conducen a una mayor integración sensorial en respuesta a frecuencias *Alfa* inducidas (Foster 1990), la relajación, la meditación, la reducción del estrés, el manejo del dolor y la mejoría del sueño (Wilson 1990; Rodas, 1993), la salud (Carter 1993), los ambientes de aprendizaje enriquecidos (Akenhead 1993), la memoria mejorada (Kennerly 1994), la creatividad (Hiew 1995), el tratamiento de los niños con discapacidades del desarrollo (Morris, 1996), la facilitación de la atención (Guilfoyle y Carbone 1996), el máximo y otras experiencias excepcionales (Masluk 1997), la mejora de la hipnotizabilidad (Brady 1997), el tratamiento de la depresión en pacientes alcohólicos (Waldkoetter y Sanders, 1997), y los efectos positivos sobre el rendimiento y la vigilancia del estado de ánimo (Lane et al. 1998). [19]

8.2.3.3. Entrenamiento Cerebral

El Entrenamiento Cerebral es un campo relativamente nuevo pero con un rápido desarrollo, que involucra el estudio de cómo las ondas cerebrales alteran y permiten a los usuarios, de manera natural, alcanzar fácilmente estados de mayor inteligencia, creatividad, relajación y energía. Incluso, se ha encontrado que diferentes frecuencias de ondas cerebrales están asociadas con estados mentales específicos y que no sólo proporcionan datos sobre la mente y el cuerpo de un individuo, sino que pueden ser estimuladas para cambiar el estado (psicológico-mental) actual de la persona, ya que al estimular que el

cerebro produzca o disminuya tipos específicos de frecuencias de ondas cerebrales, es posible producir una gran variedad de estados mentales y reacciones emocionales.

El funcionamiento del Entrenamiento Cerebral se inicia cuando el cerebro produce un patrón de ondas cerebrales. El resultado de esta actividad eléctrica en el cerebro se manifiesta mediante un principio físico, en el que dos ciclos se sincronizan entre sí de forma natural para funcionar de manera más eficiente. Por lo tanto, cuando se estimula el cerebro a través de los oídos, éste emite una carga eléctrica en respuesta, denominada Respuesta Cortical Evocada. Estas respuestas eléctricas viajan a través del cerebro para convertirse en lo que el individuo oye. Entonces, cuando el cerebro recibe un estímulo constante y repetido, éste responde sincronizándose o entrenando sus ciclos eléctricos al pulso externo percibido. Esto se llama Respuesta de Frecuencia de Seguimiento, y puede ser utilizada para modificar eficazmente los patrones de ondas cerebrales. Así, la manera de guiar o entrenar el cerebro con sonidos hacia un patrón de frecuencias cerebrales deseadas, es crear primero los pulsos de frecuencia de sonido con el que las neuronas del cerebro se empezarán a sincronizar.

En los últimos años ha habido grandes avances en el campo del Entrenamiento Cerebral, sobre todo en su relación con el funcionamiento cognitivo. Científicos han demostrado que el cerebro de muchas personas funciona a baja capacidad, pero que al inducir una frecuencia de onda cerebral específica, relacionada con estados de intensa concentración y fuerte enfoque, ayuda a que las personas mejoren el rendimiento académico. Este entrenamiento también es utilizado para inducir estados de relajación o meditación profunda.

Por ejemplo, en 1999, el *Journal of Neurotherapy* publicó un estudio llevado a cabo por el Dr. Thomas Budzynski. En la investigación participaron ocho estudiantes universitarios que presentaban dificultades académicas. Después de ser sometidos a una estimulación cerebral audiovisual, los alumnos superaron al grupo de control e incrementaron significativamente su promedio de calificaciones. Incluso, el promedio en los ocho estudiantes continuó aumentando después de que se interrumpió el tratamiento. Asimismo, los doctores Siegfried y Susan Othmer descubrieron que el entrenamiento con ondas cerebrales en el rango de 15 a 18 Hz puede producir cambios significativos en la medición del Coeficiente Intelectual, incluso en personas que sufren de Trastorno de Déficit Atencional. En los casos en que la evaluación del Coeficiente Intelectual era inferior a 100, el promedio de aumento fue de 33 puntos. También encontraron mejoras significativas en la memoria, la lectura y la resolución de problemas de aritmética. Durante un año de seguimiento los participantes mostraron importantes mejoras en la autoestima, la concentración y la auto-expresión.

Mientras que los sonidos binaurales son la forma más conocida y utilizada para el Entrenamiento Cerebral, existe otro método más moderno y en desarrollo denominado

Tonos Isocrónicos, que utilizan un solo tono espaciado, encendiéndose y apagándose en un patrón preciso. Esto mejora la eficacia del entrenamiento auditivo. [20]

8.2.3.4. Sincronización Hemisférica

Muchos de los estados de conciencia se presentan cuando existe una frecuencia específica para sincronizar los dos hemisferios del cerebro. Aunque la sincronización de las ondas cerebrales ha sido durante mucho tiempo asociada con estados de meditación y estados hipnagógicos (tránsito entre la vigilia y el sueño), el tratamiento de sonidos binaurales puede ser el único con capacidad para inducir y mejorar tales estados de conciencia. La razón de esto es fisiológica. Cada oído está conectado a ambos hemisferios del cerebro y cada hemisferio tiene su propio núcleo olivar que recibe las señales de ambos oídos en forma independiente. De acuerdo con esta estructura fisiológica, cuando un sonido binaural es recibido en realidad hay dos ondas sinápticas electroquímicas de igual amplitud y frecuencia, una por cada hemisferio. Esto quiere decir, existe una sincronía hemisférica de la actividad sináptica. Los sonidos binaurales pueden contribuir a la sincronización hemisférica manifestada en los estados meditativos e hipnagógicos de la conciencia. También pueden mejorar la función del cerebro, permitiendo al usuario intervenir en la conectividad transversal cruzada de designadas frecuencias de ondas cerebrales.

Los dos hemisferios del cerebro son como dos módulos independientes de procesamiento de información. Ambos son complejos sistemas cognitivos, ya que procesan la información de manera independiente y en paralelo, y su interacción no es ni arbitraria ni continua. Debido a esto, los estados de conciencia pueden definirse no sólo en términos de relaciones de frecuencia de ondas cerebrales, sino también en términos de especialización hemisférica y/o interacción cerebral. Algunos estados deseados de la conciencia pueden requerir una fácil integración inter-hemisférica, mientras que otros pueden requerir un estilo de procesamiento hemisférico único. La memoria cognitiva de un individuo y, por tanto, su capacidad de percibir la realidad y tratar con el mundo cotidiano, está sujeto a su habilidad de experimentar diferentes estados de conciencia. Por esto, los sonidos binaurales proporcionan las herramientas para que las personas amplíen su capacidad de experimentar una amplia gama de estados de conciencia mental.

Cada uno de estos estados de conciencia no está representado por una única onda cerebral, sino que implica una mezcla centralizada de dichas ondas. La razón de esto radica en la estructura del cerebro, ya que no sólo está dividido horizontalmente en dos hemisferios, sino que también está dividido verticalmente desde el tallo cerebral en el cerebelo, el tálamo, el sistema límbico y la corteza cerebral. El punto crítico es que, para cada estado diferenciado de conciencia, la mente interactúa con cada área del cerebro, y de cada una de éstas, resuena a una determinada frecuencia única de ondas cerebrales para ese particular rango, ya que realiza una función específica. [21]

Un caso particular en cuanto a la exploración de la sincronización hemisférica, es el desarrollado por Robert A. Monroe, quien es internacionalmente conocido por su trabajo con patrones acústicos que afectan los estados de conciencia en las personas. Las investigaciones de Monroe sobre esta técnica lo llevaron a concluir que existen sonidos específicos que pueden ser mezclados y secuenciados para conducir suavemente el cerebro a varios estados que van desde la relajación profunda o sueño, a estados expandidos de conciencia y otros estados "extraordinarios". Así, dichas investigaciones se convirtieron en la base de un procedimiento no invasivo y una tecnología de audio-orientación fácil de usar conocida como *Hemi-Sync*.

Este proceso de orientación auditiva funciona a través de la generación de señales complejas y múltiples fases de audio, que actúan conjuntamente para crear una resonancia que se refleja en una única forma de onda cerebral específica de determinados estados de conciencia. El resultado centralizado de todo el cerebro es conocido como sincronización hemisférica o *Hemi-Sync*, donde los hemisferios izquierdo y derecho trabajan conjuntamente en un estado de coherencia. Diferentes señales *Hemi-Sync* se utilizan para facilitar la relajación profunda, centrar la atención u otros estados deseados. Además, provoca una mente concentrada y lógica, que es una condición óptima para mejorar el rendimiento humano.

Asimismo, uno de los principales investigadores en la sincronía de las ondas cerebrales, el Dr. Lester Fehmi, del *Princeton Biofeedback Research Institute*, señala que "la sincronía representa la máxima eficiencia de transferencia de información a través de todo el cerebro." Esto significa que la sincronía de las ondas cerebrales produce un fuerte incremento en los efectos de diversos estados de ondas cerebrales. La producción de sincronización, es decir, la energía electromagnética coherente en el cerebro humano a una frecuencia dada, lleva a un "enfoque de precisión", condición del aumento de la amplitud y la fuerza de las ondas cerebrales. En este sentido, un "cerebro altamente integrado", en el que ambos hemisferios están funcionando en simetría, sincronía, armonía y unidad, es la clave para alcanzar el rendimiento humano máximo.

Igualmente, las combinaciones de señales específicas pueden ayudar a las personas a lograr el enfoque y la concentración. Por ejemplo, para dormir se incorporan frecuencias predominantemente *Delta* y para el aumento del aprendizaje se incorporan frecuencias predominantemente *Beta*. La sincronización hemisférica se produce de forma natural en la vida cotidiana, pero por lo general sólo por períodos aleatorios y breves. Estas ondas ayudan a las personas a lograr y mantener esta alta productividad. [22]

8.3.DROGAS DIGITALES

Las alucinaciones hipnagógicas se presentan en los periodos de transición entre la vigilia y el sueño. Estos procesos rápidos (segundos) o lentos (minutos) pueden acompañarse, en individuos normales, de experiencias oníricas breves con escasa o nula estructuración.

Al comienzo del dormir, la corteza cerebral aún con un alto grado de excitabilidad, pero privada de su información externa, puede, a partir de su memoria, crear escenarios y generar representaciones sensoriales de corta duración, que se interrumpen cuando se consolida el sueño y se desactiva la corteza cerebral. Por lo tanto, se plantea que la actividad de las áreas cerebrales profundas puede generar o modular alucinaciones, que según la particularidad de las regiones neocorticales alcanzadas en cada individuo, evocarán un contenido perceptivo específico, que depende de la corteza asociativa y no de la preceptiva primaria. Además, el o los mecanismos provocadores de la aparición de alucinaciones son enfocados, también, desde un punto de vista neuroquímico que toma particularmente en cuenta los neurotransmisores y neuromoduladores del sistema nervioso central. Así, estudios electrofisiológicos, neuroquímicos y clínicos han puesto en evidencia la participación de determinados neurotransmisores en el fenómeno alucinatorio y el efecto terapéutico de numerosas sustancias que selectivamente bloquean la transmisión sináptica. [23]

Aunque las ondas cerebrales coherentes y sincronizadas, están ampliamente asociadas a los estados meditativos e hipnagógicos, la sincronización cerebral puede ser única en su habilidad para inducir y mejorar dichos estados de conciencia. La razón de esto es fisiológica, ya que los sonidos contribuyen a la sincronización evidenciada de estos estados. Por consiguiente, las técnicas de biorretroalimentación permiten que un sujeto, mediante instrumentos electrónicos que generan señales auditivas, tenga consciencia de cambios fisiológicos y biológicos que normalmente no son conscientes (ritmo cardíaco, presión arterial, conductancia de la piel, velocidad del pulso). Con estas técnicas la persona puede modificar sus propios estados orgánicos y provocar su normal funcionamiento.

Actualmente, la idea de que la estimulación auditiva puede afectar a la conciencia es ampliamente aceptada. En su estudio sobre la consciencia, Wilder Penfield, neurólogo y neurofisiólogo estadounidense, descubrió que la mente humana continuaba trabajando a pesar de una reducida actividad cerebral bajo anestesia. Las ondas cerebrales estaban casi ausentes, mientras la mente estaba tan activa como en estado de vigilia. La única diferencia estaba en el contenido de la experiencia consciente.

Siguiendo el trabajo de Penfield, otros investigadores han reportado consciencia en pacientes en estado de coma, y crece la evidencia que sugiere que es posible reducir la actividad cortical mientras se mantiene la consciencia. Estos estados son citados de varias

maneras como meditativos, de trance, hipnagógicos, hipnóticos, y de aprendizaje crepuscular. Estas variadas formas de consciencia se basan en el mantenimiento de la consciencia en un reducido y fisiológico estado de despertar marcado por dominancia parasimpática. Sujetos altamente hipnotizables y meditadores adeptos, han demostrado que es posible mantener la consciencia con reducida actividad cortical, tanto por una habilidad natural.

De esta manera, el proceso sincronización cerebral que incluye la tecnología del sonido diferencial puede alterar estados de vigilia, focos de atención y niveles de conciencia. Además, da lugar a un amplio repertorio de experiencias mente-conciencia cuando las ondas cerebrales se mueven a frecuencias más bajas (excitación baja) y se mantiene la consciencia (experiencia cognitiva), emergiendo un único estado. Los que practican el proceso, llaman a este estado hipnagógico: “mente despierta, cuerpo dormido”.

Al mismo tiempo, la percepción de la realidad depende del estado de consciencia del perceptor. Algunos estados de conciencia, aportan visiones limitadas de la realidad mientras otros proveen de una conciencia expandida de la misma. En su mayoría, los estados de conciencia, varían en respuesta a los siempre cambiantes ambiente interno y estimulación del entorno. [19]

Se ha venido estudiando una amplia variedad de experiencias alucinatorias en los estados hipnagógicos en torno a los períodos del sueño. Algunas personas pueden experimentar breves pero vívidas visiones, o encontrarse por momentos incapaces de moverse o hablar entre el estado de vigilia y de sueño. El movimiento de los ojos en vigilia es muy rápido y tiene ondas irregulares de alta frecuencia, pero cuando una persona se relaja o entra en estado de somnolencia aumenta la actividad *Alfa*, el movimiento de los ojos se hace más lento, disminuyendo la frecuencia. Cuando una persona atraviesa el período hipnagógico hay una disminución de la actividad *Alfa* y un aumento de la actividad *Theta* más lenta. Durante la transición de la vigilia al sueño hay también una disminución del tono muscular, retardo del ritmo respiratorio y del corazón, reducción de la presión sanguínea, y un aumento de la temperatura corporal.

Durante los estados hipnagógicos, las personas pueden experimentar alucinación breve y vívida, o sensaciones en una única o más modalidades sensoriales diferentes, o parálisis temporaria. También, se pueden mencionar otras características del período de entrada al sueño, tales como una disminución de la atención de la observación de los contenidos de la propia mente, un aumento de la absorción, una pérdida del control voluntario sobre la representación mental, inexactitud en la percepción del tiempo, reducción de la atención del entorno, y disminución en el reconocimiento de realidad.

Algunos estudios han demostrado que aunque el estado hipnagógico tiene una única característica electrofisiológica y comportamental; éste también es sumamente variable y existen grandes diferencias individuales. [23]

En fin, la ciencia y la tecnología de hoy en día permiten sintetizar los efectos que producen ciertas drogas y convertirlos en sonidos. Es por esto, que mediante la aplicación de sonidos binaurales, en un estado hipnagógico, ciertas frecuencias de sonido aplicado, llegan hasta el inconsciente y pueden alterar el comportamiento de las personas. Entonces, al emitir este tipo de sonidos binaurales se induce al cerebro a integrar un estado alucinógeno, el que produce un efecto similar al de las drogas.

9. CONCLUSIONES

Primeramente, para la realización de este trabajo de tesis, la información disponible sobre técnicas de escucha binaural aplicadas en áreas como medicina, psicopedagogía y estimulación del desarrollo humano y personal es bastante escasa y básica. En la recopilación de dicha información puedo constatar que los mayores estudios datan principalmente de más de 40 años (década del 50 al 70) con resultados prometedores, pero sin embargo, resulta extraño que no se encuentren en desarrollo estudios y aplicaciones actuales sobre esta materia. Entonces, hasta cierto punto, se hace difícil continuar investigando más a fondo ya que la información requerida sobre algunos estudios identificados es privada y clasificada.

En lo referente al área de la salud física, se puede concluir que las ondas infrasónicas en general, son nocivas para el cuerpo humano, forzándolo a entrar en resonancia, provocando en la persona sensaciones de incomodidad, dolores de cabeza, fatiga, visión borrosa, etc. Siendo afectados principalmente tejidos, órganos y extremidades. Este punto es muy importante en el ámbito de la seguridad industrial ya que la emisión de estas ondas pondría en riesgo la salud mental y física de los trabajadores, especialmente los que se exponen a maquinaria industrial.

Asimismo, en lo que respecta a la aplicación de los sonidos binaurales en las personas, se puede concluir principalmente que sí existe una incidencia directa de estas ondas acústicas sobre las ondas electromagnéticas del cerebro, las cuales combinadas de forma específica, poseen la capacidad de inducir artificialmente a estados mentales deseados.

Además, estudios demuestran que estos sonidos binaurales aplicados hacia el cerebro, no crean dependencia para lograr una relajación, ya que con el tiempo la persona que recibe estos estímulos se torna más resistente hacia el estrés, y este proceso continúa desarrollándose más rápidamente entre más estímulos binaurales sean recibidos por el cerebro.

También, la aplicación de sonidos binaurales puede provocar que una persona alcance estados de conciencia mucho más específicos llegando al punto de las alucinaciones mediante los estados hipnagógico, donde la mente sigue despierta mientras el cuerpo permanece en reposo.

Por último, después de toda la investigación realizada y a raíz de comprobar que no existen estudios concretos en cuanto a resultados vinculados efectos de infrasonidos que demuestren la alteración del comportamiento humano, puedo considerar que se abren nuevas posibilidades a nuevos campos de investigación que relaciona principalmente el área de la Acústica con áreas como Medicina, Psicopedagogía, Seguridad Industrial y Bienestar del ser humano tanto en el ámbito laboral como personal.

10. BIBLIOGRAFÍA

[1] Gerges, S.N.Y., Arenas, J.P., Fundamentos y control del ruido y Vibraciones, 1era edición, NR editora, Florianópolis (2004).

[2] Möser, M., Barros, J.L., Ingeniería Acústica Teoría y aplicaciones, 1era edición, Springer editora, Berlín (2004).

[3] Delgado, J. M., Ferrús, A., Mora, F. y Rubia, F. J.: Manual de Neurociencia. 1 era edición, Editorial Síntesis. Madrid (1998).

[4] Recuero, M., Acústica Arquitectónica Aplicada, 1ra Edición, Editorial Paraninfo, Madrid (1999).

[5] Poo, C.A., Infrasonidos y Ondas Acústicas de Gravedad, Tesis de Pregrado, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile (2002).

[6] Muñoz, J.C., Introducción a los Infrasonidos y su Recepción, Tesis de Pregrado, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile (2002).

[7] Cherry, N., Schumann Resonances, a plausible biophysical mechanism for the human health effects of Solar/Geomagnetic Activity. Human Sciences Department, Lincoln University Canterbury New Zealand, September (2002).Extraído el 15 de noviembre de 2012 de
<http://www.neilcherry.com/documents/90_n1_EMR_Schumann_Resonance_paper_1.pdf

[8] Bedard, A.J. y Georges T.M., Atmospheric Infrasound, Physics Today Vol.53, No 3 March (2000). Extraído el 15 de noviembre de 2012 de
<<http://scitation.aip.org/getpdf/servlet/GetPDFServlet?filetype=pdf&id=PHTOAD00005300003000032000001&idtype=cvips&doi=10.1063/1.883019&prog=normal&bypassSSO=1>

[9] Lobos, C. Tecnólogo Médico Clínica Las Condes, Entrevista realizada en Octubre de 2012.

[10] Arau, H., Nocividad de las Ondas Acústicas, Revista Anales Otorrinolaringológicos Ibero-Americanos No Registro 18161, Barcelona (1974).

[11] Tandy, V. y Lawrence, T., Ghost in the Machine, Journal of the Society for Psychical Research Vol.62, No 851 April (1998).

[12] Kogan, P., Análisis de la Eficiencia de la Ponderación “A” para Evaluar Efectos del Ruido en el Ser Humano, Tesis de Pregrado, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile (2004).

[13] Van Kamp, I., Noise and Health from different perspectives. National Institute for Public Health and the Environment, Sydney Australia (August 2010). Extraído el 15 de noviembre de 2012 de <http://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/ICA2010/cdromICA2010/papers/p564.pdf>

[14] Miyara, F., Introducción a la Psicoacústica. Extraído el 15 de noviembre de 2012 de <<http://es.scribd.com/doc/50452349/11/Fenomenos-no-lineales-en-el-oido>>

[15] Holmes, F., Inducing States of Consciousness with a Binaural Beat Technology, Research Division, The Monroe Institute. Extraído el 15 de noviembre de 2012 de <<http://www.monroeinstitute.org/research/cat/binaural-beats1/inducing-states-of-consciousness-with-a-binaural-beat-technology>>

[16] Binaural Beats, Brainwave Stimulator. Extraído el 15 de noviembre de 2012 de <<http://www.binauralbeats.com.mx/un-poco-de-historia.html>>

[17] Lane, J.D., Kasian, S.J., Owens, J.E. y Marsh G.R., Binaural Auditory Beats Affect Vigilance Performace and Mood, Physiology & Behavoir Vol.63, No 2 July (1997).

[18] Forgeot, B., Les sons binauraux, effets cliniques et neuropsychologiques. Perspectives d'applications. Université Paris - Master Recherche en psychologie clinique (2006). Extraído el 15 de noviembre de 2012 de <http://www.memoireonline.com/01/07/325/m_sons-binauraux-effets-cliniques-et-neuropsychologiques0.html>

[19] Holmes, F., The Hemi-Sync Process, Research Division, The Monroe Institute (June 1999). Extraído el 15 de noviembre de 2012 de <<http://www.hemi-sync.com/content/research/hemi-sync-atwater.html>>

[20] GeniusBrainPower, Entrenamiento Cerebral. Extraído el 15 de noviembre de 2012 de <http://www.entrenamientocerebral.com/que_es_entrenamiento_cerebral.php>

[21] Holmes, F., Accessing Anomalous States of Consciousness with a Binaural Beat Technology, Research Division, The Monroe Institute (June 1999). Extraído el 15 de noviembre de 2012 de <<http://www.hemi-sync.com/content/research/JSE.html>>

[22] Hemi Sync by Monroe Products, How Hemi-Sync® Audio-Guidance Technology Works. Extraído el 15 de noviembre de 2012 de <<http://www.hemi-sync.com/shopcontent.asp?type=HowHemiSyncWorks>>

[23] Encabo, H., Alucinaciones, Archivos de Neurología, Neurocirugía y Neuropsiquiatría Vol.4 No.2 (2000). Extraído el 15 de noviembre de 2012 de <http://www.annyn.org.ar/dspace/bitstream/123456789/238/1/2000_4_2_3.pdf>

[24] Parra, A., Experiencias alucinatorias nocturnas: relación con la esquizotipia, tendencias disociativas y propensidad a la fantasía. Interamerican Journal of Psychology Vol.43 No.1, Porto Alegre Abril (2009). Extraído el 15 de noviembre de 2012 de <http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?pid=S0034-96902009000100015&script=sci_arttext>